

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Marko Čejvan

**VREDNOVANJE MREŽNIH PERFORMANSI ZA RAZLIČITE
RAZINE ZDRUŽIVANJA QoE**

DIPLOMSKI RAD

Zagreb, 2020.

Zagreb, 1. travnja 2020.

Zavod: **Zavod za informacijsko komunikacijski promet**
Predmet: **Tehnologija telekomunikacijskog prometa II**

DIPLOMSKI ZADATAK br. 5908

Pristupnik: **Marko Čejvan (0135233110)**
Studij: **Promet**
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Vrednovanje mrežnih performansi za različite razine združivanja QoE**

Opis zadatka:

Dati detaljan prikaz mogućnosti 5G mreže, vezano uz zahtjeve novih i evoluirajućih aplikacija i slučajeva uporabe. Prikazati odnos QoS-a, QoE-a, KPI-a i KQI-a i njihovu ulogu u vrednovanju mrežnih performansi.

Primjenom razvijenih metoda za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja ocijeniti i rangirati sveukupne mrežne performanse za različite razine agregacije QoE: (1) na razini klase usluga, (2) na razini određenog geografskog područja za sve klase usluge i (3) na razini države.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za
diplomski ispit:



prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih znanosti

DIPLOMSKI RAD

**VREDNOVANJE MREŽNIH PERFORMANSI ZA
RAZLIČITE RAZINE ZDRUŽIVANJA QoE
NETWORK PERFORMANCE SCORING FOR DIFFERENT
LEVELS OF QoE AGGREGATION**

Mentor: prof. dr. sc. Štefica Mrvelj

Student: Marko Čejvan

JMBAG: 0135233110

Zagreb, rujan 2020.

Zahvala

Zahvaljujem se svojoj mentorici prof. dr. sc. Štefici Mrvelj na iskazanom povjerenju i stručnom usmjerenju prilikom izrade ovog diplomskog rada. Posebnu zahvalnost iskazujem svojoj obitelji koja je uvijek bila uz mene, bez obzira da li se radilo o teškim ili sretnim trenucima i bez koje sve ovo što sam postigao ne bi bilo moguće.

SAŽETAK

Ovaj diplomski rad prikazuje vrednovanje mrežnih performansi za različite razine združivanja. Zbog brzog razvoja mobilne tehnologije i potrošačkih navika korisnika, iskustvena kvaliteta korisnika se mijenja s vremenom. U tu svrhu korištena je razvijena hibridna metoda vrednovanja mrežnih performansi na svim razinama agregacije. Prikazane su najbolje prakse za usporedbu mobilnih mreža. Cilj usporednog ispitivanja je odrediti najboljeg pružatelja usluga ili operatora za određeno područje s obzirom na usluge kojima se pristupa mobilnim telefonom. Provedeno je rangiranje za klase usluga telefoniju, video, prijenos podataka i interaktivne aplikacije poput internetskog pretraživanja, društvenih mreža i dopisivanja. Rezultati prikupljeni na raznim geografskim područjima su pojedinačno i zbirno ponderirano zbrojeni u ukupni rezultat.

KLJUČNE RIJEČI: kvaliteta usluge; iskustvena kvaliteta usluge; 5G; vrednovanje mrežnih performansi, ključni indikatori performansi

ABSTRACT

This paper presents an network performance scoring for different levels of aggregation. Due to the rapid development of mobile technology and consumer habits, the quality of experience changes over time. For this purpose, a developed hybrid method of network performance scoring at all levels of aggregation was used. Best practices for comparing mobile networks are presented. The goal of the benchmarking is to determine the best provider or operator for a designated area with respect of the services accessed with a mobile phone. The tests conducted are telephony, video streaming, data throughput and more interactive applications such as browsing, social media and messaging. The results collected in different geographical areas are individually and collectively weighted in the overall result.

KEYWORDS: QoE; QoS; quality of experience; quality of service; network performance score; key performance indicator

SADRŽAJ

1. UVOD	1
2. Zahtjevi novih i evoluirajućih aplikacija i mogućnosti 5G mreže	3
2.1 Pametni gradovi	3
2.2 e-Zdravlje	5
2.3 Industrija 4.0	6
2.4 Autonomna vozila.....	8
2.5 Mogućnosti 5G mreže	10
3. Kvaliteta usluge (QoS) i iskustvena kvaliteta usluge (QoE)	14
3.1 Kvaliteta usluge (QoS)	14
3.1.1 Propusnost	14
3.1.2 Kašnjenje.....	15
3.1.3 Varijacije kašnjenja.....	15
3.1.4 Gubici	15
3.2 Mehanizmi za upravljanje kvalitetom usluge	16
3.2.1 Mehanizmi kontrolne ravnine.....	17
3.2.2 Mehanizmi upravljačke ravnine	18
3.2.3 Mehanizmi podatkovne ravnine	18
3.3 Iskustvena kvaliteta usluge (QoE).....	22
3.4 Vrednovanje iskustvene kvalitete usluge	23
4. Statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja	24
4.1 Bootstrap metoda uzorkovanja	25
4.2 Obrada prikupljenih podataka	25
4.3 Agregacijski slojevi.....	26
4.4 Područja mjerenja	28
4.4.1 Gradovi.....	29

4.4.2 Ceste	30
4.4.3 Posebna područja.....	30
4.5 Metrike i ponderiranje.....	30
5. Primjena statističkog ocjenjivanja i rangiranja sveukupnih mrežnih performansi za usluge i mreže.....	32
5.1 Razina klase usluga	32
5.1.1 Telefonija	33
5.1.2 Podatkovni promet.....	34
5.1.3 Video	35
5.1.4 Prijenos podataka.....	36
5.1.5 Aplikacije	37
5.2 Razina određenog geografskog područja	38
5.2.1 Gradovi.....	38
5.2.2 Ceste	38
5.2.3 Posebna područja.....	39
5.3 Primjer vrednovanja mrežnih performansi.....	39
5.4 Rangiranje mrežnih performansi dvije različite mobilne mreže	41
6. ZAKLJUČAK.....	44
POPIS KRATICA	45
POPIS LITERATURE	47
POPIS SLIKA	49
POPIS TABLICA.....	50

1. UVOD

Evolucija telekomunikacijskog tržišta dovela je do okuženja u kojem je došlo do zasićenja govora kao glavne usluge i rapidnog rasta prijenosa podataka, što je nametnulo potrebu za reorganizacijama poslovnih planova te prilagodbi novom tržištu. Ususret dolasku pete generacije mobilnih mreža počeli su se sve više koristiti novi pojmovi kao što su iskustvena kvaliteta usluge (QoE) kako bi se bolje prikazala percepcija krajnjih korisnika o kvaliteti pružene usluge. QoE je vrlo privlačna alternativa za ocjenjivanje kvalitete usluge (QoS) jer može uključivati mehanizme i procese za odlučivanje u mreži koji su orijentirani korisničkom zadovoljstvu. Uz to, operatori mobilne mreže i pružatelji OTT (eng. Over The Top) usluga mogu steći jasan uvid u dojam svojih korisnika u vezi s ponuđenim uslugama. Slijedom navedenog u ovom radu su prikazane metode za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja na različitim razinama agregacije. Rad je podijeljen u šest poglavlja:

1. Uvod
2. Zahtjevi novih i evoluirajućih aplikacija i zahtjevi 5G mreže
3. Kvaliteta usluge (QoS) i iskustvena kvaliteta usluge (QoE)
4. Statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja
5. Primjena statističkog ocjenjivanja i rangiranja sveukupnih mrežnih performansi za usluge i mreže
6. Zaključak

U drugom poglavlju opisani su zahtjevi novih i evoluirajućih aplikacija kao što su pametni gradovi, e-zdravlje, industrija 4.0 i autonomna vozila. Nakon toga dat je detaljan prikaz mogućnosti pete generacije mobilnih mreža.

Treće poglavlje daje detaljan uvid u pojmove kvalitete usluge i iskustvene kvalitete usluge. Objasnjeni su parametri kvalitete usluge kao i mehanizmi za upravljanje kvalitetom usluge. Također su objašnjene neke od metoda za vrednovanje iskustvene kvalitete usluge.

Četvrto poglavlje donosi statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja. Detaljno je prikazana je metodologija koja je u ovom radu korištena za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi.

Peto poglavlje prikazuje preporučene ključne indikatore performansi za pojedinu klasu usluga, definira pondere za svaki ključni indikator, za svaku klasu usluga i za svako geografsko područje. Također prikazuje vrednovanje mrežnih performansi za dvije mobilne mreže koje su potom rangirane po klasama usluga.

2. Zahtjevi novih i evoluirajućih aplikacija i mogućnosti 5G mreže

Promjena načina života dovodi do sve većih zahtjeva za kapacitetom i kvalitetom mobilnih komunikacijskih sustava. Primjetan je veliki porast upotrebe i mobilnosti servisa kao što su e-bankarstvo, e-učenje, e-zdravstvo, zabava te inovativne primjene u prometu i industriji što posljedično dovodi do velikog povećanja količine prenesenih podataka. Očekivanja od 5G tehnologije su velika, najprije da zadovolji sve tehnološke zahtjeve koji se postavljaju pred komunikacijske sustave kako bi podržala koegzistenciju komunikacije ljudi, a potom ljudi i strojeva kao i M2M (eng. *Machine-to-Machine*) komunikaciju. U prethodnim godinama mobilni Internet kao nositelj glavnih usluga telekom operatora i pružatelja OTT (eng. *Over-The-Top*) usluga snažno je potaknuo razvoj raznih grana informacijsko-komunikacijskih usluga. Važno je istaknuti kako 5G mreža kao mreža nove generacije razvijena ponajprije radi industrije kako bi se omogućio adekvatan tehnološki napredak u smislu industrije četvrte generacije. Najočekivanije aplikacije odnosno primjene 5G mobilne mreže bit će detaljno obrađene u daljnjim potpoglavljima kao i mogućnosti 5G mreže.

2.1 Pametni gradovi

Ne postoji standardizirana i prihvaćena definicija pametnog grada stoga se pametni grad smatra kao inovativan grad koji za unaprijeđenje života svojih građana koristi inovativne tehnologije. Gradovi se smatraju motorom ekonomskog rasta. Uslijed masovne migracije ljudi u gradove iz ruralnih područja dolaze zbog dostupnosti posla, adekvatne zdravstvene njege i boljeg obrazovanja. Takav trend u posljednje vrijeme pridonosi stvaranju velikog broja stanovnika u gradovima te se stvara povećani pritisak na ranije navedene resurse. Gradovi moraju postati učinkovitiji, a iz tog razloga se moraju implementirati pametni mehanizmi upravljanja efikasnošću i potrošnje. Krajnji cilj mora biti poboljšanje kvalitete života građana [1].



Slika 1. Primjena IoT rješenja u pametnim gradovima, [2]

Usluge i aplikacije koje čine grad „pametnim“ mogu se klasificirati kao one koje su potrebne za poboljšanje gradske infrastrukture, socijalne i ekonomske situacije i one potrebne za bolje gradsko upravljanje. Na slici 1 prikazane su mnogobrojne primjene IoT-a (eng. Internet of Things) u pametnim gradovima. Upravljanje prometom s ciljem smanjenja prometnih nesreća i prometnih gužvi, nadzor kvalitete zraka kako bi se kvaliteta života poboljšala, pametna parking rješenja, pametna rasvjeta s ciljem smanjenja troškova i opterećenja sustava elektrodistribucije, pametno prikupljanje otpada te jedan od problema koji je sve učestaliji u velikim gradovima, a to je povećanje stope kriminala, socijalni i vjerski nemiri te povećani strah od terorističkih napada su karakteristični problemi koje pametni gradovi rješavaju svojom implementacijom. Navedeni problemi se mogu riješiti nadgledanjem grada, prepoznavanjem problematičnih mjesta te poduzimanje kako preventivnih tako i korektivnih mjera. Implementacijom video nadzora ulica, javnih mjesta poput putničkih stanica (autobusne/željezničke/taksi) i trgovačkih centara može drastično smanjiti kriminal.

