

Kandidat: mr.sci. Nermin Goran, dipl.ing.el

Radni naslov teme doktorske disertacije:

“ Modeliranje utjecaja parametara nižih slojeva OSI/ISO modela na kvalitet iskustva korisnika
prilikom isporuke multimedijalnih servisa u nepokretnoj pristupnoj mreži“

“Modelling of influence of low layer OSI/ISO model parameters on quality of experience of end users
during delivering of multimedia services in fixed access network“

1 Tip istraživanja

Doktorska disertacija će se temeljiti na istraživanju korelacije indikatora QoS-a, u smislu propagiranja degradacije tih indikatora od nižih ka višim nivoima OSI/ISO modela, sa ocjenom QoE kod krajnjeg korisnika objektivnim i/ili subjektivnim metodama. Teorijska osnova će biti zasnovana na analitičkom modeliranju utjecaja fizičkih parametara, poput kapaciteta kanala, odnosa signal šum i stabilnosti linijske bitske brzine na mrežne parametare i parametare sloja podataka, a zatim preko tih parametara na ocjenu kvalitete iskustva korisnika multimedijalnog servisa. Validacija i verifikacija teorijski dobivenih rezultata bit će izvršena eksperimentalno u kontrolisanom (laboratorijskom) okruženju i/ili na odgovarajućem realnom sistemu u eksploataciji. Po potrebi, za validaciju, razviti analogan simulacijski model u dostupnim simulacijskim okruženjima.

2 Stanje u industriji kao ambijent i pokazatelj praktičnog značaja istraživanja

U eri razvoja ICT industrije (engl. Information and Communications Technology), telekom operatori, koji su ujedno u velikom broju zemaljama i provajderi sadržaja, suočavaju se sa pojavom novih servisa, koji nedvojbeno trebaju veće bitske brzine. Trenutno je naročito u fokusu brz razvoj video servisa, poput Internet videa, videa visoke rezolucije (HDTV), videa ultra visoke rezolucije (Ultra HDTV) i 3D videa (3DTV). Istovremeno, telekom operatori moraju pronaći nove mogućnosti za povećanje prihoda, u smislu uvođenja novih usluga sa dodanom vrijednošću, kao što su glas putem IP (VoIP), video na zahtjev (VoD) i IPTV (engl. *Internet Protocol Television*). Također, oni moraju, zbog konkurentnosti i stalnog pritiska korisnika koji imaju sve veće zahtjeve, težiti ka poboljšanjima i inovacijama da bi postali konkurentniji na telekomunikacijskom tržištu. Da bi ovo ostvarili u smislu zadovoljavajuće isporuke spomenutih servisa, neophodno je da u centar istraživanja postave korisnika i njegovu percepciju koju on tim sadržajem doživljava. Potrebno je otkriti, a zatim i zadovoljiti mnoge faktore koji su potrebni da bi se spomenuto izvelo na način prihvatljiv korisnicima i provajderima. U ovu svrhu kao multidisciplinarno polje izučavanja pojavljuje se mjera ili ocjena kvalitete iskustva korisnika (QoE – engl. *Quality of Experience*) koji plaćaju određeni servis. Sve što se događa oko nas povezano je subjektivnošću svakog pojedinca. Međutim, razne nauke poput psihologije, logike, sociologije teže da objektivno posmatraju stvarnost koja nas okružuje. Shodno ovome, Međunarodna Telekomunikacijska Unija (ITU), kao krovno telekomunikacijsko tijelo, definira QoE kao ukupnu subjektivnu prihvatljivost zahtjeva ili usluge od strane krajnjih korisnika. To je mjera koliko usluga (servis) zadovoljava krajnjeg korisnika i njegova očekivanja, a koja uključuje potpunu s kraja na kraj (engl. *end-to-end*) infrastrukturu koja uključuje korisnika, terminale, telekomunikacijsku mrežu, infrastrukturu usluge i sl. QoE je također posljedica korisničkog unutarnjeg stanja (njegovih predispozicija, očekivanja, potreba, motivacije, raspoloženja), zatim je i karakteristika projektiranog

sistema (složenosti, svrhe, iskoristivosti, funkcionalnosti, relevantnosti) i konteksta (ili okoliša) u kojem se usluga konzumira (socijalnog okruženja, djelatnosti, dobrovoljnog korištenja servisa). Operatori fiksne i mobilne mreže koja u posljednje vrijeme konvergira u transportnom, servisnom i korisničkom sloju ocjenjuju sadržaj koji isporučuju preko kvalitete servisa (QoS – engl. *Quality of Service*), kao mrežne mjere električnih karakteristika usvojenih u cilju potvrde isporučene dogovorene performanse ili ugovorenog servisa tzv. SLA (engl. *Service Level Agreement*). Ovo korisnicima koji konzumiraju servis u suštini ne znači mnogo, jer oni imaju svoje kontekstualne, psihologičke i fiziološke potrebe, koje izuzetno utječu na kvalitet percipiranog sadržaja. U tom kontekstu, jako važne teme u telekomunikacijskog industriji tiču se QoE procjene i poboljšanja performansi široke lepeze mrežnih usluga (npr. IPTV, VoIP, VoD, internet), modeliranja zadovoljstva korisnika i njegove tolerancija na degradaciju kvalitete. Također se tiču i raznih eksperimentalnih studija koje koreliraju QoE sa mrežnim aplikacijama, utjecaja mobilnosti korisnika na QoE, utjecaja mrežne infrastrukture i algoritama korištenja mrežnih resursa i upravljanja na QoE, utjecaja obračuna i cijena na QoE, te problematike regulatornih pitanja o QoE. Iz ovih istraživanja su razvijeni različiti subjektivni i objektivni modeli procjene QoE, razvijeni su različiti okviri za end-to-end osiguravanje zadovoljavajućeg nivoa QoE, te su vršene razne korelacije QoS/QoE. Razvoj alata i tehnika za precizno mjerenje, modeliranje i poboljšanje QoE u složenoj mrežnoj infrastrukturi je postao fokus mnogih industrija i akademske inicijative. U isto vrijeme, dok se radi na standardizaciji, inovacija u modeliranju odnosa QoS i QoE ostaje trajan izazov i kao tema za istraživanje privlači značajan interes šire inicijative. S druge strane sadržaj koji korisnici percipiraju, a koji operatori isporučuju, prolazi kroz različite pristupne tehnologije poput žičnih xDSL, FTTCab, FTTB ili FTTH ili bežičnih UMTS, LTE, WiMAX ili WiFi. U isto vrijeme on se isporučuje i preko jezgrovnih mreža koje su kod većine mrežnih operatora, zbog jednostavnijeg održavanja i manje kompleksnosti, najčešće izvedene preko IP/MPLS paradigme. Na vrhu ovakve mrežne infrastrukture, kao kontrolna tačka, se u zadnje vrijeme pojavljuje IMS, koji je dio 3GPP projekta i koji je razvijan kao NGN, ali s obzirom na mobilnu mrežu. IMS je u posljednje vrijeme sveti gral mnogih operatora, jer on obećava sve. To je mreža servera koja može da kontroliše pristup bilo kojem sadržaju preko bilo koje vrste uređaja uz pomoć SIP protokola. Na taj način može se osigurati za svaki servis potreban nivo QoS koji je definisan ITU preporukama. Međutim operatori će na potpunu IMS integraciju vjerovatno malo sačekati zbog ranijih ulaganja u svoju mrežnu infrastrukturu. U smislu definisanja odnosa između servis provajdera koji isporučuje sadržaj, operatora preko koga se isporučuje i korisnika koji u tom trenutku konzumira sadržaj (tj. mjera isporučenog sadržaja u eksploataciji) pojavljuju se dva osnovna pitanja. Prvo pitanje na koje treba dati odgovor je koliko operator na osnovu mjerljivih vrijednosti QoS indikatora može očekivati da je korisnik zadovoljan. Iz svega navedenog operatoru je od velikog značaja važna jedna činjenica, a to je da zna koliko mu je korisnik zadovoljan tj. koliki nivo QoE korisnik osjeća. To on može postići na dva načina. Prvi je da koristi neku vrstu interakcije sa korisnikom, koji mu može javiti o problemu koji se desio ili drugi, da procjeni nivo QoE na osnovu mjerljivih parametara koje operator može preko sistema isporuke sadržaja mjeriti. Drugo pitanje je posmatranje percepcije korisnika u skladu sa isporučenim sadržajem u nekom vremenskom intervalu. Stoga su se i razvili različiti subjektivni i objektivni modeli. Subjektivni modeli se uglavnom odnose na mjerenje kvalitativnih i kvantitativnih vrijednosti koje licitira korisnik sadržaja. To su ocjene od 1-5 i/ili komentari koji se tiču kvalitete percipiranog servisa. Objektivni modeli su ono što operatori vole. Oni su najviše razvijani za video servis, pa zato se i ocjenjivanje svodi na analizu referentnog videa u odnosu na primljeni video sadržaj u prisustvu testnog i testiranog signala što ITU definiše kao FR (engl. *Full Reference*) metod. To ocjenjivanje se može procijeniti i uz pomoć smanjene količine informacije originalnog signala tzv RR metod (engl. *Reduced Reference*). Međutim, naročito u posljednje vrijeme su interesantni metodi gdje ne postoji nikakva informacija o signalu tzv. NR metodi (engl. *No Reference*). I objektivni i

subjektivni modeli jako dobro koreliraju sa indikatorima QoS-a. Kao mjera za indikaciju QoS se uglavnom koriste različite karakteristike performanse poput kašnjenja, varijacije kašnjenja, propusnog opsega, RTT-a (engl. *Round Trip Time*) i paketskih gubitaka. U svim ovim slučajevima QoE se predstavlja funkcijom jednog ili više spomenutih indikatora QoS-a. Analize se najčešće vrše sa slučajevima provjere kvalitete video sadržaja, pošto to nalaže situacija u telekomunikacijskoj industriji, a i činjenica da je video sadržaj po količini prenijetih byta na Internetu premašio sav drugi saobraćaj naročito u downstreamu. Telekomunikacijski operatori imaju heterogene mreže koje su u svom pristupnom dijelu najviše raznolike. U žičnim pristupnim mrežama DSL je i dalje dominantna pristupna tehnologija, dok svoju stabilnost CATV duguje sporom razvoju FTTH mreža dominantnih operatora. U bežičnim mrežama podatkovni saobraćaj se najčešće isporučuje preko 3G mreže UMTS tehnologijom, dok su kućne i campus mreže uglavnom povezane WiFi tehnologijom (IEEE 802.11x skup standarda). WiMAX i LTE još uvijek nemaju značajan udio u telekomunikacijskoj industriji.