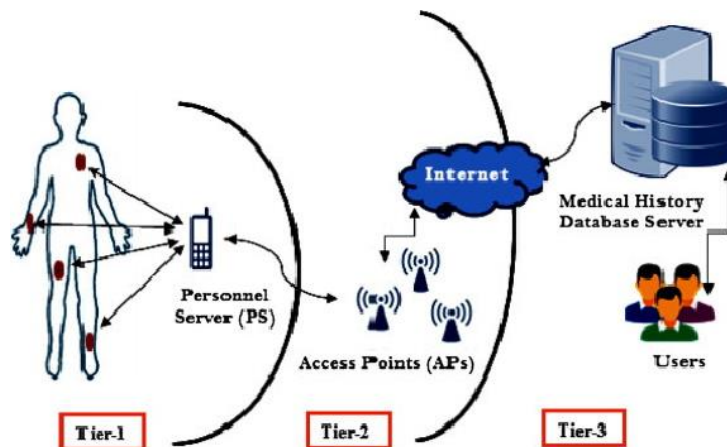
Informacijske i komunikacijske tehnologije su ključne za uspješnu implementaciju pametnih gradova. Takve tehnologije postaju integrator različitih usluga i aplikacija, dajući središnju upravljačku strukturu gradskoj upravi. Poboljšana mobilna širokopolasna mreža koja omogućava velike brzine prijenosa podataka mjerene u Gb/s, masivni IoT, koji podrazumijeva malu potrošnju energije, niske troškove i uporabu spektra niskih frekvencija za široku i unutarnju pokrivenost, informacijsko komunikacijski sustavi koji pružaju visoku pouzdanost, veliku dostupnost

i mala kašnjenja, manja od 1ms, su primarni zahtjevi koji su postavljeni pred informacijsko komunikacijsku infrastrukturu. S obzirom na veliko povećanje broja komunikacijskih uređaja u takvom gradu potrebno je biti svjestan generiranja enormne količine podataka koja mora biti prikupljena i obrađena na odgovarajući način, a 5G mreže kao mreže nove generacije, upravo to sve omogućuju [1].

2.2 e-Zdravlje

Peta generacija širokopojsnog pristupa Internetu putem mobilne komunikacijske mreže će imati značajan utjecaj na zdravstvenu njegu pacijenata. U osnovi, 5G se sastoji od skupa inovativnih aplikacija koje u različitim slučajevima uporabe međusobno komuniciraju i na taj način mogu poboljšati živote ljudi. Kao što je rečeno u prethodnom poglavlju radi se o integraciji velikog broja uređaja i aplikacija koji putem 5G tehnologije i njene infrastrukture nude velike benefite u svakodnevnom životu.

WBAN (eng. Wireless Body Area Network) je nova tehnologija koja se koristi za medicinske sustave. Uz 5G radilo bi se o okosnici za poboljšanje medicinskih sustava i zdravstvene njege. Osnovni koncept WBAN-a je nadziranje različitih bioloških mjernih parametara skupom senzora koji se nalaze u tijelu čovjeka ili na njemu. Senzori detektiraju vitalne parametre koji su neophodni za praćenje, na primjer, otkucaji srca, krvni tlak i tjelesna temperatura. Senzori kontinuirano šalju podatke bežičnim putem do prijamnika (npr. pametnog telefona), a prijamnik te obrađene podatke dostavlja na medicinski poslužitelj. Kontinuirano praćenje navedenih parametara može dosta pojednostaviti i ubrzati dijagnosticiranje velikog broja bolesti te naposljetku spasiti živote pacijenata [3].



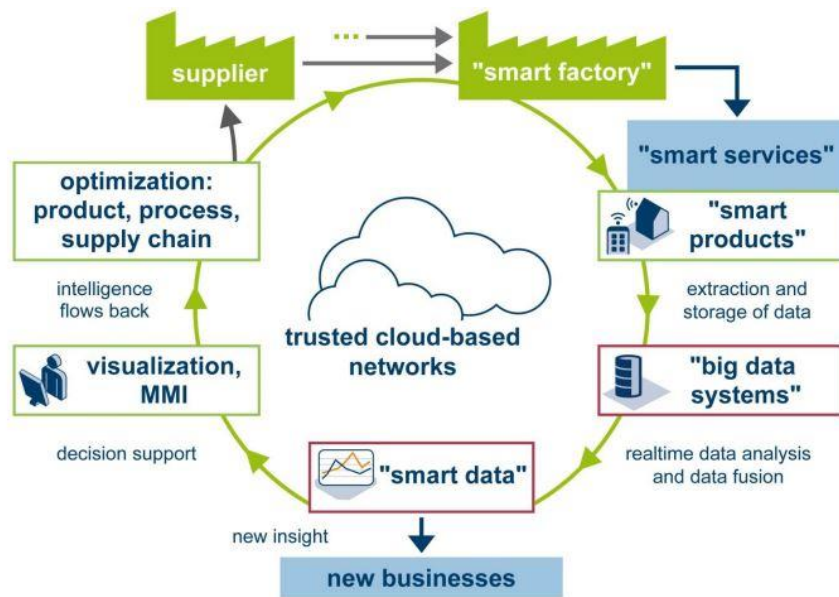
Slika 2. WBAN arhitektura, [3]

WBAN arhitekturu najčešće dijelimo u tri sloja, kako je prikazano na slici 2. Prvi sloj se sastoji od skupine nosivih ili implantiranih senzora koji služe za prikupljanje osnovnih tjelesnih parametara poput otkucaja srca, krvnog tlaka i tjelesne temperature. Uz navedene senzore, pametni telefon je dio prvog sloja iako ga se može svrstati i u drugi sloj. Pametni telefon je nazvan CN (eng. Coordinator), a CN je zapravo softver koji se nalazi na pametnom telefonu i služi za komunikaciju sa sensorima koristeći komunikacijske tehnologije kratkog dometa kao što su Bluetooth ili ZigBee. Osim sa sensorima, CN također komunicira s medicinskim poslužiteljem putem 5G mreže. Komunikacija s medicinskim poslužiteljem se odvija kako bi se prenijeli obrađeni podatci prikupljeni sa senzora koji se nalaze na tijelu pacijenta. Na drugom sloju se nalazi 5G mreža koja omogućava stvarno vremenu komunikaciju i prijenos obrađenih podataka. Treći sloj se sastoji od medicinskog poslužitelja na kojem se nalazi baza podataka svakog pacijenta sa svim prikupljenim i obrađenim podacima. Medicinskom poslužitelju pristupaju doktori i medicinski djelatnici koji analiziraju prikupljene podatke kako bi na najbolji mogući način mogli pružiti odgovarajuću zdravstvenu uslugu. Također medicinski poslužitelj je odgovoran za provjeru autentičnosti pacijenta i njemu pripadajućeg medicinskog djelatnika. Ako dođe do abnormalnih parametara prikupljenih sa senzora, sustav obavještava medicinske djelatnike putem sučelja preko kojeg pristupaju medicinskom poslužitelju [3].

2.3 Industrija 4.0

Industrija 4.0 je naziv trenutnog trenda automatizacije proizvodnje i industrijskih procesa korištenjem IoT, računarstva u oblaku i kognitivnog računarstva. Kada se spomene termin Industrija 4.0 misli se na tzv. „pametnu“ tvornicu. „Pametne“ tvornice

imaju potpuno drugačiji pristup proizvodnji od klasičnih proizvodnih sustava, kao što je i prikazano slikom 3. Unutar modularno strukturiranih „pametnih“ tvornica, strojevi u proizvodnji su nove generacije i povezani su međusobno jedni s drugima putem pouzdanih i brzih mreža, dok su proizvođači povezani s globalnim distributerima, kupcima i poslovnim partnerima. Cilj Industrije 4.0 je ubrzati proces proizvodnje i opskrbe distributera s proizvodima [4].



Slika 3. Koncept pametne tvornice, [5]

Glavna komponenta „pametnih“ tvornica su CPS-ovi (eng. Cyber-Physical System). CPS-ovi su integracija računala, umrežavanja i fizičkih procesa čija je glavna svrha kontroliranje fizičkih procesa i povratnim informacijama prilagoditi se novim uvjetima u stvarnom vremenu. U proizvodnom okruženju ti se proizvodni sustavi sastoje od „pametnih“ strojeva, skladišnih sustava i proizvodnih pogona koji su sposobni za autonomnu razmjenu informacija, pokretanje određenih radnji i neovisnu kontrolu. Transformiraju način na koji ljudi komuniciraju s inženjerskim sustavima, baš kao što je Internet transformirao način na koji ljudi komuniciraju jedni s drugima. U ovakvom scenariju „pametnih“ tvornica ljudi ostaju ključni kao najfleksibilniji i najinteligentniji „entitet“ u CPS-u, ljudi preuzimaju ulogu svojevrsne instance kontrole najviše razine, nadzirući rad automatiziranih i samoorganizirajućih procesa. Bežična širokopojasna pouzdana mreža je temelj za rad CPS-a u „pametnim“ tvornicama. Učinkovitost komunikacije u smislu kašnjenja, širine pojasa i pouzdanosti uvelike utječe na dinamičke interakcije između podsustava. Za bežičnu mrežu čimbenici kao

što su lokacija uređaja, uvjeti širenja i prometno opterećenje s vremenom se mijenjaju. To znači da komunikacijska mreža također mora biti integrirana kao jedan od modela u cjelokupnom CPPS-u (eng. Cyber-Physical Production System) [6].

Vrijeme potrebno za obavljanje kontrolnog zadatka može biti presudno za omogućavanje ispravnog funkcioniranja sustava. Fizički procesi su kompozicije mnogih stvari koje se događaju paralelno. Računarstvo u oblaku je jedan od najbitnijih dijelova Industrije 4.0 odnosno „pametnih“ tvornica koji uključuje povezivanje i usmjeravanje tokova prikupljenih senzorskih podataka, upravljanje uređajima, pohranu podataka te samu integraciju svih CPS uređaja. Takozvano upravljanje u „oblaku“ integrirano sa senzorskom mrežom omogućuje proizvodno okruženje koje će se samo konfigurirati, samo podešavati i samo optimizirati, što će dovesti do veće fleksibilnosti i ekonomičnosti [4].

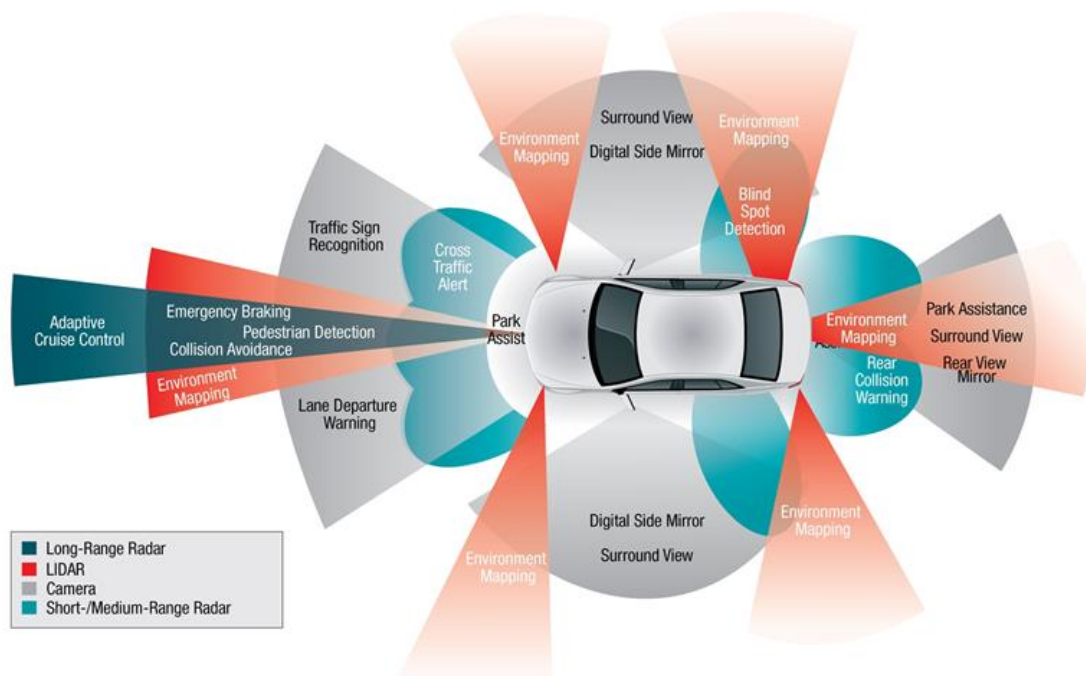
„Pametna“ proizvodnja omogućuje voditeljima tvornica automatsko prikupljanje i analiziranje podataka za bolju optimizaciju same proizvodnje. Podaci koji su prikupljeni govore „Što činiti?“ i „Kada to učiniti?“. Odgovori na takva pitanja su veliki argument za rekonstruiranje trenutnog stanja proizvodnje u „pametnu“ proizvodnju. Takav način proizvodnje utjecat će na svaki funkcionalni aspekt proizvodnog lanaca, od dizajna, proizvodnje, preko lanaca opskrbe, pa sve do usluga i podrške kupcima [4].

2.4 Autonomna vozila

Automobilska revolucija pronalazi svoj put u autonomnim vozilima. Bez ljudske intervencije, autonomna vozila imaju veliki potencijal za smanjiti veliki broj prometnih nesreća izazvanih ljudskom pogreškom. Štoviše, sve većem broju vozača se sviđa ideja da bi mogli prestati raditi dosadne zadatke poput skretanja i ostalih zadataka prilikom vožnje i uživati u svojim putovanjima. Kako bi udovoljili zahtjevima tržišta, proizvođači automobila su prisiljeni na implementaciju novih tehnologija i promjenu filozofije u proizvodnji. Nekoliko popularnih poluautonomnih tehnologija se u zadnjih par godina intenzivno primjenjuje u automobilima i na taj način povećavaju sigurnost vozača i ostalih sudionika u prometu. Najpopularnija poluautonomna tehnologija je ACC (eng. Adaptive Cruise Control) odnosno adaptivni tempomat koji funkcionira pomoću radarskog sustava montiranog na vozilu sprijeda koji detektira ima li sporijih vozila na putanji vozila opremljenog adaptivnim tempomatom te prilagođava brzinu tim

uvjetima. Još neke slične tehnologije su automatsko kočenje s prepoznavanjem pješaka i sustav za upozorenje prilikom nesvjesnog prelaska u susjednu traku [7].

Tehnologija autonomnih vozila je tipična konvergencija interneta stvari i računarstva u oblaku. Gledajući s makro aspekta navigacija se oslanja na GPS (eng. Global Positioning System), podatke o uvjetima na cesti i uslugu karata, a to sve im omogućava računarstvo u oblaku. Gledajući s mikro aspekta, autonomna vozila određuju svoj način kretanja u stvarnom vremenu ovisno o dinamičkoj okolini. Fuzija velikog broja senzora omogućuje vozilu da bude autonomno, kao što je prikazano na slici 4.



Slika 4. Senzori autonomnog vozila, [8]

LiDAR (eng. Light Detection and Ranging) je uređaj koji skenira više od 70 m prostora u svim smjerovima, generirajući preciznu trodimenzionalnu kartu okolice vozila i radi toga je to najvažniji uređaj autonomnih vozila. Ipak, postoji nekoliko nedostataka LiDAR-a, od kojih je prva cijena, upotreba visokokvalitetnih LiDAR senzora za autonomna vozila još uvijek je skupo rješenje. Nadalje LiDAR senzori su ograničenog dometa i ne mogu vidjeti kroz ili oko prepreka. Stvaranje živog i preciznog digitalnog prikaza okoliša jedan je od glavnih pokretača autonomne vožnje. Da bi se proširio digitalni horizont autonomnih vozila, ograničenja kamera i ugrađenih senzora, vidljivih na slici 4, mogu se prevladati povezivanjem autonomnih vozila jednih s drugima pomoću mobilnih mreža. Kada se kombiniraju podaci u stvarnom vremenu s

okolnih vozila, cestovne infrastrukture, pametnih telefona i senzora, rezultat je ažurirana, dinamična 3D karta [7].

Distribuirano računanje je jedna od važnih komponenti za uspjeh autonomnih vozila. Dijeljene opterećenja podataka po komponentama i vozilima će optimizirati komunikaciju među vozilima i učiniti sustav skalabilnijim. Dugoročno će čak biti moguće prebaciti dio obrade unutar vozila na učinkovitiju i modificiraniju udaljenu platformu poput oblaka. Da bi postupno poboljšali performanse povezanih vozila, proizvođači automobila moći će pratiti kako se njihova vozila ponašaju u stvarnom prometnom okruženju, primijeniti strojno učenje i kontinuirano implementirati ažuriranja softvera kako bi se izvršile potrebne izmjene [7].

Danas postoje neke velike povezane usluge automobila dostupne preko LTE mreže, poput telematike, sustava multimedije i funkcija udaljenog upravljanja za pokretanje automobila ili otključavanje vrata. No, autonomnim vozilima bit će potrebna podatkovna komunikacija gotovo u stvarnom vremenu koju samo 5G mobilne mreže mogu pružiti. Očekuje se da će volumen prijenosa podataka eksponencijalno rasti u narednim godinama, a čineći ove ogromne prijenose podataka pristupačnijima zahtijevat će 5G mrežne optimizacije. Za telekom operatore proces nadogradnje svoje jezgrene mreže na 5G biti će veliki iskorak. Jedan od načina na koji će se mreže razvijati je upotreba NFV-a (eng. Network Functions Virtualization), koja fizičke mrežne funkcije zamjenjuje SDN-om (eng. Software Defined Networking). NFV omogućava distribuciju mrežnih funkcija, fokusirajući računalnu snagu tamo gdje je najpotrebnije [9].

NFV će omogućiti mrežne odsječke (eng. Network slicing), što omogućava stvaranje više logičkih mreža na osnovi zajedničke infrastrukture. To znači da se za određenu funkciju može stvoriti namjenski i siguran „odsječak“ 5G mreže. Dodjela prijenosnih resursa prema prioritetima biti će neophodno kako bi se osiguralo osobnim vozilima pristup kritičnim podacima koji su im potrebni za sigurno upravljanje [9].

2.5 Mogućnosti 5G mreže

5G kao mreža sljedeće generacije pružit će širok spektar novih poslovnih prilika od kojih neke do kraja još nisu koncipirane. Primjene 5G mreža su navedene u prethodnim potpoglavljima ovog poglavlja i sve te evoluirajuće aplikacije 5G mreže zahtijevaju povezanost, ali sa znatno drugačijim karakteristikama no što to može

ponuditi LTE mreža. Mogućnost pružanja prilagođene povezanosti koristit će mnogim industrijama širom svijeta, omogućavajući im da brzo ponude nove proizvode i usluge krajnjim korisnicima i da se bez problema prilagođavaju brzo promjenjivim zahtjevima tržišta bez ikakvih poteškoća. Odgovor na sve postavljene zahtjeve pruža 5G mreža svojom fleksibilnošću.

Tehnologije poput SDN-a i virtualizacije omogućuju drastične promjene u mrežnoj arhitekturi, omogućujući da se tradicionalne strukture razgrade na prilagodljive elemente koji se mogu programski ujediniti kako bi se osigurala odgovarajuća razina povezanosti, pri čemu svaki element radi na posebnoj arhitekturi. To je koncept mrežnih odsječaka koji će omogućiti izgradnju jezgrenih mreža na način koji maksimizira fleksibilnost [10].

S milijardama povezanih uređaja i velikim brojem načina primjene, poslovni potencijal pružatelja usluga brzo se širi. 5G mreže pružit će ključ za iskorištavanje ovog potencijala, osiguravajući da prilagođena komunikacija bude isporučena bilo kojoj industriji. Mogućnost isporuke širokog spektra mrežnih karakteristika koje će buduće usluge zahtijevati jedan je od glavnih tehničkih izazova s kojima se pružatelji usluga danas suočavaju. Zahtjevi za performanse postavljeni na mrežu zahtijevat će povezivanje u pogledu brzine prijenosa podataka, kašnjenja, kvalitete usluge, sigurnosti, dostupnosti i mnogih drugih parametara, a svi oni će se razlikovati od usluge do usluge [10].

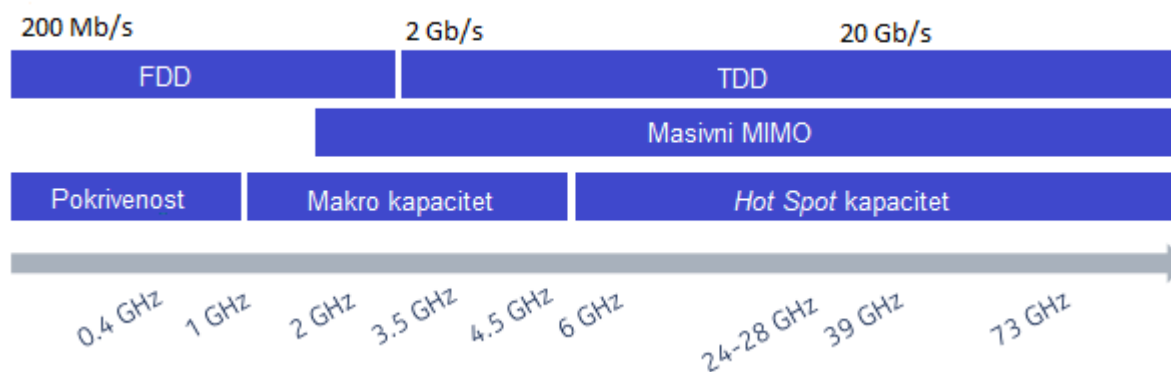
Uspoređujući petu generaciju mreža sa svojim prethodnicima, naročito LTE-om (eng. Long Term Evolution), ona omogućava i do sto puta veće brzine prijenosa podataka, kašnjenje manje od 1ms, veliku pouzdanost, povezivanje preko sto puta više uređaja na mrežu, 100% pokrivenost i smanjenu potrošnju energije, kako je prikazano tablicom 1.

Tablica 1. Evolucija mobilnih komunikacijskih tehnologija

	3G	4G	5G
Implementacija	2004-05	2006-10	2020
Širina pojasa (brzina)	2 Mb/s	200 Mb/s	>1 Gb/s
Latencija	100-500 ms	20-30 ms	<10 ms
Prosječna brzina	144 Kb/s	25 Mb/s	200-400 Mb/s

Izvor: [11]

U Europi 4G standard se koristi u frekvencijskim pojasevima 800 MHz, 900 MHz, 1800 MHz, 2100 MHz i 2600 MHz. Kako bi se pokrila velika geografska područja i unutrašnjosti objekata, prigodnije je koristiti baznu stanicu koja koristi frekvencijski spektar u pojasu od 800 MHz nego u pojasu od 1800 MHz, jer je njena pokrivenost oko 2,5 puta veća. 5G je prva mobilna tehnologija dizajnirana na način da podržava spektar iz pojasa od 400 MHz do 90 GHz. Ovako širok pojas za izbor spektra je potreban da bi se mogao osigurati veliki protok podataka, veliki kapacitet, dobra pokrivenost i visoka pouzdanost.