3 Motivacija za istraživanje odnosa QoE i QoS

3.1 Istraživanja u pogledu kvalitete iskustva korisnika (QoE- engl. *Quality of Experience*)

Percepcija vremena i ljudske psihofizičke reakcije na vrijeme predstavljaju subjektivno percipiranje objektivne stvarnosti [1]. Istovremeno pažnja i ljudska reakcija na spoljne podražaje se razlikuje od individue do individue. U smislu objektivne provjere vrijednosti subjektivnih reakcija na spoljašnje podražaje pojavljuje se paradigma ocjene ili procjene tih reakcija u širem smislu i na većoj grupi učesnika u posmatranom podražaju [1-2]. Razvoj aplikacija u ICT industriji i njihova isporuka od strane operatora i/ili servis provajdera povezuje se sa tim opservacijama. Razlog je isporuka sadržaja koji podražuju ljudska čula govora, vida ili sluha. Kao što sam spomenuo u pregledu stanja u telekomunikacijskoj industriji, posljednjih godina postaje izrazito važno, kako operatorima koji isporučuju, tako i korisnicima koji konzumiraju objektivno ocjeniti, kao i osigurati E2E QoE za neki servis [3]. Iz ovoga, kao posljedica se pojavljuje, osnovni cilj operatora, koji se odnosi na dobijanje oduševljenog korisnika, čija će se subjektivna ocjena poklopiti sa objektivnom metrikom koju operator može da mjeri. Stoga se u ICT industriji i pojavljuje paradigma ocjene kvalitete iskustva korisnika ili QoE. QoE se može definisati kao sveobuhvatna prihvatljivost aplikacije ili servisa od strane krajnjeg korisnika koju on subjektivno percipira [3]. Prema ITU, QoE treba da uključi sve efekte koje sistem unosi u end-to-end komunikaciju (klijent, terminal, mreža, servis, infrastruktura, itd.). Na potpunu prihvatljivost nekog servisa pored svih komunikacijskih faktora mogu utjecati očekivanja korisnika i kontekst u kome se servis konzumira [4]. Pored ove definicije ITU-a postoji još neovisnih definicija QoE koje su date u literaturi [5-7].

3.1.1 Subjektivna i objektivna metrika QoE

Subjektivna procjena QoE se odnosi na procjenu koju daje grupa učesnika u ocjeni sadržaja koji se mjeri. Najčešće korištena mjera koja se koristi kod subjektivne ocjene servisa se naziva MOS (engl. Mean Opinion Score). MOS, kao mjeru, je definisao ITU za audio, video i multimedijalne servise [8] i [9]. U ovim preporukama za MOS se definišu vrijednosti od 1-5 ili opisne vrijednosti poput odličan, dobar, fer, slab ili loš. Ova skala se u nekim slučajevima može proširiti na brojnu skalu od 1-9 [10]. U [11-15] i [10] su prikazani različiti pristupi subjektivnog testiranja određenih servisa koji se oslanjaju na MOS. Pored kvantitativnih faktora, koji se vežu za MOS, prilikom subjektivnog

ocjenjivanja kvalitete servisa klasificiraju se i kvalitativni faktori. Kvalitativni faktori se odnose na različite planski sprovodive studije, anketne listiće ili set pitanja iz kojih se dobija dublja slika subjektivne ocjene isporučenog servisa [16]. Međutim za svaku subjektivnu procjenu servisa potrebno je organizirati grupu ljudi različitih starosnih, socijalnih i ekonomskih prilika, koja će dobrovoljno bez kontekstnih činilaca ocjeniti neki servis. Pored ovoga, MOS kao kvalitativnu mjeru osporava autor u [17]. Iz ovog razloga operatori su pored subjektivne ocjene i subjektivnih okvira testiranja skloniji posegnuti za objektivnom metrikom. Objektivna metrika se koristi u ocjeni raličitih servisa, ali njen razvoj je najčešće vezan za objektivnu ocjenu video signala [18-21]. Mjera QoE u slučaju IPTV-a, koji predstavlja konkurentni video servis koji nude kablovski operatori, je kao objektivna ocjena ovog servisa data u [14] i [22-24]. Autori su u [25] naglasili važnost objektivnog testiranja u odnosu na kvantitativni subjektivni pristup. U [26] je data klasifikacija, pregled i poređenje performansi različitih objektivnih metoda ocjene video sadržaja. Autori su predstavili važne korake prema razmijevanju FR (engl. *Full Reference*) i RR (engl. *Reduced Reference*) metrike. Postavili su perceptualnu metriku za mjerenje video kvalitete koja može poslužiti kao benchmarking za različite tehnike video procesiranja. Također su naglasili potrebu za proširenjem metoda objektivnog testiranja video kvalitete i postojanje velikog broja izazova koji se tiču upotrebe FR, RR i NR (engl. *No Reference*) metoda. Autori u [27] cijene da je puno više potrebno uraditi na testiranju u realnom okruženju video signala nego u laboratorijskim uslovima. Stoga su testiranja u realnom okruženju obavili autori u [16] i [28-29]. Također autori u [10] tvrde da pored mnogih FR i RR metoda ne postoji niti jedan NR metod koji je standardizacijski usvojen. Efekti videa u vremenskoj, prostornoj ili PSNR dimenziji, zbog reprodukcije na ekranima različitih uređaja, pozivaju na razvijanje novih metoda za objektivno testiranje kvalitete videa. U tom smislu npr. 3D video će zahtijevati razvoj potpuno nove klase metoda objektivnog testiranja video kvalitete. U akademskoj zajednici su definirani različiti pristupi objektivnom testiranju. Kao perceptualne mjere video kvalitete samog signala se najčešće koriste PSNR (engl. *Peak Signal to Noise Ratio*) i MSE (engl. *Mean Square Error*) [30-33], koje se uključuju u algoritme objektivnog testiranja video signala od kojih su najčešće istraživane SSIM (engl. *Structural Similarity (SSIM) Index*) [34], PEVQ (engl. *Perceptual Evaluation of Video Quality*) [35] i VQM (engl. *Video Quality Metric*) [36-39]. Pored testiranja i ocjenjivanja QoE video sadržaja izvedene su subjektivne i objektivne metode podatkovnih i audio servisa [35], [37] i [40].

3.2 Kvalitet servisa (QoS)

Da bi operator putem svoje infrastrukture isporučio aplikaciju koju korisnik očekuje i plaća u garantiranoj brzini i sa svim osobinama koje on reklamira, mora osigurati kvalitet servisa ili QoS (engl. *Quality of Service*). Do danas je ITU standardizacijsko tijelo objavilo blizu 200 preporuka za QoS [41], koje najčešće tretiraju indikatore poput bitske brzine u pristupnoj mreži, zagušenja jezgrene mreže, kašnjenja u prenosu, varijacije u kašnjenju i gubitka informacije tokom prenosa komunikacijske poruke. Objava preporuka koincidira sa promjenom telekomunikacijske mreže, pa se razvoj kretao od tradicionalne mreže bazirane na dodjeljenom servisnom kanalu i odvojene pojedninačno za svaki servis, do jedne mrežne infrastrukture koja je bazirana na IP (engl. *Internet Protocol*) protokolu, po kojoj se isporučuju svi servisi na samo jedan uređaj. Kako su IP mreže u osnovi dizajnirane za tzv. best effort servise QoS se pojavljuje kao važan faktor za telekomunikacijsku industriju. QoS kao faktor korisniku servisa ne govori ništa, niti korisnika interesira koliko mu je kašnjenje, varijacija kašnjenja niti koliki su gubici u informacijskom saobraćaju. Rijetki slučajevi određene grupe naprednih korisnika koje ovo interesira su samo dokaz potvrde navedenog. Zbog svega toga autori u [3], radi lakše manipulacije, definišu tri nivoa QoS-a, koje su označili kao osnovni,

precipirani i procijenjeni QoS. Osnovni QoS se odnosi na mrežnu performansu, te se najčešće odnosi na ITU preporuku E.800 [42] u kojoj se QoS definiše kao funkcija koju treba da osigura mreža, da bi korisnici međusobno komunicirali. Nešto ranije od ITU, IETF standardizacijsko tijelo je definisalo u preporuci RFC 2386 mrežnu performansu [43], kao set servisnih zahtjeva koje mreža mora ispuniti prilikom razmjene podataka. Percipirani QoS se odnosi na preporuku ITU Rec. G.1000 [44] koja definiše različite tačke gledišta QoS-a, pa tako QoS dijeli na: QoS zahtjeve od strane korisnika, QoS koji isporučuje servis provajder, QoS koji provajder može da postigne, te QoS koji korisnik percipira. ITU preporuka P.910 [45] se odnosi na kvalitet iskustva korisnika tj. njegove odluke da nastavi sa korištenjem servisa, a koja zavisi od percipiranog kvaliteta, cijene i odgovora provajdera ili operatora na korisničke pritužbe i probleme. Pored QoS-a autori u [3] definišu i CoS, QoR i QoE. Podjelu QoS parametara i njihove vrijednosti koje su date u ITU preporukama je opisao autor u [46]. Pored ovoga isti autori su opisali IP klase i granične vrijednosti koje parametri QoS-a za određene vrste servisa treba da imaju da ne bi došlo do degradacije servisa. U [16] je definisan okvir koji prikazuje tzv. komunikacijski ekosistem tj. trougao koji se sastoji od konzumenata servisa, biznisa i tehnologije. U tom radu su autori u tehnološki domen svrstali servise, mrežne resurse, korisničke uređaje i QoS. Tehnološki entitet u ekosistemu ima utjecaj na servis u svim pristupnim, transportnim i aplikativnim tačkama gdje se kreira sadržaj. Također autori tvrde da ako ne postoji medijacija između spomenutih domena potrebno je izvršiti korelaciju QoS i QoE parametara. Pored spomenute paradigme u [47] je definisan također jedan QoE ekosistem, ali za aplikacijskog/servis provajdera. Ovi autori su obradili faktore utjecaja na QoE, i predložili su ih kao svaku karakteristiku korisnika, sistema, servisa, aplikacije ili konteksta, čije aktualno stanje ili postavke imaju utjecaj na QoE. Također autori su spomenuli i QoE osobine, te ih definisali kao perceptivne, priznate i prepoznate karakteristike određenog iskustva sa servisom koji doprinosi njegovoj kvaliteti. Autori su jasno prepoznali razlike između QoS i QoE, te ih definisali kroz:

- opseg posmatranja - QoS se svodi isključivo na telekomunikacijski servis, dok se QoE nekada uopšte ne odnosi na telekomunikacije npr. video visoke rezolucije prikazan u kućnom kinu,
- fokus - QoS se bavi performansama fizičkih sistema, dok se QoE bavi procjenom sistemskih performansi koje su ocjenjene od strane korisnika, ali obojenim kontekstnim, kulturnim, socioekonomskim statusom i psihološkim profilom.
- metode - QoS se odnosi na tehnološki orijentiran pristup koji je utemeljen na analitičkom pristupu, empirijskom zaključivanju i simulativnim mjerenjima, dok QoE, u drugu ruku, zahtjeva multidisciplinarni i multimetodološki pristup za njeno razumjevanje.

Bez obzira na ove razlike autori primjećuju da QoE uveliko zavisi od QoS-a [48-50], tj. da aspekti sistemske performanse tehnički imaju značajan utjecaj na neke dimenzije QoE.

3.3 Istraživanja QoE/QoS korelacija

Kao što je spomenuto bez ozbiljnog sistema predikcije ili nadzora nivoa QoE opisanog u [51] i [52], korelacijom između parametara ili indikatora QoS-a i percipiranog QoE se može dati okvir na osnovu kojeg bi se procijenio nivo percipiranog QoE nekog servisa. Najpoznatiji korelacioni model je E-model koji daje PESQ skor i tiče se korelacije MOS skora VoIP servisa i QoS parametara preko R vrijednosti [53] i [54]. Jedna učinkovitija realizacija E-modela data je u [55]. Analitičku ovisnost QoS/QoE razmatraju autori u radovima [56] i [57] u kojima naglašavaju da je tipična korisnički orijentirana ocjena bilo kojeg servisa MOS, koji se može odrediti subjektivnom ocjenom koju daju pojedinačni korisnici ili objektivnom mjerom osobina servisa koje su isporučene. Također, oni tvrde

da pojava izvornih QoS problema poput paketskih gubitaka, kašnjenja, varijacije kašnjenja, pogrešnog redoslijeda paketa i ograničenja u saobraćaju implicira pojavu problema u aplikacijskom sloju poput pojave artefakata u videu, različitih degradacija video signala ili u nekim slučajevima pojave vremena čekanja na servis, što se reflektira na očekivani nivo QoE. Otkrili su da se odnos između parametara QoS-a i QoE-a može prikazati kao određena funkcijska ovisnost. Funkciju koja to predstavlja nazvali su IQX hipoteza i primijenili su je na QoS mrežne parametre tj. na kašnjenje, varijaciju kašnjenja i paketske gubitke. Autori u [58] su razvili nešto drugačiji korelacioni model QoS i QoE koji numerički procjenjuje IPTV QoE korištenjem rezultata istraživanja. Klasificirali su saobraćaj prema IP QoS klasama [46] i za svaku klasu su odredili veličinu svakog utjecaja IP QoS parametara na IPTV servis. Preko dobijenih težinskih faktora su procijenili ukupan QoS, a zatim na osnovu modificirane IQX hipoteze došli do vrijednosti za QoE. Eksperiment sa VoIP servisom su dali autori u [59]. IQX hipotezu su koristili i autori u [60-62], u kojoj su testirali poznati video servis YouTube i ovisnost vremena čekanja i frekvencije zastajkivanja slike u prva dva rada i inicijalnog kašnjenja i prekida u trećem slučaju sa subjektivnom kvantitativnom MOS metodom. Tvrdnja da je mrežni QoS pogodan u slučaju procjene kvalitete multimedijalnog sadržaja, kod autora u [63], se zasniva na verificiranju svih prenesenih paketa koji se odnose na aplikativne i mrežne slojeve u kojima se ne zahtjeva proces dekodiranja. Autori [60], [62] i [64] također tvrde da je glavno pitanje koje treba riješiti pri kvalitetnoj korelaciji QoS/QoE duboka inspekcija paketa. Autori u [65] tvrde da se trebaju sakupiti sve informacije o mrežnim uslovima, kao što su gubitak paketa ili kašnjenje u jednom smjeru, koje će biti kasnije korištene u procesu procjene kvalitete. Konačni testni nivo ocjene kvalitete su vršili na bazi spomenutih informacija, zajedno sa informacijama o multimedijalnim karakteristikama kao što su brzina rama, GOP, tip ramova i njihove zavisnosti, koje su dostupne samo u aplikativnom nivou. Proučavali su različite kombinacije i različite slučajeve, da bi imali dobru bazu koja može poslužiti kao ulaz u neuralnu mrežu. Korištenje neuralnih mreža u korelaciji QoS i QoE su napravili i autori u [66]. Perceptualni pseudo nivo OSI/ISO referentnog sistema koji bi se odnosio na korisničko iskustvo definisan je u [67] i predstavlja okvir za istraživanje slojevitog QoE koji daju i autori u [68]. Oni definišu relaciju QoE i parametara mrežnog i aplikativnog sloja koje oni posmatraju integralno, a ne kao samostalni entitet. Ova realacija je definisana kao funkcija koja zavisi od jednog združenog faktora AQoS (engl. *Application QoS*) i NQoS (engl. *Network QoS*) u novom okviru za procjenu QoE. Pored ovoga autori su predstavili arbitražu koja koristi QoS RT tabele i težinske faktore za upravljanje QoS mehanizmima. QoS mrežna metrika je razmatrana kroz kašnjenje, varijaciju kašnjenja i paketske gubitke, dok je QoE razmatrana kroz tri mrežna scenarija koji se odnose na simulaciju prioriteta kodiranih video paketa, mrežnu arbitraciju kontroliranjem DiffServ i mrežnu arbitraciju kontroliranjem DiffServ i IntServ arhitekture. Razmatranje AQoS parametara, naročito prilikom isporuke video sadržaja, su vršili i autori u [69-71] i [56]. Vrlo sličnu metriku, ali za slučaj HTTP videa dali su autori u [32] i [72], dok su autori u [73] za VoD servis prikazali jedan model koji se dobije višestrukom linearnom regresijom. Testiranje kvaliteta iskustva IPTV servisa u odnosu na NQoS parametre i okviri ovakvog načina testiranja su predstavljeni u [65], [58], [74] i [75]. Interesantan primjer daju autori u [76], gdje pojavu paketske greške vide kao glavni uzrok pojave artefakata u videu i posvećuju pažnju okviru za razvoj AL-FEC da bi riješili ovaj problem i popravili nivo QoE video servisa. U [74] je prikazan model koji mjeri end-to-end QoE na servisnom nivou. U [23] autori upozoravaju da se bliži era HDTV preko IPTV, te da inicijativa treba da obrati pažnju na ovaj servis. Oni testiraju MOS u realnom sistemu u bežičnoj 802.11g mreži, žičnoj Ethernet mreži i PLC scenariju. Kao indikatore QoS-a su odabrali kašnjenje, varijaciju kašnjenja i paketske gubitke, te variranjem istih provjeravali su MOS televizije visoke rezolucije. Isporuku IPTV servisa, ali u IMS sistemu su razmatrali autori u [36] i [77]. U oba slučaja korelacija se posmatrala kroz iste NQoS parametre kašnjenje, varijaciju kašnjenja (jitter) i kroz paketske gubitke. Kvalitet korisničkog iskustva

Web podatkovnih servisa je razmatran u [78], [79], [80] i [81]. Interesantno je da su autori u [60], [62] [70] i [50] obratili posebnu pažnju na transportni sloj i utjecaj koju TCP kao protokol ima na QoE različitih servisa. Zaključili su da TCP, kao protokol koji je konekcijski orjentisan, dodatno, u nekim slučajevima proizvodi loš nivo QoE. Parametri AQoS su u [79] definisani kao parametri telekomunikacijskog sistema koje korisnik percipira. U ovom radu je prikazana veza između tih parametara poput (zastajkivanja, pojave artefakata, prekomjernog vremena čekanja, zamućivanja slike, greški boje, trzanja, nepravilnih ivica i mosquito šuma) i QoS parametara (tj. kašnjenja, gubitaka, varijacije kašnjenja, pogrešnog redoslijeda paketa, ograničenja propusne brzine) i obrnuto. To se tiče VoIP servisa interesantan prikaz ovisnosti QoS i QoE dat je u [82], gdje se preko jednog dijagrama pokušava dijagnosticirati utjecaj degradacije QoS parametara na subjektivnu ocjenu korisnika. Kvalitetni pregledi ovih istraživanja dati su i u [83] i [84]. Telekom operatori vrlo rijetko pružaju samo jedan servis tj. vrlo je čest slučaj pružanja tzv. triple play servisa gdje se kroz jedan pristupni sistem isporučuje podatkovni, glasovni i video servis. Autori nisu obratili pažnju na isporuku triple play servisa u smislu razmatranja QoE problematike. U [85] je prezentirana preporuka za E2E kvalitet iskustva i vodič je za objektivna mjerenja triple play aplikacija koje se isporučuju preko širokopojasne infrastrukture. Odnosi se na pristupne tehnologije, arhitekturu servisa i implementaciju, a obrađuje aplikacije poput videa, glasa, Web surfanja, s tim da ne uključuje VoD i videokonferenciju.