Slika 5. Frekvencijski pojasevi 5G mreže

Izvor: [11]

Slikom 5 prikazana je raspodjela frekvencijskih pojaseva 5G mreže kao i glavne dupleksne tehnologije FDD (eng. Frequency Divison-Duplex) i TDD (eng. Time Divison-Duplex). Iz slike je vidljivo kako su niži frekvencijski pojasevi dobri da se osigura široka pokrivenost, s osiguranjem brzine prijenosa podataka od nekoliko Gb/s. Kako bi se omogućilo postizanje velikih brzina, većih od nekoliko desetaka Gb/s potrebno je koristiti takozvane milimetarske radiovalove. Milimetarski radiovalovi se prenose u opsegu od 30 – 300 GHz, a naziv milimetarski potječe od njihove valne

duljine koja varira između 1 – 10 mm. Kako se po svojoj prirodi ne mogu jednostavno kretati kroz zidove zgrada, 5G će za pokrivanje koristiti male ćelije [11].

Dupleksne tehnologije FDD i TDD se koriste kako bi se silazni i uzlazni kanal razdvojili u frekvenciji ili u vremenu. Kod frekvencijskog dupleksa koriste se različite frekvencije za komunikaciju na silaznom i uzlaznom kanalu. Između se postavlja zaštitni frekvencijski opseg. Kod vremenskog dupleksa kanali se razdvajaju u vremenu, a komunikacija se vrši na istoj frekvenciji. U opsegu ispod 3 GHz uglavnom se koristi FDD, jer je potrebno osigurati dobru pokrivenost, pa se shodno tome koriste velike ćelije. Na visokim frekvencijama u milimetarskom području koristi se TDD, odnosno koriste se manje ćelije [12].

3. Kvaliteta usluge (QoS) i iskustvena kvaliteta usluge (QoE)

Prijenos govora i SMS su bile primarne usluge koje su telekom operatorima donosile najveći profit. OTT (eng. Over The Top) rješenja nude istu ili bolju uslugu krajnjim korisnicima i radi takvih trendova na telekomunikacijskom tržištu došlo je do povećanih zahtjeva za prijenosom podataka. Razvoj tehnologije te konstantan porast broja pametnih mobilnih uređaja stvara veliki pritisak na profit operatora i nameće potrebu za definiranjem novih poslovnih modela i strategija razvoja u takvom okruženju. Ovako drastično povećanje korištenja multimedijalnih usluga zahtijeva implementaciju određenih mehanizama kontrole prometa kako bi se korisnicima osigurala potrebna razina kvalitete. S porastom dostupnosti sadržaja svjesnost kvalitete usluge kod korisnika je sve veća i upravo radi te činjenice je kolaboracija telekom operatora i OTT davatelja usluga nužna s ciljem zadržavanja korisnika i stjecanja novih korisnika [13].

3.1 Kvaliteta usluge (QoS)

Najviše upotrebljavan pojam u današnjim telekomunikacijama zasigurno je QoS (eng. Quality of Service) odnosno kvaliteta usluge. Razlog tome treba tražiti prvenstveno u razvoju tehnologije kao i globalizaciji telekomunikacijskog tržišta. Ne postoji jedinstvena definicija kvalitete usluge. Međutim, najčešće citirana definicija za QoS je ona koju je ponudio ITU (eng. International Telecommunication Union) u preporuci E.800 i glasi „ukupan efekt performansi određene usluge koji određuje zadovoljstvo krajnjeg korisnika“ [14]. Usluga u kontekstu IP mreža može se definirati kao opis cjelokupnog postupanja s prometom korisnika u određenoj domeni. Usluga je samo korisna onda kada ispunjava zahtjeve aplikacija krajnjeg korisnika. S druge strane kvaliteta se definira kroz zadovoljavanje parametara koji su definirani SLA ugovorom (eng. Service Level Agreement).

Svaka usluga ima različite zahtjeve za mrežnim resursima. Isto tako svaka usluga ima različite iznose QoS parametara koji predstavljaju tehničku interpretaciju korisničkih zahtjeva za kvalitetom usluge.

3.1.1 Propusnost

Parametar koji izražava efektivnu brzinu prijenosa podataka prikazanu brojem prenesenih bita u sekundi. Izmjerena brzina se odnosi na brzinu između dva kraja mreže (eng. end-to-end). Mjerenje propusnosti se odvija iz različitih razloga, uključujući

određivanje uskih grla u mreži, provjeru ugovora o razini usluge (eng. SLA) ili određivanje mrežne učinkovitosti. Telekom operatori u svojim mrežama koriste alate koji im omogućavaju stalni nadzor mreže kako bi pratili propusnost mreže jer je danas to postao itekako važan parametar po krajnjem korisniku. Ukoliko je propusnost nedovoljna parametar kašnjenja u prijenosu će se povećati što krajnjem korisniku može stvoriti negativna iskustva u korištenju pojedinih usluga.

3.1.2 Kašnjenje

Kašnjenje u prijenosu (eng. latency) je parametar QoS-a koji se definira kao vrijeme između korisničke akcije i odgovora web stranice ili aplikacije na tu radnju, primjerice, vrijeme između korisnikovog klika na vezu web stranice i trenutak kada web preglednik prikaže tu stranicu. Jedan od glavnih uzroka kašnjenja u mreži je udaljenost između korisnikovih uređaja koji podnose zahtjeve i poslužitelja koji odgovara na te zahtjeve. Kašnjenje se najčešće izražava u mjernoj jedinici milisekunda (ms) i danas se govori o veličini od nekoliko desetaka milisekundi. S dolaskom i implementacijom mreža pete generacije očekuje se kašnjenje u ispod 10 ms.

3.1.3 Varijacije kašnjenja

Paketi koji se kontinuirano šalju mrežom imaju različita kašnjenja, čak i ako se usmjeravaju po istom putu. To je svojstveno mrežama s paketnom komunikacijom iz dva razloga. Paketi se preusmjeravaju pojedinačno, a drugo, mrežni uređaji primaju pakete u red, pa se ne može zajamčiti stalni tempo dolazaka paketa na odredište. Takva nedosljednost kašnjenja između svakog paketa poznata je kao varijacija kašnjenja ili kolebanje kašnjenja (eng. jitter). Naročito vidljiv parametar prilikom korištenja usluga kao što su IP telefonija i video konferencije. Većina korisnika je iskusila kolebanje kašnjenja prilikom korištenja jedne od aplikacija za VoIP (eng. Voice over IP), kao što je Skype. U praksi kolebanje kašnjenja se očituje tako da riječi i rečenice postanu zbrkane ili potpuno nestanu što dovodi do značajnog pada kvalitete usluge.

3.1.4 Gubici

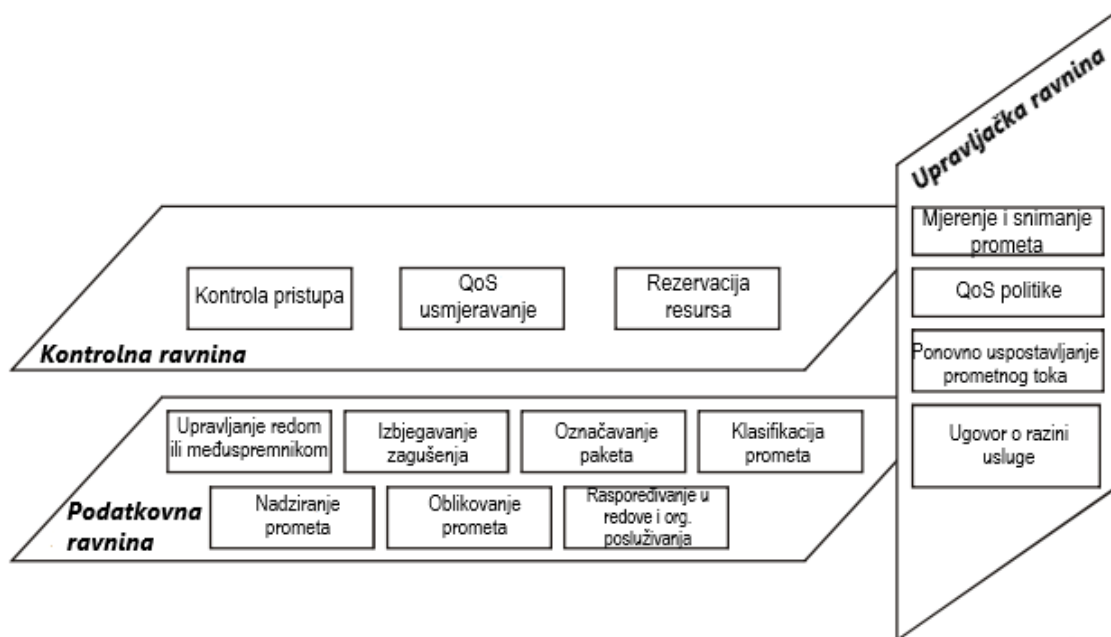
Prilikom pristupanja Internetu ili bilo kojoj mreži događa se transmisija paketa. Kada jedan ili više paketa ne uspije doći na svoje odredište, to se naziva gubitkom paketa. Za korisnike se gubitak paketa očituje u obliku poremećaja usluge koju koristi, a najosjetljivije usluge su one koje se oslanjaju na obradu paketa u stvarnom vremenu,

kao što su interaktivne igre. Zagušenje mreže nastaje kada mrežni kanali postanu prenatrpani paketima i količina prometa dosegne maksimalan kapacitet. U takvom slučaju, paketi moraju čekati svoj red kako bi bili isporučeni, ali ukoliko mreža nije sposobna pohraniti više paketa dolazi do odbacivanja istih prilikom čega nastaje problem prilikom korištenja same usluge od strane krajnjeg korisnika.

3.2 Mehanizmi za upravljanje kvalitetom usluge

Za osiguranje kvalitete usluge potrebno je dobro razumijevanje karakteristika prometa u cilju definiranja i implementacije QoS zahtjeva. Kako je prikazano slikom 7 mehanizmi kvalitete usluge se mogu podijeliti u tri ravnine:

- mehanizmi kontrolne ravnine
- mehanizmi upravljačke ravnine
- mehanizmi podatkovne ravnine.



Slika 6. Arhitektura QoS-a

Izvor: [15]

Arhitektura prikazana na slici 6 predložena je preporukom ITU-T Y.1291 [15]. Njome su definirane generički mrežni mehanizmi koji kontroliraju odgovor mreže na zahtjeve za uslugom.

3.2.1 Mehanizmi kontrolne ravnine

Mehanizmi kontrole ravnine se bave putevima kroz koje korisnički promet putuje. Ti mehanizmi uključuju kontrolu pristupa (eng. admission control), QoS usmjeravanje (eng. QoS routing) i rezervaciju resursa (eng. resource reservation). Mehanizmi kontrolne ravnine su uobičajeno implementirani kao softverska rješenja.

Kontrola pristupa kontrolira promet koji dolazi u mrežu. Hoće li taj promet biti pušten u mrežu najviše ovisi od ugovora o razini usluge, a može ovisiti i o dostupnosti mrežnih resursa kako pristigli promet ne bi ugrozio postojeće performanse mreže. Implementacija kontrole pristupa može biti parametarska ili zasnovana na mjerenju. Kod parametarske implementacije, kao kriterij se uzimaju slučajevi gdje su parametri kvalitete usluge najgori. Ovaj pristup se obično primjenjuje uz mehanizam rezervacije resursa kako bi se osiguralo dovoljno resursa za optimalan protok paketa.