3.4 Istraživanja korelacija QoE-a i QoS-a u odnosu na fizički i podatkovni sloj

Parametri iz ITU i IETF preporuka za QoS se odnose na mrežni sloj OSI/ISO referentnog modela prenosa podataka i kvantificiraju se najčešće preko kašnjenja, varijacije kašnjenja i preko paketskih gubitaka. Rad na saobraćajnim mjerenjima i ocjeni mrežne performanse se najčešće temelje na pasivnim mjerenjima koja su proizvod simulacija, matematičkog modeliranja ili studiranja koncepta u laboratorijskim uslovima koje imaju predvidivo ponašanja. U realnim uslovima testiranja se najčešće rađena na video sadržaju [28] i [86]. Iako autori u [85] govore o end-to-end osiguranju QoS-a, ipak se iz svega navedenog do sada može izvući zaključak da je odnos parametara QoS-a i ocjene/procjene QoE definisan parametrima koji su uglavnom vezani za jezgrovnju mrežu sastavljenu od velikog broja usmjerivača, gdje je krajnji korisnik konzumet samo jedne usluge. Autori u [87] prevazilaženje ovoga problema vide u modificiranom dizajnu QoS-a, dok su u [88] i [89] predstavljena cross-layer dizajn rješenja, koja od fizičkog sloja medija i QoS zahtjeva koje imaju pojedine aplikacije uzimaju u obzir proračun brzine, snage, kodiranja fizičkog medija i njihova prilagođenja aplikacijskim zahtjevima na datom kanalu i u datim mrežnim uslovima. Autori u [90] prevazilaženje ovoga jaza u cilju optimizacije odnosa QoS i QoE vide u koreliranju fizičkog sloja i QoS parametara aplikativnog sloja. Kao eksperimentalni servis su koristili VoIP preko LTE tehnologije, a u radu su korelisali parametre I i II sloja LTE radio konfiguracije sa parametrima IP performansi. Vezu sa QoE su izveli preko PESQ algoritma MOS skorom. Međutim autori nisu dali jedinstveno analitičko rješenje za spomenuti odnos i nisu postavili korelaciju parametara fizičkog sloja sa ocjenom nivoa QoE. Također domenom utjecaja fizičke konfiguracije bežične mreže na QoE preko parametara QoS bave se i autori u [63], [51], [91], [87] i [92]. U bežičnom okruženju, osiguravanje QoS-a predstavlja izazov u dizajnu bežičnih mreža zbog dinamičnosti bežičnog kanala. Neki set parametara kvalitete servisa mogu varirati i biti u jakoj međusobnoj vezi. Autori su u [93] istražili efekat varijacije združenih NQoS parametara (paketskih gubitaka, pogrešnog redosijeda paketa i bitske brzine videae) na nivo QoE korištenjem subjektivne i objektivne metode. Uz pomoć RST (engl. *Rough Set Theory*) tj. snažnog matematičkog programa koji procesira neodređene i nedosljedne podatke dobili su neke uzorke, pravila i znanja unutar tih podataka. Zaključili su da varijacija QoS parametara

uzrokuje izobilje negativnih komentara korisnika za brzo i za sporo promjenjivi video sadržaj (vijesti i fudbalska utakmica). Također su zaključili da varijacija bitske brzine u slučaju videa koji prenosi fudbalsku utakmicu izaziva istu reakciju kao i promjena drugih indikatora QoS-a. U izvještaju [94] su formulisani određeni zahtjevi za IPTV servis koji se isporučuje preko DSL-a u vidu tehnoloških poboljšanja koje se zasnivaju na DSM-u, vectoringu, poboljšanoj zaštiti od impulsnog šuma, SRA, AL-FEC i mjerenjima. Autori su u [95] istražili utjecaj impulsnog šuma na parametre QoS-a. Također istražuje i pojavu sekundi sa blokovskim pogreškama koje uzrokuje impulsni šum. Iako u ITU preporuci end-to-end QoE podrazumijeva praćenje ovih vrijednosti do samog korisnika, vrlo malo autora se bavi sferom kućnih i pristupnih mreža [95] i [96]. Drugim riječima autori su naglasili da bi se ispunili zahtjevi iz spomenutih preporuka potrebno je posmatrati svaki tehnološki segment koji doprinosi pravilnoj procjeni QoE. Stoga modeli koji koreliraju ove segmente tj. segment pristupne mreže i kućne mreže su od velikog značaja za end-to-end osiguravanje QoS-a. Bitno je napomenuti da problemi u kanalu bio on bežični ili žični stohastički mogu utjecati na performansu i na indikatore QoS-a, pa tako i na objektivnu ili subjektivnu ocjenu QoE. Segment fizičkog pristupa telekomunikacijskom sistemu se odnosi na segment zadnje ili prve milje do prvog usmjerivača koji dalje usmjerava saobraćaj ka ili od korisnika. Interesantnu studiju su uradili autori u [97]. Oni su zaključili da prilikom degradacije multimedijalnih servisa u prisustvu stalnih grešaka na fizičkom sloju mreža, da bi zadovoljila nivo QoE, reagira tako što će multimedijalni sistem prilagoditi na način da će djelovati u kodnom dijelu te smanjiti količinu isporuke bita ili će u prisustvu sporadičnog gubitka podataka aktivirati FEC (engl. *Forward Error Correction*) sistem za ispravljanje grešaka. Oni su se fokusirali na FEC sistem Skype servisa, te ispitali relaciju između odnosa redundanse koju on unosi i povećanja gubitaka paketa preko UDP (engl. *User Datagram Protocol*) protokola. Zatim su ispitali performansu FEC mehanizama u smislu QoE, da bi se pronašao optimalni FEC dizajn za VoIP servise. MOS je korišten kao indikator korisničke percepcije kvaliteta preko PESQ [90] i [98] koji poredi degradirani i originalni audio klip. U [28] autori naglašavaju da je IPTV market bandliran u triple play tj. da pored videa on uključuje VoIP i podatkovni saobraćaj, te je važno istražiti kako i na koji način klase nižih prioriteta mogu utjecati na višu klasu QoS-a. Nadzorni end-to-end sistem preporučuju autori u [51], koji treba da uz automatsku kontrolu pristupne mreže i uz efikasan dizajn postigne optimalno korištenje mrežnih resursa u odnosu na osnovne ciljeve operatora. Kombinirali su bežičnu mrežu (WiFi) sa GPRS and 3G kao alternativnim pristupnim tehnologijama. Nakon što se jedan korisnik nalazi u stabilnim uvjetima iskustva tj. ima zadovoljavajući QoE, ništa se ne mijenja, dok prilikom degradacije servisa u nekom slijedećem intervalu, koji uključuje mjerenje i predviđanje QoE nivoa tog intervala, mreža osigurava dodatni resurs korisniku u smislu stabilnosti QoE. Na ovaj način se uz pomoć težinskih faktora i trenutnih mjerenja osigurava predviđanje slijedeće vrijednosti QoE u slijedećem intervalu. Također je osigurano kontrolom pristupne mreže da je mobilni čvor aktivno svjestan najbolje mreže u tom intervalu. Pregledan rad iz problematike osiguravanja end-to-end QoE u bežičnim mrežama dat je u [99].