QoS usmjeravanje se odnosi na mehanizam koji odabire optimalni put s uvjetom da su svi korisnički zahtjevi po pitanju kvalitete usluge zadovoljeni. S porastom mreže usmjeravanje postaje sve kompleksnije i skuplje. Optimalan način za korištenje mehanizma QoS usmjeravanja je uzimanje u obzir jednog parametra QoS-a (propusnost ili kašnjenje) ili korištenje dualne metrike (cijena-propusnost cijena-kašnjenje ili propusnost-kašnjenje). Proces odabira puta uključuje poznavanje QoS zahtjeva i karakteristika dostupnih mrežnih resursa. Ti podaci su najčešće distribuirani mrežom pomoću signalizacijskih protokola npr. RSVP (eng. Resource Reservation Protocol). Uspoređujući s klasičnim usmjeravanjem koje odabire put na temelju relativno konstante metrike (tj. broj skokova ili troškova), QoS usmjeravanje uključuje češće i složenije računanje puta i veći signalizacijski promet. QoS usmjeravanje samo određuje vjerojatnost da izabrani put zadovoljava zahtjeve za kvalitetom usluge, tj. on ne garantira da će QoS biti ostvaren. Takvu garanciju moguće je ostvariti samo uz zajednički rad mehanizama QoS usmjeravanja i mehanizama rezervacije resursa.

Rezervacija resursa je najvažniji mehanizam kontrolne ravnine jer je neophodan za garanciju određenog QoS-a. Upravo radi tog razloga ovaj mehanizam se najčešće implementira zajedno s mehanizmom kontrole pristupa kako bi se osigurao stvarni QoS [15].

3.2.2 Mehanizmi upravljačke ravnine

SLA odnosno ugovor o razini usluge obično predstavlja sporazum između korisnika i davatelja usluge koji specificira razinu dostupnosti, performansi i drugih parametara. Tehnički dio ugovora se naziva SLS (eng. Service Level Specification) koji određuje skup parametara i njihove vrijednosti koje definiraju uslugu koju davatelj usluge nudi.

Mjerenje i snimanje prometa odvija se pomoću alata koji vrše nadzor karakteristika prometa te uspoređuje dobivene rezultate s vrijednostima dogovorenim u ugovoru o razini usluge. Mjerenja prometa omogućavaju upravljanje prometom na osnovu dobivenih rezultata.

Ponovno uspostavljanje prometnog toka u mreži je definirano kao ponašanje mreže u uvjetima potpunog prestanka rada. Tipični parametri za mjerenje ponovnog uspostavljanja prometnog toka su vrijeme potrebno za ponovno uspostavljanje i postotak ponovno uspostavljenih prometnih tokova. Potrebno je razlikovati dvije vrste prestanka rada mreže:

- kvar mrežnog čvora – radi se o kvaru aktivnog elementa mreže (npr. usmjerivača)
- kvar voda – radi se o kvaru voda koji povezuje dva mrežna čvora (npr. presjek optičke niti).

QoS politike predstavljaju skup pravila za administriranje, upravljanje i kontrolu pristupa mrežnim resursima. Davatelji usluga implementiraju QoS politike u mehanizme kontrolne ravnine i upravljačke ravnine. Primjene QoS politika su filtriranje paketa ovisno o klasama, usmjeravanje paketa prema destinaciji bez tablica usmjeravanja ili sigurnosno orijentirane politike [15].

3.2.3 Mehanizmi podatkovne ravnine

Upravljanje redom ili međuspremikom čine mehanizmi koji odlučuju koji će paketi biti stavljeni na čekanje i odlučuju o odbacivanju paketa. Cilj upravljanja redovima je minimizirati veličinu reda čekanja dok se ne oslobodi zauzeti resurs. Mehanizmi za upravljanje redovima se uglavnom razlikuju po kriteriju za odbacivanje paketa. Korištenje višestrukih redova čekanja donosi dodatne varijacije u mehanizme, primjerice, način na koji se paketi raspoređuju u samim redovima. Paketi se najčešće

odbacuju kada se dostigne maksimalna veličina reda čekanja. Postoji nekoliko metoda odbacivanja i svaka ima svoju politiku po kojoj se odbacuju paketi:

- „Tail drop“ – odbacuje novopristigle pakete inajčešće je korištena metoda
- „Front drop“ – zadržava novopristigle pakete, a odbacuje pakete koji najduže čekaju
- „Random drop“ – zadržava novopristigle pakete, a odbacuje pakete izabrane slučajnim odabirom, stoga može biti skupa jer zahtijeva kretanje kroz red.

Uz navedene metode još postoje one koje koriste dinamičnije kriterije i ne baziraju se na punom redu čekanja, te radi toga omogućavaju aktivno upravljanje redovima. Poznata je metoda RED (eng. Random Early Detection), koja pomaže da se otkrije ako je red čekanja pun i da se izbjegnu zagušenja. RED odbacuje dolazeće pakete probabilistički na bazi procijenjene srednje veličine reda. Vjerojatnost odbacivanja se povećava proporcionalno povećaju procijenjene srednje veličine reda. Drugim riječima, ako je u bliskoj prošlosti red čekanja uglavnom bio prazan, novopristigli paketi se neće odbacivati, ali ako je red bio uglavnom pun, novopristigli paketi će vjerojatno biti odbačeni. Točnije, RED posjeduje dva praga za srednju veličinu reda. Jedan specificira srednju veličinu reda ispod koje se paketi ne odbacuju, a drugi specificira srednju veličinu reda ispod koje se paketi odbacuju. Za veličinu reda između dva praga, vjerojatnost odbacivanja paketa je proporcionalna srednjoj veličini reda. Efektivnost RED-a ovisi o načinu postavljanja relevantnih parametara.

Izbjegavanje zagušenja je mehanizam koji je potrebit radi ograničenih resursa, odnosno kapaciteta kanala i brzine prijemnika. Zadatak ovog mehanizma je da brzinu slanja podataka prilagodi trenutno dostupnim resursima. Do zagušenja u mreži dolazi kada veličina prometa premaši ili se približi veličini prometa koju mreža može podnijeti zbog nedostatka resursa kao što je propusnost linka ili veličina spremnika prijemnika. Znak zagušenja može biti, primjerice kada je red ispred usmjernika uvijek pun i kada usmjernik počne s odbacivanjem paketa. Odbacivanje paketa izaziva retransmisiju, što rezultira većim brojem paketa i većim zagušenjem. Za izbjegavanje zagušenja se koriste složene metode, kako bi se opterećenje mreže zadržalo ispod njenog kapaciteta i kako bi mreža mogla raditi s prihvatljivom razinom performansi.

Tipična metoda izbjegavanja zagušenja temelji se na principu da pošiljalatelj smanji količinu poslanih podataka kada se pojavi indikacija da je došlo do zagušenja. Ako ne postoji eksplicitan znak, gubitak paketa ili istek vremena se normalno smatra implicitnom naznakom mrežnog zagušenja. Odgovor prometnog izvora ovisi o transportnom protokolu. U protokolu baziranom na prozoru kao što je TCP, smanjuje se veličina prozora. U idealnom slučaju, korisnik čiji prioritet nije ključan vrši redukciju prometa. To omogućava da promet s višim prioritetom normalno koristi resurse. Kada zagušenje smanji, pošiljalatelj postepeno povećava promet.

Raspoređivanje u redove i organiziranje posluživanja je skup mehanizama koji kontroliraju koji paketi se biraju za prijenos putem izlaznih linkova. Novo pristigli paketi se pohranjuju u redove čekanja, koji se obično sastoje od višestrukih redova i raspoređivača (eng. scheduler). Postoji nekoliko ključnih disciplina:

- FIFO (eng. First-in-first-out). Radi se o disciplini kod koje postoji samo jedan red čekanja u koji se smještaju paketi, a poslužuju se istim redosljedom kojim su pristigli.
- FQ (eng. Fair queuing). Radi se o disciplini kod koje se paketi klasificiraju u tokove i dodjeljuju se redu čekanja koji je pridružen odgovarajućem toku te nakon toga redovi se poslužuju *round robin* tehnikom.
- PQ (eng. Priority queuing). Radi se o disciplini kod koje se paketi prvo klasificiraju, a zatim se smještaju u redove s različitim prioritetom. Bira se prvo paket s početka promatranog reda. Samo ako su svi drugi redovi s većim prioritetom prazni te je važno napomenuti da se unutar svakog reda paketi raspoređuju prema FIFO disciplini.
- WFQ (eng. Weighted fair queuing). Radi se o disciplini gdje se paketi klasificiraju u tokove i dodjeljuju redu čekanja koji je zadužen za odgovarajući tok. Redu čekanja se dodjeljuje postotak izlazne propusnosti ovisno o propusnosti koja je potrebna za odgovarajući tok. Ova disciplina sprječava da se toku s većim paketima dodjeli veća propusnost nego toku s manjim paketima, jer se razmatraju dužine paketa.
- CBQ (eng. Class-based queuing). Radi se o disciplini gdje se paketi klasificiraju u različite klase usluga, a zatim se dodjeljuju odgovarajućem redu čekanja. Svakom redu se može dodijeliti različit postotak izlazne propusnosti, a poslužuju se *round robin* tehnikom. Prazni redovi se preskaču.

Označavanje paketa je mehanizam koji služi za označavanje paketa prema specifičnoj klasi usluge. Označavanje paketa podrazumijeva dodjeljivanje vrijednosti zaglavlju paketa i to obično radi krajnji čvor. Krajnji čvor je dužan provjeriti oznaku koju je postavio *host*, a može je i promijeniti ukoliko je to potrebno. U nekim slučajevima, mogu se koristiti specijalne vrijednosti kako bi se označili nekonzistentni paketi, koji se kasnije mogu odbaciti ovisno o zagušenju. Paketi se mogu promovirati ili degradirati ovisno o rezultatima mjerenja.

Klasifikacija prometa je mehanizam koji se može vršiti na razini toka ili na razini paketa. Entitet koji je zadužen za klasifikaciju prometa provjerava više polja paketa i određuje grupu kojoj pripada paket i odgovarajući sporazum o razini usluge.

Nadziranje prometa je mehanizam koji podrazumijeva određivanje prometa od čvora do čvora u skladu s unaprijed utvrđenim sporazumima. Nekonzistentni paketi se obično odbacuju. Pošiljalci se mogu obavijestiti o odbacivanju paketa, uzrocima odbacivanja i budućoj usklađenosti s provođenjem ugovora o razini usluge.

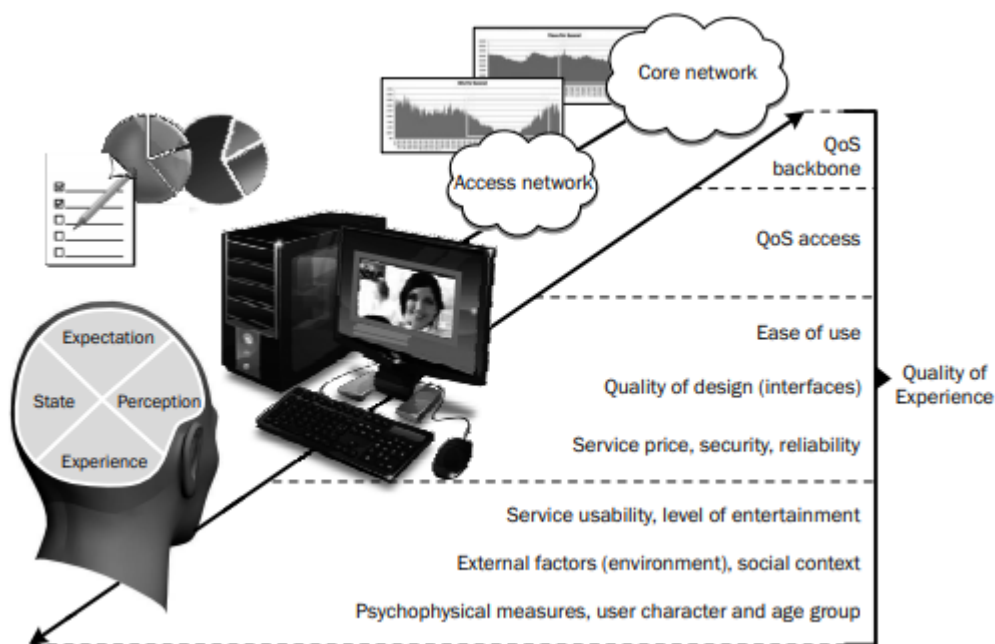
Oblikovanje prometa je mehanizam koji podrazumijeva kontrolu brzine i volumena prometa koji ulazi u mrežu. Entitet koji vrši oblikovanje prometa sprema nekonzistentne pakete u spremnik do određenog trenutka. Oblikovani promet stoga nije tako usnopljen kao originalni i stoga je predvidivije njegovo ponašanje. Ponekad je potrebno oblikovati promet između ulaznih i izlaznih čvorova. Postoje dvije ključne metode za oblikovanje prometa:

- „Leaky bucket“. Metoda koja regulira brzinu prometa koji izlazi iz čvora. Bez obzira na brzinu ulaznog toka u čvor, „leaky bucket“ osigurava konstantnu brzinu izlaznog toka. Ukoliko dođe do pojave prevelikog broja paketa koji opterećuju spremnik, oni se odbacuju. Postoje dva parametra koja su karakteristična za ovu metodu, a to su veličina spremnika i brzina prijenosa.
- „Token bucket“. Metoda koja dopušta paketima da izlaze iz čvora jednakom brzinom kojom i dolaze, pod uvjetom da postoji dovoljno tokena. Tokeni se generiraju određenom brzinom i smještaju u spremnik sve dok se on ne napuni. Određena količina prometa može na osnovu tokena napustiti čvor. Niti jedan paket se ne može prenijeti ukoliko u spremniku nema tokena. Kod ove metoda za razliku od „leaky bucket“ metode ne dolazi do odbacivanja paketa. Postoje

dva parametra koja su karakteristična za ovu metodu, a to su spremnik s tokenima i brzina generiranja tokena [15].