3.5 Zaključak i preliminarni rezultati

Pregledom literature očigledno se može zaključiti da je tema značajna i interesantna, kako sa aspekta telekomunikacijske industrije tako i iz ugla korisnika koji konzumira servis. Iz svega navedenog se može zaključiti da kvalitet iskustva korisnika - QoE označava korisničku percepciju servisa koji im se isporučuje. Pored objektivnih mjera servisa QoE ovisi o faktorima poput konteksta u kome se servis koristi, socijalnog okruženja korisnika i njegovih psihofizičkih i psiholoških mogućnosti. Telekomunikacijska industrija, a i akademska zajednica, QoE, naročito u zadnje vrijeme,

stavlja u fokus istraživanja. Zbog same prirode, objektivne mjere ocjene kvalitete servisa se nameću kao rješenje, prvenstveno zbog jednostavnije organizacije mjerenja i testiranja, ali i zbog spomentuih faktora koji utječu na subjektivnu ocjenu servisa. Objektivna mjerenja QoE uz pomoć različitih algoritama i metoda uspoređuju dobijene vrijednosti raznim vrstama metrika sa subjektivnom mjerom koja se najčešće povezuje sa MOS-om. Standardizacijska tijela ITU-T (organizirani kroz SG-12) i ETSI su objavili veći broj preporuka koje se odnose na spomenute metode. Propisane objektivne metode za različite vrste servisa su istraživane zadnjih godina i poređene sa subjektivnom ocjenom servisa. Pored ovih, mnogi autori i istraživači pokušali su napraviti vlastite metode i metrike za različite vrste servisa (web, govor, video) koje su davale drugačije rezultate. Na osnovu njih autori su predložili različite okvire u kojima je najbitniji aspekt razmatranje utjecaja pojedinačnih faktora kvalitete servisa (uglavnom parametara u aplikacijskom sloju) na objektivnu sliku end-to-end servisa. Ovdje dolazi do tačke u kojoj QoS tj. objektivna mjera kvalitete električnih, mrežnih i tehničkih karakteristika određuje QoE kod krajnjeg korisnika. Kao što se može primjetiti u prethodnim poglavljima, autori su do sada na ovome jako puno uradili. Propisivani su okviri za end-to-end QoS u određivanju QoE, korelirani su parametri QoS/QoE i predlagani su različiti ekosistemi za osiguravanje i nadzor sistema QoE. Ono što je telekomunikacijskom operatoru koji isporučuje servis važno je SLA ili okvir za ispunjenje SLA. U trenutnoj konstelaciji kada su mreže različitih operatora takve kakve jesu i kada je utjecaj na promjenu u istima minoran njima je naročito bitno ocijeniti objektivno koji nivo QoE isporučuju. To se najjednostavnije može uraditi, ako se jedna tk mreža podijeli prema logičkim dijelovima tj. na servisni, kontrolni, jezgrovi i pristupni dio. Potrebno je naglasiti da se korelacija QoS/QoE najčešće istraživala u servisnom i jezgrovnom dijelu, te da su kao najčešće upotrebljavani korelirajući faktori bili PSNR, kontrast, osvjetljenje, kodeci (aplikativni QoS) i jitter, gubici paketa, bitska brzina, kašnjenja (mrežni QoS). U pristupnom dijelu tj. o utjecaju pristupnog fizičkog kanala mreže na QoE autori su manje obratili pažnju, najčešće su takvu vrstu testiranja vršili u bežičnoj mreži (WiFi, 3G, LTE), dok mnogo manje u žičnim mrežama (xDSL i FTTX). Autori su propustili obratiti pažnju na neophodnost posmatranja propagacije grešaka od nižih ka višim nivoima OSI/ISO modela, na spomenutu logičku podjelu tk mreže kao i na utjecaj propagacije degradacija na dublju korelaciju sa QoE. Izvjesno je da će najlošiji dio mreže (sa degradiranim parametrima u servisnom i/ili jezgrovnom i/ili pristupnom dijelu) definisati krajnji rezultat QoE. Kapacitet fizičkog kanala, smetnje u kanalu, pojava šumova, SNR u pristupnoj mreži će u većoj ili manjoj mjeri utjecati na QoS mrežne parametre (kao najlošija karika prekobrojne mreže IP/MPLS rutera), na QoS aplikativne parametre (npr. na PSNR video slike u vidu zamućivanja), pa posredno i na QoE (to se ogleda u MOS ocjenama 4-3-2-1 sa količinom i vremenom trajanja degradacije). Analitički modeli koji se odnose na korelaciju mrežnih i aplikativnih parametara su dosta dobro dokumentirani, a najčešće interpretirani je model IQX hipoteze, koji je dobijen regresijskom analizom mjerenih QoS indikatora u odnosu na nivo QoE. Najveća mana ovoga modela je što je podesan za razmatranje samo jednog parametra, npr. samo za razmatranje paketskih gubitaka. Autori različitih korelacija su propustili obratiti pažnju na potencijal za istraživanje nekog analitičkog modela ili čak primjenu IQX hipoteze na fizičkom sloju sa nekim od parametara tog sloja (npr. ponašanje IQX hipoteze u slučaju rezidualnih bitskih grešaka). Pored ovoga autori su propustili posmatrati utjecaj degradacija koje se ponavljaju ili duže traju kada se posmatra njihov utjecaj na QoE u nekom vremenskom intervalu. Očigledno je da će se svaka ponovljena greška npr. ponovljena degradacija video sadržaja voditi ka nižem QoE što se matematski može pokazati kao familija IQX krivih u mrežnom domenu. Pored istraživanja utjecaja QoS indikatora na QoE pri eksploataciji servisa, postoji također jedan čitav prostor koji se tiče prekida mrežnog servisa, srednjeg vremena otklanjanja kvara nad servisom, brzine odziva na instalaciju servisa koji se odnose na KPI parametre procesa i KQI indikatore. Ovi radovi se odnose na drugi aspekt odnosa QoS i QoE, tj. ne odnose se na aspekt istraživanja tog odnosa u toku eksploatacije

servisa. Ovaj prostor predstavlja jednu drugačiju dimenziju istraživanja koja neće biti predmet doktorske disertacije, a koji utječe na nivo QoE korisnika i na njegovo zadovoljstvo servisom. Istraživanje će se baviti samo servisom u eksploataciji tj. bavit će se degradacijom servisa do tačke kada korisnik nema servis tj. kada nastupi prekid servisa i kada je jasno da vrijedi QoE=1. Autori su do sada pretpostavili i dobro dokumentovali analitički model u kome se QoE može predstaviti kao funkcija:

$$QoE = f_1(QoS_1, QoS_2, QoS_3, QoS_4, \dots, QoS_n) \quad (1)$$

Ako se pojavi degradacija jednog ili više mrežnih parametara QoS-a, tj. ako se pojave paketski gubici, veće kašnjenje ili varijacija kašnjenja, ista pored istražene problematike u IP/MPLS mreži može biti uzrokovana i smetnjama u tzv. zadnjoj milji, koja se odnosi na pristupnu mrežu bilo žičnu (xDSL ili FTTH) ili bežičnu (WiFi, 3G UMTS, LTE). Stoga vrijedi da je u ovom smislu QoS funkcija od kvalitete fizičkog sloja:

$$QoS = f_2(QoPh_1, QoPh_2, QoPh_3, \dots, QoPh_n) \quad (2)$$

gdje je sa QoS označen neki od parametara viših slojeva OSI/ISO modela (u ovom slučaju se odnosi na NQoS), dok je sa QoPh označeni indikatori mjere kvalitete fizičkog nivoa OSI/ISO modela, a koji se odnose na prilike u kanalu pristupnog dijela telekomunikacijske mreže. Iz ovoga razloga se može pretpostaviti da vrijedi i funkcija:

$$QoE = f_3(AQoS, NQoS, QoPh) \quad (3)$$

Gdje se AQoS, NQoS odnose na kvalitet servisa aplikativnog i mrežnog sloja. Autori su, kao što sam spomenuo u prethodnim poglavljima, istražili AQoS i NQoS međutim vezu nižih slojeva OSI/ISO modela i jednačine (2) i (3) nisu istražili, a značajna je za end-to-end razmatranje QoE. Kvalitet podatkovnog sloja tj. njegove mogućnosti da detektuje i ispravi greške, koje se pojavljuju zbog onoga što se dešava u kanalu, zavisi od vrste zaštitnog kodiranja, načina kodiranja, odabira kodne šeme i sl. Na ovo utječe odabir tehnologije koja se koristi i koja uveliko ovisi o kakvoj se vrsti fizičkog kanala radi. Indikatori kvalitete fizičkog sloja se reflektiraju direktno na broj detektiranih grešaka, broj ispravljenih grešaka, broj blokovskih grešaka i sekundi sa greškama. Stoga je kvalitet podatkovnog sloja (DQoS) funkcija od:

$$DQoS = f_4(ES, RER, FEC) \quad (4)$$

gdje ES, RER i FEC označavaju sekunde sa blokovskim greškama, rezidualnu bitsku grešku i broj ispravljenih bitskih grešaka. Promjena (stabilnost) bitske brzine $R \leq C$ definisana kroz odnos signal šum, margine i pojavu stacionarnog ili nestacionarnog šuma utječe na vjerovatnoću pojave bitske greške, a samim tim i na DQoS. Propagacija ovih pogrešaka kroz slojeve OSI/ISO modela i dužina trajanja degradacije koje one uzrokuju dovode do smanjenja nivoa korisničkog iskustva u trenutku eksploatacije multimedijalnog servisa. Ove pojave su od izuzetne važnosti za istražiti da bi se osigurao end-to-end kvalitet tog servisa, a samim tim i kvalitet iskustva tog korisnika.