3.3 Iskustvena kvaliteta usluge (QoE)

Iskustvena kvaliteta usluge je koncept u multidisciplinarnom području koji nastoji ustanoviti i shvatiti korisničku percepciju kvalitete usluge kako bi se poboljšala usluga i povećalo korisnikovo zadovoljstvo uslugom. Davatelji usluga od samog početka telekomunikacija željeli su znati koja je razina kvalitete usluge koja se pruža korisnicima. To je zato što ta spoznaja može biti izuzetno korisna kada dolazi do upravljanja mrežom, optimiziranja njenog kapaciteta i operativnih troškova. Ti parametri kvalitete usluge su nepoznati za većinu korisnika. Jedina stvar koja korisnike zanima je zadovoljavajuća usluga za pristupačnu cijenu. Dok inženjeri davatelja usluga kvalitetu usluge ocjenjuju kroz parametre kvalitete usluge, korisnike zanima kako usluga funkcionira na razini aplikacije i oni ocjenjuju uslugu kvalitativnim subjektivnim parametrima poput razine zadovoljstva, uživanja, zabave, kvalitete, dizajna sučelja, upotrebljivosti usluge i drugih.



Slika 7. Opseg QoE evaluacije, [16]

Slika 7 implicira na puno širi kontekst koji se mora uzeti pri evaluaciji iskustvene kvalitete usluge. Postizanje željene razine kvalitete usluge nesumnjivo zahtijeva određenu razinu mrežnih performansi u pristupnoj i jezgrenoj mreži i te mrežne performanse predstavljene kroz parametre kvalitete usluge mogu biti izmjerene.

Međutim QoS parametri nisu više jedine mjere kvalitete usluge. Različite kognitivne i psihološke mjere također utječu na kvalitetu usluge, odnosno iskustvenu kvalitetu usluge, poput prethodnog korisničkog iskustva, njegovih očekivanja, unutarnjeg emotivnog stanja i ostalih parametara koji se moraju ispitati kroz subjektivne testove, najčešće putem anketa.

3.4 Vrednovanje iskustvene kvalitete usluge

Glavni cilj vrednovanja je podići iskustvenu kvalitetu usluge za svakog pojedinačnog korisnika, a pritom optimalno koristiti budžet i dostupne resurse. Rezultat ovakve strategije mogu biti visoke stope zadržavanja korisnika uz veliki broj preporuka te potencijalno povećanje upotrebe usluge. U načelu, vrednovanje iskustvene kvalitete usluge najčešće se provodi subjektivnim metodama s metričkim podacima, kao što je MOS (eng. Mean Opinion Score). Radi se o ljestvici kvantificiranja korisničkog iskustva, tablica 2. Međutim takva ljestvica nije najbolje rješenje za vrednovanje kvalitete usluge zato što korisnici u većini slučajeva imaju različite interpretacije ocjena, a nekad i dva korisnika isto ocijene različita iskustva.

Tablica 2. Prikaz MOS skale za određivanje kvalitete zvuka

Ocjena	Kvaliteta	Percepcija
5	odlično	neprimjetno
4	dobro	primjetno, ali ne iritantno
3	pošteno	malo iritantno
2	slabo	iritantno
1	loše	jako iritantno

Izvor: [16]

Kod objektivnih metoda vrednovanja iskustvene kvalitete usluge koriste se razni algoritmi i programi koji određuju istu. Cilj korištenja ovakvih metoda je spoznaja razloga radi kojih dolazi do lošije iskustvene kvalitete. Jedna od najpoznatijih objektivnih metoda za mjerenje kvalitete zvuka je PESQ (eng. Perceptual Evaluation of Speech Quality). Prema ITU-T P.862, PESQ je algoritam koji obuhvaća komunikaciju u jednom smjeru. Zasniva se na mjerenju učinka distorzije i buke na kvalitetu govora. PESQ je svjetski priznati standard te ga radi toga za ispitivanje kvalitete zvuka koriste proizvođači telefona i davatelji usluga koje se zasnivaju na VoIP komunikaciji [17].

4. Statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja

Preporučeni statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi ima za cilj ocjenjivanje i rangiranje krajnjih performansi mreže iz korisničke perspektive i pogodan je za korištenje kako za konkurentno tako i za interno vrednovanje. Okvir definira postupke za provjeru podataka i opće smjernice za rangiranje i bodovanje. Da bi rezultati usporednog vrednovanja bili točni i smisleni, potrebna je validacija podataka koji se koriste kao ulazni podaci za analizu. Validacija se uglavnom sastoji od čišćenja podataka, što znači da su uklonjeni bilo kakvi nepotpuni podaci. Preporučuje se da se nepotpuni podaci zamjene novo prikupljenim podacima. Ako 5% ili više podataka nije potpuno, preporučuje se novo mjerenje s ciljem prikupljanja novog skupa podataka za analizu. Svaka vrsta degradacije koju ne uzrokuje mreža, već testna oprema ili ispitni uređaji, treba biti smatrana nepotpunim podatkom.

Prije nego bude objašnjen statistički okvir za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja potrebno je definirati dvije vrste indikatora:

- KPI (eng. Key Performance Indicator)
- KQI (eng. Key Quality Indicator).

Forum za upravljanje telekomunikacijama (TM Forum) predložio je ključne indikatore performansi (KPI) i ključne indikatore kvalitete (KQI) za upravljanje kvalitetom usluge. KPI predstavlja parametre koji odražavaju kritične uspješne ili neuspješne čimbenike određenog resursa ili usluge. Često ih se naziva internim indikatorima jer su ovisni o implementiranoj tehnologiji u mreži. Najčešće se koriste za određivanje učinkovitosti mreže. Također se koriste za kao ključni parametri u ugovorima o razini usluge.

S druge strane KQI predstavlja vanjske parametre koji imaju dokazanu povezanost s zadovoljstvom korisnika poput MOS-a. KQI imaju stvarnu vezu s načinom na koji korisnici zapravo koriste mrežu, poput toga stvaraju li im telefonski pozivi ili podatkovne sesije probleme, koji modeli uređaja imaju veću vjerojatnost da će pružiti loše iskustvo. Broj i raznolikost uređaja povezanih IoT-om raste eksponencijalno, a KQI mogu pružiti puno značajnije mjerilo od KPI-a za procjenu daje li mreža svakom uređaju zadovoljavajuću kvalitetu usluge. Pojavom 5G tehnologije,

potrebe različitih vrsta korisnika, od kojih su mnogi uređaji, a ne ljudi, dolazi do istodobnog posluživanja korištenjem tzv. mrežnih odsječaka. Uspoređivanje s KPI-evima postat će složenije i još manje relevantno za veliki broj slučajeva uporabe [18].

Općenito, statistička razdioba vrijednosti bilo kojeg izmjerenog KPI ili KQI može biti aproksimirana Gaussovom distribucijom. Obično što je veći broj uzoraka to je veća točnost aproksimacije Gaussove distribucije. Preporučuje se provjera statističkih raspodjela svih vrijednosti KPI ili KQI. To se obično izvodi na dva načina. Jedna je mogućnost generiranje distribucijskih shema mjerenja za KPI ili KQI koje su analizirane te provjera njihove normalnosti. Druga mogućnost je upotreba testova ispravnosti za provjeru normalnosti kao što su Kolmogorov-Smirnov, Anderson-Darling ili Shapiro-Wilk. Pored toga, u rijetkim ili ekstremnim slučajevima distribucija koje nisu Gaussove, mogu se primijeniti neparametarska ispitivanja [19].

4.1 Bootstrap metoda uzorkovanja

Bootstrap metoda opisuje gustoću vjerojatnosti (f funkciju razdiobe) i povezana statistička svojstva (prosjeak, standardno odstupanje i intervale pouzdanosti) postignutog rezultata svake konkurentske mreže. To pomaže pri interpretaciji rezultata iz podataka prikupljenih mjerenjem.

Osnovna ideja je ponovljeno uzorkovanje nezavisnih događaja kako bi bilo moguće procijeniti navedene statističke parametre. Ova metoda je korisna u slučajevima kada se zaključak bazira na kompleksnim postupcima za koje su teoretski rezultati nedostupni ili neprimjenjivi zbog nedovoljno velikog uzorka. Metoda bootstrap koristi originalni skup podataka $D(0)$ s njegovih N podatkovnih točaka kako bi se generirao bilo koji broj skupova sintetičkih podataka [21].

4.2 Obrada prikupljenih podataka

Prema [20], obrada podataka trebala bi se temeljiti na statističkim pokazateljima koji odražavaju prosječne mrežne performanse (predstavljene srednjim vrijednostima, m) ili njihove dosljednosti (predstavljene pokazateljem P_{th} koji označava vjerojatnost da vrijednosti mrežnih performansi budu iznad prethodno definirane vrijednosti praga).

Standardna greška uz 95% razinu pouzdanosti za srednju vrijednost ili P_{th} je izračunata uz pretpostavku Gaussove distribucije izmjerenih KPI-a ili KQI-a. Stoga ovisno o vrsti KPI-a ili KQI-a, kontinuirani parametri poput radiofrekvencije (RF) ili MOS

rezultata ili diskretni parametri kao što je omjer uspješnosti i neuspjeha r , standardna greška na 95% razini pouzdanosti predstavljena je u [19] kao:

$$StdError(m) = \frac{Z_{95\%} \times std}{\sqrt{N}} = \frac{1,96 \times std}{\sqrt{N}} \quad (1)$$

$$StdError(r) = Z_{95\%} \times \sqrt{\left(\frac{r \times (1-r)}{N}\right)} = 1,96 \times \sqrt{\left(\frac{r \times (1-r)}{N}\right)} \quad (2)$$

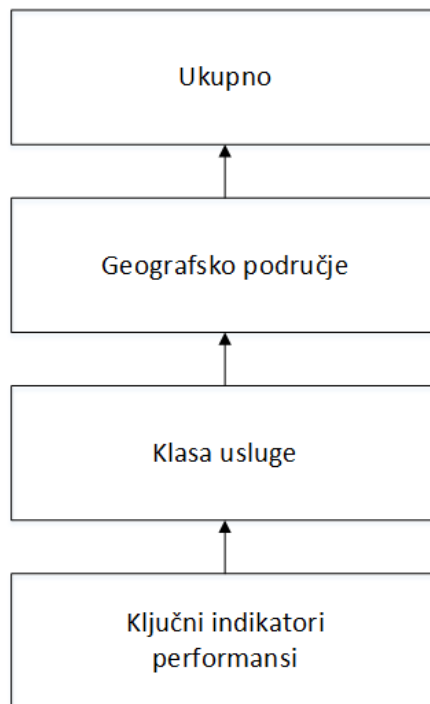
Ako je dostupno manje od 30 uzoraka, tada bi kvantil gausove distribucije $Z_{95\%}$ trebao biti zamijenjen tabelarnom vrijednošću studentove distribucije $T_{95\%}(N - 1)$, gdje N predstavlja broj dostupnih uzoraka.

Intervali pouzdanosti opisuju standardne granice pogrešaka za određenu statističku razinu pouzdanosti, općenito 95%. Međutim, dva uspoređena KPI-a ili KQI-a s bliskim vrijednostima i preklapajućim intervalima pouzdanosti nisu nužno statistički isti. Točna usporedba između KPI-a ili KQI-a trebala bi se temeljiti na statističkoj značajnosti. Time se osigurava da šansa za lažno odbacivanje hipoteze da su dvije vrijednosti KPI ili KQI iste, kad su zapravo iste, ostane na 5%. Na temelju testa statističke značajnosti može se zaključiti da jedan operator ima bolje rezultate od drugoga (u slučaju konkurentne usporedbe), kao i da li implementacija nove tehnologije donosi značajna poboljšanja (u slučaju interne primjene).

Uz statističku značajnost, moraju se koristiti relevantni pragovi specifični za određene KPI-eve ili KQI-eve, kad god su razlike nebitne ili unutar točnosti mjerenja svakog KPI ili KQI.

4.3 Agregacijski slojevi

Sveobuhvatan način za usporedbu testiranih mreža je izračunati ukupan rezultat za pojedinu mobilnu mrežu prema podacima prikupljenim tijekom vremenskog perioda mjerenja. Pojedinačni rezultati mjerenja agregiraju se korištenjem ponderirane akumulacije u ukupni mrežni rezultat. Taj ukupni rezultat na kraju omogućava ocjenjivanje testiranih mreža. Kako bi rezultat bio cjelovit ponderirano združivanje se vrši u nekoliko slojeva kako je prikazano slikom 8, [20].

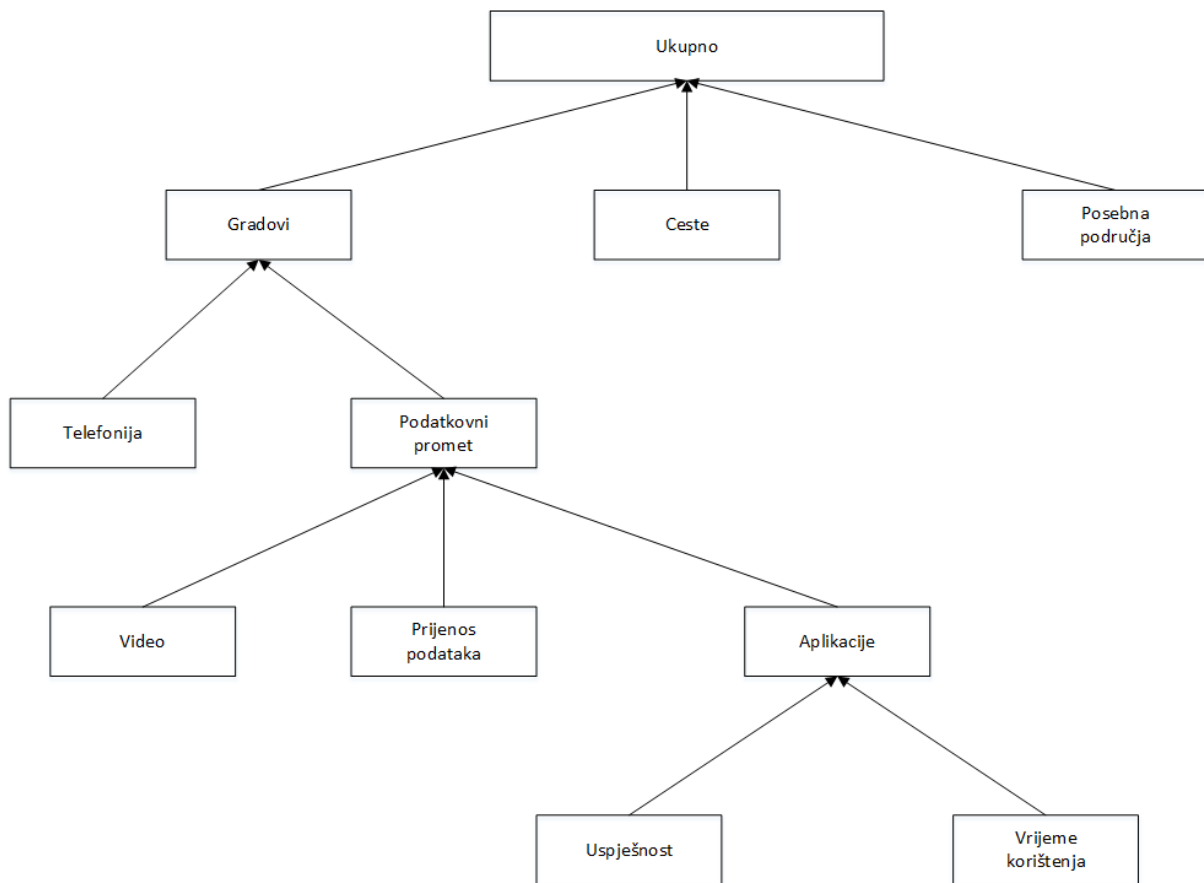


Slika 8. Agregacijski slojevi

Izvor: [20]

Ponderi se koriste za združivanje različitih mjernih podataka, mobilnih usluga i geografskih područja radi dobivanja ukupnog rezultata. Akumulacija mjerenja vrši se na nekoliko razina. Prvi i najniži sloj sastoji se od mjerenja mjernih podataka nazvanih KPI isporučenih preko mobilne mreže. U radu su razmatrane klase usluga su telefonija, video i prienos podataka te aplikacije poput internetskog pregledavanja, društvenih mreža i razmjene poruka. Mjerni podaci prikupljeni za jednu klasu mobilnih usluga i određeno područje objedinjuju se u pojedinačni rezultat za svaku mjernu vrijednost te nakon toga se rezultati mjernih podataka akumuliraju u ukupni rezultat pojedine klase usluge.

Slika 9 prikazuje združivanje na razini usluge. U ovom združivanju KPI-evi se rangiraju prema ponderu koji je postavljen za određenu klasu usluge ili aplikaciju. Ocjene za pojedine aplikacije se tada zbrajaju u rezultat za telefoniju ili podatkovnu uslugu, a zatim se klase usluga zbrajaju za pojedino područje na kojem se mjerenje odvijalo. Konačno, različita područja se ponderiraju i zbrajaju te mogu imati daljnje geografske podjele. Ponderirano agregiranje geografskih područja rezultira ukupnom ocjenom koja karakterizira mobilnu mrežu.

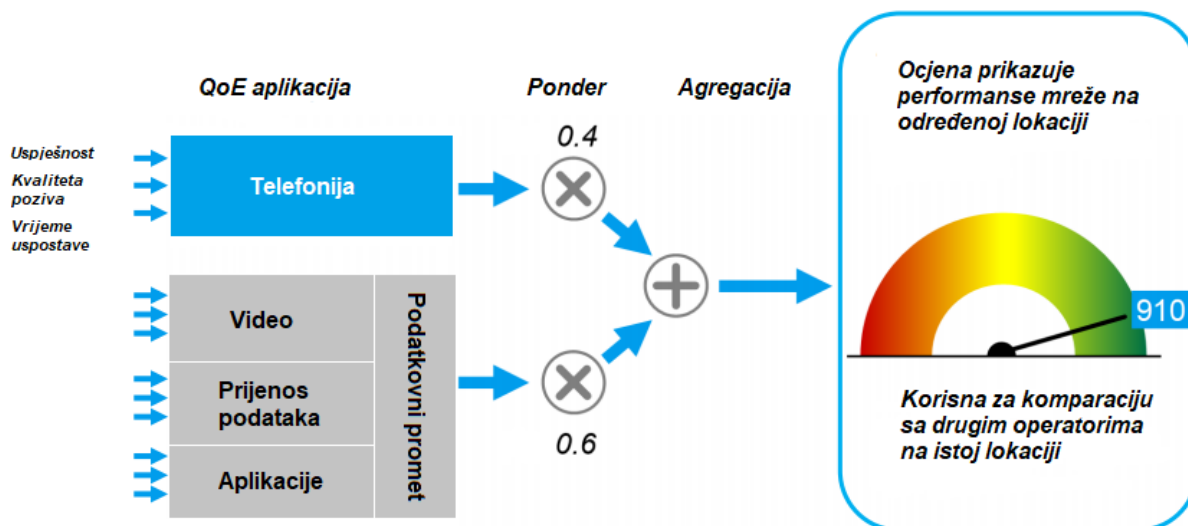


Slika 9. Agregacija na razini usluge

Izvor: [20]

4.4 Područja mjerenja

Izbor područja mjerenja važan je dio cijelog postupka vrednovanja mrežnih performansi. Da bi rezultati bili reprezentativni, područja bi trebala obuhvaćati većinu stanovništva i glavna geografska područja uporabe mobilnih usluga, u slučaju ograničenog pokrivanja na razini države važno je da je u mjerenje uključen reprezentativni dio ukupnog broja korisnika. U izboru područja i raspodjeli vremena između pojedinih potpodručja kao što su veliki gradovi i ceste potrebno je uzeti u obzir geografska i topološka svojstva dotične države. To u pojedinim slučajevima može negativno utjecati na usporedivost između država. Slikom 10 prikazan je način ponderiranja i agregacije za određeno geografsko područje. Ukupna ocjena koja je dobivena na geografskom području jako je korisna prilikom komparacije s drugim mrežama odnosno operatorima čije performanse su vrednovane za isto područje.



Slika 10. Ponderiranje i agregacija za geografsko područje

Izvor: [21]

Općenito, ograničavanje mjerenja samo na područja koja opslužuju svi telekom operatori sigurno je najbolji izbor, ali u slučaju da se na važnim dijelovima zemlje i stanovništva mjerenja ne odvijaju, operator koji ne pokriva navedene dijelove može biti izuzet od vrednovanja na razini države ili se ta ograničenja moraju uzeti u obzir pri konačnoj ocjeni. U dokumentu [20] definirana su područja mjerenja te je u nastavku objašnjeno što se podrazumijeva pod pojedinim područjem.

4.4.1 Gradovi

S obzirom na to da se gradovi razlikuju u veličini i gustoći naseljenosti, a kategorizacija velikih, srednjih i malih gradova razlikuje se od države do države kao i njihova važnost u državi, ponekad se navedeno odražava na zahtjeve koje postavlja regulator za izdavanje dozvole za korištenje frekvencijskog spektra. Gradovi mogu biti, ali ne moraju biti podijeljeni i tri kategorije, to su veliki, srednji i mali. Za velike gradove se najčešće uzimaju glavni gradovi odnosno gradovi s velikom gustoćom stanovništva. Mjerenja u takvim gradovima se vrše na način da se vozi kroz takve gradove i pri tome testiraju određene mrežne performanse. Srednji gradovi su manji gradovi s manje stanovnika i manje ekonomske važnosti i općenito je gustoća stanovništva manja nego u velikim gradovima. Mali gradovi imaju najmanje stanovnika u i pri tome i najmanji komercijalni značaj u državi. Izbor i podjele u definiranju tipova gradova mora odražavati njihovu važnost u cijeloj zemlji [20].