4 Osnovni ciljevi istraživanja

1. Identificirati tipove smetnji koji se pojavljuju na fizičkom sloju, te procijeniti utjecaj tih smetnji na intenzitet pojave bitskih pogrešaka, a samim tim i intenzitet pojave rezidualne bitske greške i sekundi sa rezidualnom bitskom greškom u domenu pristupne mreže

2. Korelirati pojave incidenata nastalih na fizičkom i sloju podataka sa gornjim slojevima OSI/ISO modela preko dostupnih mrežnih i aplikativnih indikatora QoS-a
3. Na osnovu gore dobijenih rezultata empirijski pronaći matematski model koji će povezati pojavu incidenata na fizičkom sloju, uzrokovanih pojavom stacionarnog i nestacionarnog šuma, sa kvalitetom iskustva korisnika IPTV servisa, korištenjem poznatih objektnih modela za ocjenu QoE tj. odrediti kvantitativno doprinos pristupne mreže na ukupan MOS nivo QoE

5 Plan istraživanja

Prije svega je potrebno eksperimentalno i teorijski, u realnom okruženju, identificirati parametre fizičkog sloja u nepokretnim mrežama, koji utječu i kvantitativno generišu incidente, poput rezidualne bitske greške, vidljive na sloju podataka. Nakon ove analize potrebno je empirijski izvesti analitički model utjecaja spomenutih incidenata koji kvalitativno definišu fizički sloj na IP QoS indikatore poput kašnjenja, varijacije kašnjenja, gubitka podataka i paketske brzine koje generira domen pristupne mreže. Nakon toga treba analitički prikazati utjecaj između QoPh preko DQoS i AQoS na neki od objektivnih modela procjene MOS-a QoE. Stoga u toku istraživanja planiram pronaći odgovore na pitanja:

- Koji su to parametri fizičkog sloja u domenu pristupne mreže koji utječu na kvalitet IPTV servisa kod korisnika?
- Koliki je kvantitativni utjecaj pristupne mreže, koja je u svom fizičkom sloju izložena različitim vrstama degradacija, na end-to-end isporuku servisa?
- Na koji način i u kojoj mjeri pristupna mreža kao terminirajući faktor u end-to-end komunikaciji između krajnjeg korisnika i tk sistema utječe na QoS, a zatim na QoE korisnika multimedijalnog servisa?

6 Metode istraživanja

U skladu s postavljenim ciljevima, metode istraživanja se zasnivaju na teoretskim razmatranjima, te eksperimentalnoj provjeri dobijenih rezultata. Parametre koji će se pojaviti u analitičkom modelu planiram izvesti preko regresijske analize. Teorijska razmatranja će obuhvatiti:

- Analizu parametara kao funkcijskih varijabli potrebnih za kvantitativnu procjenu veličine utjecaja fizičkog sloja i sloja podataka u vremenskom domenu
- Korelacija parametara fizičkog sa višim slojevima OSI/ISO modela
- Korelacija parametara fizičkog sloja sa MOS IPTV servisa

Teoretska razmatranja trebala bi rezultirati razvojem odgovarajućeg analitičkog modela za mjere performansi i njihovu korelaciju kroz OSI /ISO slojeve do QoE, a koji bi se verificirao kroz eksperimentalna mjerenja realnog sistema u kontrolisanim uslovima. Za validaciju rezultata je potrebno koristiti sljedeći hardver i softver:

- HST-3000
- 5520 AMS GUI, Alcatel
- ACI-E EM GX 3.8m – Nokia Siemens Network

- dostupni simulatori i/ili jezici viskog nivoa sa interaktivnim okruženjem za numeričko računanje vizualizaciju i programiranje

U cilju validacije dobijenih rezultata na prethodno navedenim uređajima treba izvršiti eksperimentalna mjerenja u realnom okruženju i po potrebi izvesti provjeru istih na simulacijskom modelu.

7 Očekivani izvorni naučni doprinos disertacije

Procjena i analitika utjecaja mrežne performanse na ukupan doživljaj servisa od strane korisnika je ključan faktor na koji operatori i servis provajderi moraju računati. Mjesto razdvajanja između tehnocentričnog i subjektivnog modela nekog servisa je u objektivnom širokorašprostranjenju i općeprihvaćenom mišljenju koga korisnici servisa treba da usvoje. QoE kao multidisciplinarni pristup se proteže na svaki aspekt i kontekst u kome se neki servis konzumira. Potražnja servisa ovisi o objektivnom i dakako subjektivnom stavu korisnika koji plaćaju servis. Stoga rad ima za cilj da objektivno iz domena pristupne mreže kao terminirajućeg faktora između korisnika i mrežnog provajdera formira tehnocentrički model koji će na objektivan način doći do faktora koje pristupna mreža tj. kanal koji povezuje korisnika sa IP/MPLS mrežom unosi u odnos QoS/QoE, te u tom smislu potencijalni doprinosi doktorske disertacije su:

- Razvijen analitički model
- Definisan precizan odnos pojave incidenata na fizičkom sloju sa indikatorima kvalitete servisa viših slojeva OSI/ISO modela
- Posredno izvesti preko poznatih QoS/QoE korelacija vezu izvedenog modela i kvaliteta iskustva krajnjeg korisnika multimedijalnog servisa,
- Dokazan i istražen neposredan doprinos nižih slojeva u ukupnoj QoS performansi
- Dokazan i istražen doprinos nižih slojeva, posredno preko performanse QoS-a, na ukupan nivo QoE performanse

8 Polazna literatura

- [1] L. G. Allan, "The perception of time", in Journal of Attention, Perception & Psychophysics, vol. 26, no. 5, pp. 340-354, Sept. 1979,
- [2] R. Jain, "Quality of Experience", in IEEE Multimedia, vol. 11, no. 1, pp. 96-97, 2004,
- [3] H. Koumaras, C-H. Lin, C-K. Shieh, A. Kourtis, "A Framework for End-to-End Video Quality Prediction of MPEG Video", in Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 21, no.2, pp. 139-154, Feb. 2010
- [4] ITU-T Recommendation, ITU-T SG12, "Definition of Quality of Experience", COM12- LS 62 - E, TD 109rev2 (PLEN/12), Geneva, Jan. 2007,
- [5] J. Goodchild, "Integrating data, voice and video – Part II," IP Video Implementation and planning guide, United States Telecom Association, 2005,
- [6] R. Stankiewicz, P. Cholda, A. Jajszczyk, "QoX: What is it really?", IEEE in Communications Magazine, vol. 49, no.4, pp. 148-158, Apr. 2011,
- [7] M. Siller and J. Woods, "QoS arbitration for improving the QoE in multimedia transmission" in Proceedings of International Conference on Visual Information Engineering (VIE), University of Surrey, Guildford, UK, July 2003, pp. 238-241,
- [8] ITU-T Recommendation, ITU-T P.800.1, "Mean Opinion Score (MOS) Terminology", 2003,
- [9] ITU-T Recommendation, ITU-T P.10/G.100, "Vocabulary for performance and quality of service. Amendment 2: New definitions for inclusion in Recommendation ITU-T P.10/G.100", Jul 2008
- [10] K. R. Laghari, O. Issa, F. Speranza, T. H. Falk, "Quality-of-Experience Perception for Video Streaming Services: Preliminary Subjective and Objective Results", in Proceedings of Asia-Pacific Signal & Information Processing Association Annual Summit and Conference (APSIPA ASC), Hollywood, CA, USA, December 2012, pp. 1-9,
- [11] S. Egger, P. Reichl, T. Hoßfeld and R. Schatz, "Time is Bandwidth? Narrowing the Gap between Subjective Time Perception and Quality of Experience", in Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC 2012), Ottawa, Canada, Jun. 2012, pp. 1325-1330
- [12] ITU-R Recommendation, ITU-R BT.500-13, "Methodology for the Subjective Assessment of the Quality of Television Pictures", January 2012,
- [13] K. Seshadrinathan, R. Soundararajan, A. C. Bovik, L. K. Cormack, "Study of Subjective and Objective Quality Assessment of Video", in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 19, no. 6, pp. 1427-1441, Jun. 2010

- [14] J.M. Monteiro, Mario S. Nunes, "A Subjective Quality Estimation Tool for the Evaluation of Video Communication Systems", in Proceedings of 12th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2007), Santiago, Portugal, Jul. 2007, pp. 75-80,
- [15] K. Subjective Test Methodology: MOS vs. DMOS in Evaluation of Speech Coding Algorithms
- [16] K.U.R. Laghari, K. Connelly, "Toward total quality of experience: A QoE model in a communication ecosystem", in IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 4, pp. 58-65, Apr. 2012
- [17] T. Höbfeld, R. Schatz, S. Egger, "SOS: The MOS is not enough!" in 2011 Third International Workshop on QoMEX, Mechelen, Belgium, Sept. 2011, pp. 131-136
- [18] ITU-T Recommendation, ITU-T J.247, "Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference", August 2008,
- [19] ANSI T1.801.03 Standard, "Digital Transport of One-Way Video Signals - Parameters for Objective Performance Assessment", 2003,
- [20] K. Watanabe, J. Okamoto, T. Kurita, "Objective video quality assessment method for evaluating effects of freeze distortion in arbitrary video scenes" in Proceedings of SPIE, Image Quality and System Performance IV, vol. 6494, San Jose, CA, USA, Jan. 2007, pp. unknown,
- [21] S. Sarabjot, J. G. Andrews, G. de Veciana, "Interference Shaping for Improved Quality of Experience for Real-Time Video Streaming", in IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Aug. 2012,
- [22] K. Yamagishi, T. Hayashi, "Parametric Packet-Layer Model for Monitoring Video Quality of IPTV Services", in Proceedings of the IEEE International Conference on Communications, Beijing, China, ICC 2008, pp. 110-114,
- [23] E. Shihab, F. Wan, L. Cai, A. Gulliver, N. Tin, "Performance analysis of IPTV traffic in home networks" in Proceedings of the Global Telecommunications Conference (GLOBECOM '07), Washington, DC, USA, Nov. 2007, pp. 5341-5345,
- [24] J. Okyere-Benya, M. Aldiabat, V. Menkovski, G. Exarchakos, A. Liotta, "Video Quality Degradation on IPTV Networks", in Proceedings of 2012 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), Maui, HI, USA, Feb. 2012, pp. 702-707
- [25] Brooks P., Hestnes B., "User measures of quality of experience: Why being objective and quantitative is important", in IEEE Network, vol. 24, no. 2, pp. 8-13, Mar.-Apr. 2010,
- [26] S. Chikkerur, V. Sundaram, M. Reisslein, L.J. Karam, "Objective Video Quality Assessment Methods: A Classification, Review, and Performance Comparison", in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 57, no. 2, Jun. 2011
- [27] R. Serral-Gracià, E. Cerqueira, M. Curado, M. Yannuzzi, E. Monteiro, X. Masip-Bruin, "An Overview of Quality of Experience Measurement Challenges for Video Applications in IP Networks", in Wired/Wireless Internet Communications Lecture Notes in Computer Science, vol. 6074, pp. 252-263, 2010
- [28] G. Baltoglou, E. Karapistoli, P. Chatzimisios, "Real-world IPTV network measurements", in Proceedings of the 2011 IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC), Kerkira, Greece, Jul. 2011, pp. 830-835,
- [29] R. Schatz and S. Egger, "Vienna Surfing - Assessing Mobile Broadband Quality in the Field", in Proceedings of the 1st ACM SIGCOMM workshop on Measurements up the Stack (W-MUST), pp. 19-24, 2011,
- [30] D. Migliorini, E. Mingozzi, C. Vallati, "QoE-oriented performance evaluation of video streaming over WiMAX," in Proceedings of the 8th International Conference on Wired/Wireless Internet Communications (WWIC '10), 2010, pp. 240-251,
- [31] Stephen Wolf and Margaret Pinson: "Reference Algorithm for Computing Peak Signal to Noise Ratio (PSNR) of a Video Sequence with a Constant Delay", ITU-T Contribution COM9-C6-E, Geneva, February 2-6, 2009,
- [32] Ricky K. P. Mok, Edmond W. W. Chan, Rocky K. C. Chang, "Measuring the Quality of Experience of HTTP Video Streaming", in Proceedings of 12th IFIP/IEEE IM, Dublin, Ireland, May 2011, pp. 485-492
- [33] S. Bharath, S. Jaganath, J. Prakash, "Perceptual Video Quality Measurement Based on Generalized Priority Model", in International Journal of Computer Science and Mobile Computing (IJCSMC), vol. 2, no. 4, pp. 58-64, Apr. 2013
- [34] Z. Wang, A. Bovik, H. Sheikh, E. Simoncelli, "Image quality assessment: from error visibility to structural similarity," in IEEE Transactions on Image Processing, vol. 13, no. 4, pp. 600-612, Apr. 2004,
- [35] ITU-T Recommendation, ITU-T J.247, "Objective perceptual multimedia video quality measurement in the presence of a full reference", August 2008,
- [36] Thu-H. Truong, N. H. Thanh, N. T. Hung, "Pragmatic Correlations of Quality-of-Experience and Quality-of-Service in IMS-Based IPTV Network", in International Journal of Distributed Systems and Technologies (IJ DST), vol. 4, no. 1, 14 pp., 2013
- [37] P. Ramos, J. Salmerón, R. Leal, F. Vidal, "Estimating Perceived Video Quality from Objective Parameters in Video over IP Services", in 7th International Conference on Digital Telecommunications (ICDT 2012), Chamonix, France, Apr. 2012, pp. 65-68
- [38] Tianyi Wang, Pervez, A. and Hua Zou, "VQM-based QoS/QoE mapping for streaming video" in Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Broadband Network & Multimedia Technology (IC-BNMT), Beijing, China, October 2010, pp. 807-812,
- [39] B. Ciubotaru, G. M. Muntean, G. Ghinea, "Objective assessment of region of interest-aware adaptive multimedia streaming quality", in IEEE Transactions on Broadcasting, vol. 55, no. 2, pp. 202-212, Jun 2009
- [40] R. Schatz, S. Egger, and A. Platzer, "Poor, Good Enough or Even Better? Bridging the Gap between Acceptability and QoE of Mobile Broadband Data Services" in Proceedings of the 2011 IEEE International Conference on Communications, Kyoto, Japan, Jun. 2011, pp. 1-6
- [41] A. Takahashi, D. Hands, V. Barriac, "Standardization activities in the ITU for a QoE assessment of IPTV", in IEEE Communications Magazine, vol. 46, no. 2, pp. 78-84, Feb. 2008
- [42] ITU-T Recommendation, ITU-T E.800, "Definitions of terms related to quality of service", Sept. 2008
- [43] RFC, available on <http://www.rfc-editor.org/info/rfc2368>
- [44] ITU-T Recommendation, ITU-T G.1080, "Quality of Experience Requirements for IPTV Services", December 2008,
- [45] ITU-T Recommendation, ITU-T P.910, "Subjective video quality assessment methods for multimedia applications", 2008,
- [46] Y. Maeda, "QoS standards for ip-based networks", in IEEE Communications Magazine, vol. 41, no. 6, pp. 80, Jun. 2003
- [47] P. Le Callet, S. Möller, A. Perkins, "Qualinet White Paper on Definitions of Quality of Experience", in European Network on Quality of Experience in Multimedia Systems and Services (COST Action IC 1003), Lausanne, Switzerland, Version 1.1, Jun. 2012,
- [48] F. Agboma, A. Liotta, "QoE-aware QoS management" in Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Mobile Computing and Multimedia, Linz, Austria, Nov. 2008, pp. 111-116,
- [49] J.M. Monteiro, Mario S. Nunes, "A Subjective Quality Estimation Tool for the Evaluation of Video Communication Systems", in Proceedings of 12th IEEE Symposium on Computers and Communications (ISCC 2007), Santiago, Portugal, Jul. 2007, pp. 75-80,

- [50] D. Collange, M. Hajji, J. Shaikh, M. Fiedler, P. Arlos, "User impatience and network performance", in Proceedings of 8th EURO-NGI Conference on Next Generation Internet (NGI), Kalskeona, Sweden, Jun. 2012, pp. 141-148,
- [51] Muslim Elkotob, Daniel Granlund, Karl Andersson, Christer Åhlund, "Multimedia QoE optimized management using prediction and statistical learning", in Proceedings of 35th Conference on LCN, Denver, USA, Oct. 2010, pp. 324-327,
- [52] H. Koumaras, C-H. Lin, C-K. Shieh, A. Kourtis, "A Framework for End-to-End Video Quality Prediction of MPEG Video", in Journal of Visual Communication and Image Representation, vol. 21, no.2, pp. 139-154, Feb. 2010,
- [53] ITU-T Recommendation, ITU-T P.862, "Perceptual evaluation of speech quality (PESQ)", 2003,
- [54] L. Goldin, L. Montini, "Impact of network equipment on packet delay variation in the context of packet-based timing transmission", in IEEE Communications Magazine, vol. 50, no. 10, pp. 152-158, Oct. 2012
- [55] H. Assem, D. Malone, J. Dunne, P. O'Sullivan, "Monitoring VoIP Call Quality Using Improved Simplified E-model", in Proceedings of International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC), San Diego, CA, USA, Jan. 2013, pp. 927-931
- [56] Hoßfeld, M. Fiedler, Th. Zinner, "The QoE Provisioning-Delivery-Hysteresis and Its Importance for Service Provisioning in the Future Internet", in Proceedings of the 7th Conference on Next Generation Internet Networks (NGI), Kaiserslautern, Germany, Jun. 2011, pp. 1-8
- [57] Markus Fiedler, Tobias Hoßfeld and Phuoc Tran-Gia, "A Generic Quantitative Relationship between Quality of Experience and Quality of Service", in IEEE Network, vol. 24, issue 2, pp 36-41, April 2010
- [58] H. J. Kim and S. G. Choi, "A study on a QoS/QoE correlation model for QoE evaluation on IPTV service," in Proceedings of the 12th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), Phoenix Park, Korea, Feb. 2010, pp. 1377–1382
- [59] Tobias Hoßfeld, David Hock, Phuoc Tran-Gia, Kurt Tutschku, Markus Fiedler, "Testing the IQX Hypothesis for Exponential Interdependency between QoS and QoE of Voice Codecs iLBC and G.711", Technical report № 442, University of Würzburg, Germany, March 2008,
- [60] T. Hoßfeld, R. Schatz, E. Biersack, L. Plissonneau, "Internet Video Delivery in YouTube: From Traffic Measurements to Quality of Experience" in Data Traffic Monitoring and Analysis, Lecture Notes in Computer Science-Computer Communication Networks and Telecommunications, vol. 7754, pp. 264-301, 2013
- [61] T. Hoßfeld, S. Egger, R. Schatz, M. Fiedler, K. Masuch, Ch. Lorentze, "Initial Delay vs. Interruptions: Between the Devil and the Deep Blue Sea" in proceedings of 4th International Workshop on QoMEX 2012, Yarra Valley, Australia, Jul. 2012, pp. 1-6
- [62] T. Hoßfeld, R. Schatz, M. Seufert, M. Hirth, T. Zinner, P. Tran-Gia, "Quantification of YouTube QoE via Crowdsourcing" in Proceedings of IEEE International Workshop on Multimedia Quality of Experience - Modeling, Evaluation, and Directions (MQoE), Dana Point, CA, USA, Dec. 2011, pp. 494-499
- [63] V.A. Machado, C.N. Silva, R.S. Oliveira, A.M. Melo, M. Silva, C.R.L. Frances, J.C.W.A. Costa, N.L. Vijay Kumar, C.M. Hirata, "A new proposal to provide estimation of QoS and QoE over WiMAX networks: An approach based on computational intelligence and discrete-event simulation", in Proceedings of the 2011 IEEE LATINCOM, Belem do Para, Brazil, Oct. 2011, pp. 1-6
- [64] R. Schatz, T. Hoßfeld, L. Janowski, S. Egger, "From Packets to People: Quality of Experience as a New Measurement Challenge", in Data Traffic Monitoring and Analysis, Lecture Notes in Computer Science, vol. 7754, pp. 219-263, 2013
- [65] P. Calyam, P. Chandrasekaran, G. Trueb, N. Howes, R. Ramnath, D. Yu, Y. Liu, L. Xiong, D. Yang, "Multi-Resolution Multimedia QoE Models for IPTV Applications", in International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, vol. 2012, Article ID 904072, 13 pages, Apr. 2011
- [66] Haiqing Du, Chang Guo, Yixi Liu, Yong Liu, "Research on Relationships between QoE and QoS based on BP Neural Network", in Proceedings of IC-NIDC 2009, Beijing, China, Sept. 2009, pp. 312-315
- [67] B. Bauer, A.S. Patrick, A Human Factors Extension to the Seven-Layer OSI Reference Model, January 2004, [Online], Available: <http://www.andrewpatrick.ca/OSI/10layer.html>,
- [68] M. Siller, J.C. Woods, "Improving quality of experience for multimedia services by QoS arbitration on a QoE framework", in Proceeding of International Conference on Visual Information Engineering (VIE 2003), Jul 2003, pp. 238-241
- [69] Mu Mu, A. Mauthe, F. Garcia, "A Discrete perceptual impact evaluation quality assessment framework for IPTV services" in Proceedings of the 2010 IEEE International Conference on Multimedia and Expo (ICME), Suntec City, Singapore, Jul. 2010, pp. 1505-1510
- [70] D.Collange, J.L. Costeux, "Passive Estimation of Quality of Experience", in Journal of Universal Computer Science, vol. 14, no. 5, pp. 625-641, 2008
- [71] C.E. Vegiris, K.A. Avdelidis, C.A. Dimoulas, G.V. Papanikolaou, "Live Broadcasting of High Definition Audiovisual Content Using HDTV over Broadband IP Networks", in International Journal of Digital Multimedia Broadcasting, vol. 2008, Article ID 250654, 18 pages
- [72] M.S. Mushtaq, B. Augustin, A. Mellouk, "Empirical study based on machine learning approach to assess the QoS/QoE correlation", in Proceedings of 17th European Conference on Networks and Optical Communications (NOC), Vilanova i la Geltru, Spain, Jun. 2012, pp. 1-7
- [73] S. Aroussi, T. Bouabana-Tebibel, A. Mellouk, "Empirical QoE/QoS correlation model based on multiple parameters for VoD flows", in Proceedings of the 2012 IEEE Global Communications Conference (GLOBECOM '12), Anaheim, CA, USA, Dec. 2012, 1963-1968
- [74] M. N. Zapater and G. Bressan, "A proposed approach for quality of experience assurance for IPTV", in Proceedings of 1st International Conference on the Digital Society (ICDS), Guadeloupe, France, January 2007, pp. 1-25,
- [75] Agrawal, D., Beigi, M. S., Bisdikian, C., Kang-Won Lee, "Planning and managing the IPTV service deployment", in proceedings of 10th IFIP/IEEE International Symposium on Integrated Network Management, Munich, Germany, May 2007, pp. 353-362,
- [76] J. Zhang, Y. Wang, B. Rong, "QoS/QoE Techniques for IPTV Transmissions", in Proceedings of IEEE International Symposium on Broadband Multimedia Systems and Broadcasting (BMSB '09), Bilbao, Spain, May 2009, pp- 1-6,
- [77] T. Truong, T. Nguyen, H. Nguyen, "On Relationship between Quality of Experience and Quality of Service Metrics for IMS-Based IPTV Networks" in Proceedings of IEEE RIVF International Conference on Computing and Communication Technologies, Research, Innovation, and Vision for the Future (RIVF), Ho Chi Minh, Vietnam, Mar. 2012, pp. 1-6
- [78] S. Egger, T. Hoßfeld, R. Schatz, M. Fiedler, "Waiting Times in Quality of Experience for Web Based Services", in proceedings of 4th International Workshop on QoMEX 2012, Yarra Valley, Australia, Jul. 2012, pp. 86-96
- [79] S. Egger, P. Reichl, T. Hoßfeld and R. Schatz, "Time is Bandwidth? Narrowing the Gap between Subjective Time Perception and Quality of Experience", in Proceedings of the 2012 IEEE International Conference on Communications (ICC 2012), Ottawa, Canada, Jun. 2012, pp. 1325-1330

- [80] J. Shaikh, M. Fiedler, D. Collange, "Quality of Experience from user and network perspectives", in *Annals of Telecommunications*, vol. 65, no. 1-2, pp. 47-57, 2010
- [81] X. Hei, C. Liang, J. Liang, Y. Liu, K. Ross, "A measurement study of a large-scale p2p IPTV system", in *IEEE Transactions on Multimedia*, vol. 9, no. 8, pp. 1672-1687, Dec. 2007,
- [82] C. Yu-Chun, C. Chi-Jui, C. Kuan-Ta, L. Chin-Laung, "Radar Chart: Scanning for Satisfactory QoE in QoS Dimensions", in *IEEE Network*, Vol. 26, no. 4, pp. 25-31, Jul-Aug. 2012,
- [83] M. Alreshoodi, J. Woods, "Survey on QoE/QoS Correlation Models For Multimedia Services", in *International Journal of Distributed and Parallel Systems (IJDPS)*, vol.4, no.3, pages 20, May 2013
- [84] R. Stankiewicz and A. Jajszczyk, "A survey of QoE assurance in converged networks", in *Journal Computer Networks: The International Journal of Computer and Telecommunications Networking*, vol. 55, no. 7, pp. 1459-1473, 2011
- [85] Broadband forum, Technical Report TR-126, "Triple-play Services Quality of Experience (QoE) Requirements", Dec 2006,
- [86] S. Ickin, K. De Vogeleer, M. Fiedler, D. Erman, "The Effects of Packet Delay Variation on the Perceptual Quality of Video" in *Proceedings of IEEE 35th Conference on Local Computer Networks (LCN)*, Denver, CO, USA, Oct. 2010, pp. 663-668,
- [87] Mu Mu, A. Mauthe, F. Garcia, "A Utility-Based QoS Model for Emerging Multimedia Applications" in *Proceedings of the Second International Conference on the Next Generation Mobile Applications, Services and Technologies (NGMAST '08)*, Cardiff, UK, Sept. 2008, pp. 521-528
- [88] G. Gardikis, L. Boula, G. Xilouris, A. Kourtis, E. Pallis, M. Sidibe, D. Negru, "Cross-layer monitoring in IPTV networks", in *IEEE Communications Magazine*, vol. 50, no. 7, pp. 76-84, Jul. 2012
- [89] J. Sen, S. Bhattacharya, "A Survey on Cross-Layer Design Frameworks for Multimedia Applications over Wireless Networks", in *International Journal of Computer Science and Information Technology (IJCSIT)*, vol. 1, no. 1, pp. 29-42, Jun. 2008,
- [90] F. Javier Rivas, A. Díaz, P. Merino, "Obtaining More Realistic Cross-Layer QoS Measurements: A VoIP over LTE Use Case", in *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, Article ID 405858, 10 pages, 2013
- [91] A. Khan, I.-H. Mkwawa, S. Lingfen, E. Ifeakor, "QoE-driven Sender Bitrate Adaptation Scheme for Video Applications over IP Multimedia Subsystem" in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Kyoto, Japan, Jun. 2011, pp. 1-6
- [92] A. Khan, Sun Lingfen, E. Ifeakor, Jose Oscar Fajardo, F. Liberal, "Video Quality Prediction Model for H.264 Video over UMTS Networks and their Application in Mobile Video Streaming" in *Proceedings of IEEE International Conference on Communications (ICC)*, Cape Town, South Africa, May 2010, pp. 1-5
- [93] K. U. R. Laghari, I. Khan, N. Crespi, "Quantitative and Qualitative Assessment of QoE for Multimedia Services in Wireless Environment (QoS/QoE)", in *Proceeding MoVid '12 Proceedings of the 4th Workshop on Mobile Video*, pp. 7-12, USA, 2012
- [94] Broadband forum, Technical Report MR-180, "Achieving Quality IPTV over DSL", 20012
- [95] J. A. Andersson, M. Kihl and S. Höst, "Impact of DSL link impairments on higher layer QoS parameters", in *Proceedings of 8th Swedish National Computer Networking Workshop*, Stockholm, Sweden, June 2012, pp. 95-98,
- [96] Chris Develder, Peter Lambert, Wim Van Lancker, Stefaan Moens, Rik Van de Walle, Jelle Nelis, Dieter Verslype, Steven Latré, Nicolas Staelens, Nick Vercammen, Brecht Vermeulen, Bart Masschelein, Tom Van Leeuwen, Jean-Francois Macq, Kris Struyve, Filip De Turck, Bart Dhoedt, "Delivering scalable video with QoS to the home", in *Telecommunication Systems*, vol. 49, no. 1, pp. 129-148, Jan. 2012,
- [97] T. Huang, P. Huang, K. Chen, P.J. Wang, "Could Skype Be More Satisfying? A QoE-Centric Study of the FEC Mechanism in a Internet-Scale VoIP System", in *IEEE Network*, vol. 24, no. 2, pp. 42-48, Mar. 2010
- [98] G. Rubino, "Quantifying the quality of audio and video transmissions over the internet: the PSQA approach", In *Design and Operations of Communication Networks: A review of Wired and Wireless Modeling and Management Challenges*, Imperial College Press, 2005,
- [99] S. Baraković and L. Skorin-Kapov, "Survey and Challenges of QoE Management Issues in Wireless Networks", in *Journal of Computer Networks and Communications*, vol. 2013, Article ID 165146, pages 28, 2013