4.4.2 Ceste

Radi velike razlike u prometnom toku i vrsti gradova koje povezuju, ceste su kategorizirane kao autoceste, brze ceste i lokalne ceste. Autoceste su ceste s više traka odnosno ceste koje imaju veliki prometni tok i povezuju velike i srednje gradove na području gdje se odvija mjerenje. One prolaze kroz cijelu zemlju i nemaju raskrižja i semafore u istoj razini. Mjerenja na cestama s više traka i s velikim prometnim tokom koje prolaze kroz gradove računaju se unutar okvira rezultata za gradove, a ne za ceste. U ovu kategoriju još ulaze i brze ceste odnosno prometnice na kojima se prometuje velikim prometom, povezuju gradove mjernog područja. Ove ceste mogu imati raskrižja i semafore u istoj razini. Lokalne ceste su ceste kojima se ne prometuje velikim prometom i one povezuju srednje i male gradove [20].

4.4.3 Posebna područja

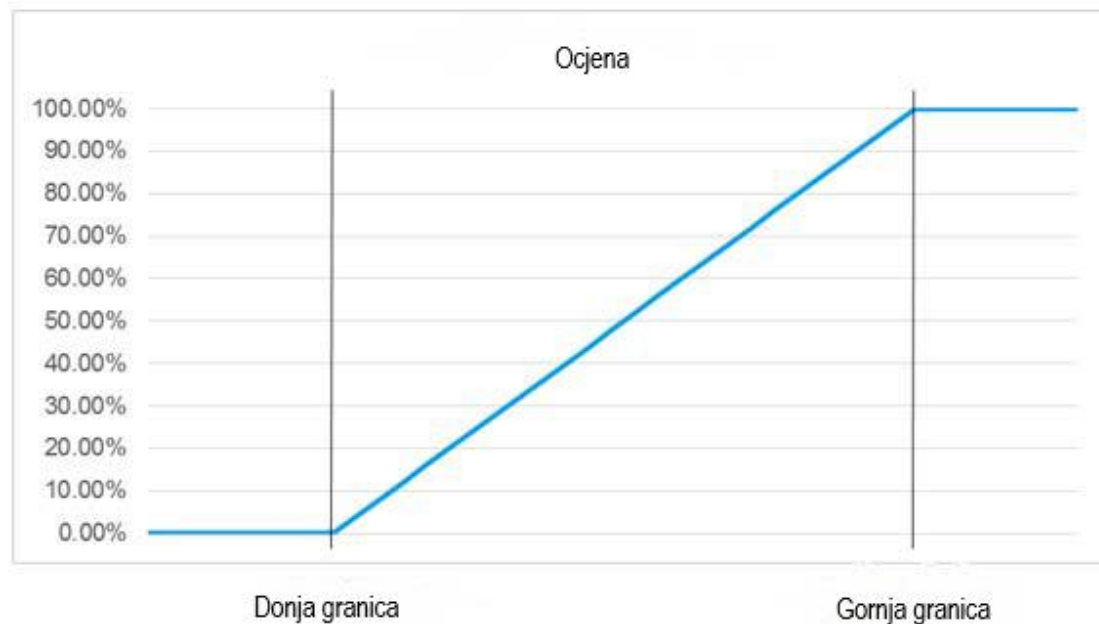
Velika koncentracija korisnika definira posebna područja, a ona se razlikuju od države do države, ovisno o kulturi, načinu života i ponašanju korisnika. Primjerice željeznički kolodvori i vlakovi su posebna mjesta za države koje imaju razvijenu kulturu putovanja vlakovima ili je vlak prijevozno sredstvo za međugradsku vezu. Ostala posebna područja kao što su zračne luke, pješačke zone, parkovi, stadioni ili turističke atrakcije, jesu lokacije velike gustoće korisnika mobilnih usluga. Ta područja trebaju biti razmotrena na odgovarajući način [20].

4.5 Metrike i ponderiranje

Svako mjerenje je višeslojne prirode. Gornji sloj daje ukupnu ocjenu mjerenja mobilne usluge, što je izračunato iz ponderiranih rezultata mjernih scenarija za telefoniju i podatkovne usluge. Oba scenarija u zbroju imaju ponder 100%. Podatkovni promet je podijeljen u tri kategorije: video, prijenos podataka i aplikacije. Te tri kategorije također imaju zajednički ponder 100%. Metrike ispitivanja vrednuju se kao združene vrijednosti. Iako se uspješnost agregira sama po sebi, za većinu ostalih vrijednosti, kao što su kvaliteta poziva, propusnost, vrijeme uspostave i trajanje usluge, uzima se u obzir prosjek. Ti pojedinačni mjerni podaci imaju donju i gornju granicu. Prosječne vrijednosti se očekuju u području između donje i gornje granice (slika 11).

Ocjene za prosječne vrijednosti izračunavaju se između dvije granice. Negativni utjecaj loših performansi ili pozitivan utjecaj izvrsnih performansi može se podcijeniti uzimajući u obzir samo postignute prosjeke. Potrebno je uzeti u obzir aspekte

distribucije rezultata. Stoga je korisno uvesti ograničenja za loše i izvrsne performanse u vidu donje i gornje granice i izračunati postotak unutar tih granica.



Slika 11. Opća funkcija ocjenjivanja

Izvor: [20]

U prikazanom grafu na slici 11 dana je linearna funkcija koja ilustrira opću metodu, iako se sva mjerenja usluga ne shvaćaju linearno. Nelinearni odnos može se dogoditi gdje povećavanje ili smanjivanje metričke vrijednosti na jednom kraju intervala bodovanja može imati veći ili manji utjecaj nego slično povećavanje ili smanjivanje metričke vrijednosti na drugom kraju intervala stoga treba imati veći ili manji postotak na dobivenu ocjenu. U nastavku je prikazan izraz po kojem se izračunava ocjena mrežnih performansi za pojedinu uslugu [20].

$$Ocjena = \frac{izmjerena\ vrijednost - Donja\ granica}{Gornja\ granica - Donja\ granica} \times ponder \quad (3)$$

5. Primjena statističkog ocjenjivanja i rangiranja sveukupnih mrežnih performansi za usluge i mreže

U ovom poglavlju dat je primjer statističkog ocjenjivanja i rangiranja sveukupnih mrežnih performansi te kako praktično primijeniti mrežno rangiranje i ocjenjivanje kao što je opisano u prethodnom poglavlju. S tim u vezi prikazani su primjeri ključnih mrežnih indikatora, pondera, ograničenja i pragova koji se mogu primijeniti na različite razine mobilnih usluga i različita geografska područja.

5.1 Razina klase usluga

Usluge su podijeljene u dvije osnovne klase telefoniju i podatkovni promet. Sve većom popularnošću i primjenom OTT usluga koje su zamijenile tradicionalne telekomunikacijske usluge poput poziva, veća važnost se daje podatkovnom prometu u odnosu na telefoniju. Upravo iz tih razloga u tablici 3 je dat veći ponder podatkovnom prometu u odnosu na telefoniju. Što znači da podatkovne mrežne performanse imaju veći značaj u ukupnoj ocjeni mreže.

Tablica 3. Ponderi za klase usluga

Klasa usluge	Ponder
Telefonija	40 %
Podatkovni promet	60 %

Izvor: [20]

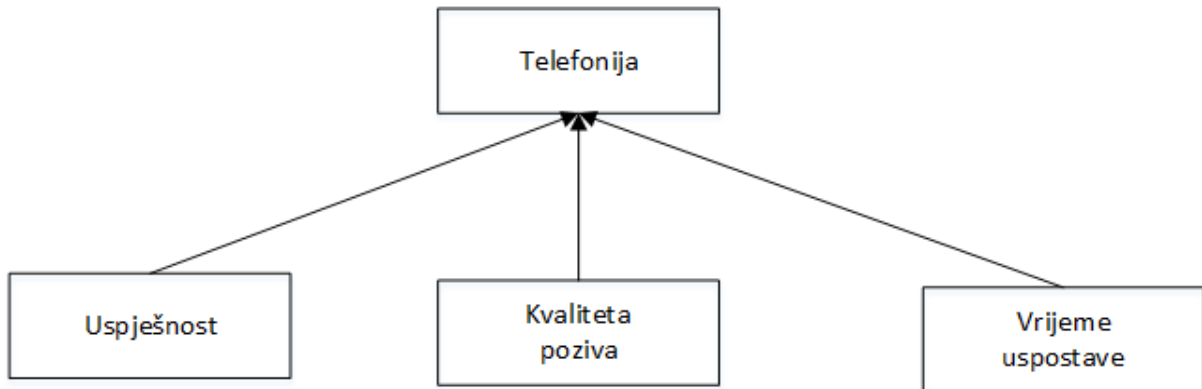
Za sve razmatrane klase usluga osnovna je ideja ocijeniti tri aspekta usluge, tamo gdje je to moguće:

- dostupnost ili održivost usluge (Uspješnost ostvarivanja poziva i omjer odbačenih poziva)
- vrijeme potrebno za pristup usluzi (Vrijeme uspostave poziva ili vrijeme pristupa videu)
- kvaliteta prijenosa (MOS).

Svaki od navedenih aspekata opisuje se i ocjenjuje jednim ili više KPI-eva. Obično postoji jedan pokazatelj za ocjenu prosječnih performansi (vrijeme uspostave poziva), dok ostali indikatori ocjenjuju visoke ili niske performanse (10. i 90. percentil).

5.1.1 Telefonija

Prema [20] za uslugu telefonije definiraju se tri glavne metrike: uspješnost, kvaliteta poziva (MOS) i vrijeme uspostave poziva (slika 12). Sve tri vrijednosti ulaze u izračun ukupnog rezultata telefonske usluge.



Slika 12. Metrike značajne za telefoniju

Izvor: [20]

Slijedom navedenoga u istom izvoru predlažu se sljedeći KPI-evi za telefoniju :

- uspješnost ostvarivanja poziva
- omjer odbačenih poziva
- MOS
- MOS < donjeg praga MOS vrijednosti
- 90. percentil MOS-a
- vrijeme uspostave poziva
- vrijeme uspostave poziva > praga duge uspostave poziva
- 90. percentil vremena uspostave poziva.

Tablica 4. Granice i ponderi za telefoniju

KPI	Donja granica	Gornja granica	Ponder
Uspješnost ostvarivanja poziva	85 %	100 %	30,25 %
Omjer odbačenih poziva	10 %	0 %	38,5 %
MOS	2	4,20	4,38 %
MOS < 1,6	10 %	0 %	5,62 %
90. percentil MOS-a	4	4,75	2,50 %
Vrijeme uspostave poziva [s]	12	4,50	6,25 %
Vrijeme uspostave poziva > 15s	3 %	0 %	8,75 %
90. percentil vremena uspostave poziva	8	4	3,75 %

Izvor: [20]

Tablicom 4 prikazani su predloženi KPI-evi sa svojim donjim i gornjim granicama i dodijeljenim ponderima. Pojedinačni KPI-evi se mogu pojedinačno ponderirati za izračun ukupne ocjene telefonije, s obzirom na to da degradirane vrijednosti navedenih KPI-eva nemaju isti utjecaj na korisnika usluge. Tako primjerice istraživanja pokazuju da što je veća uspješnost poziva i MOS vrijednost to je iskustvena kvaliteta usluge bolja. Nadalje duže vrijeme uspostave poziva utjecat će na smanjenje iskustvene kvalitete usluge. Ukupni ponder svih KPI-eva mora iznositi 100%.

5.1.2 Podatkovni promet

Podatkovni promet podijeljen je u tri kategorije video, prijenos podataka i aplikacije. U kategoriju aplikacije spadaju najčešće korištene aplikacije poput internetskog pretraživanja te društvenih mreža i dopisivanja. Tablicom 5 prikazan je ponder za svaku vrstu podatkovnog prometa.

Tablica 5. Ponderi za podatkovni promet

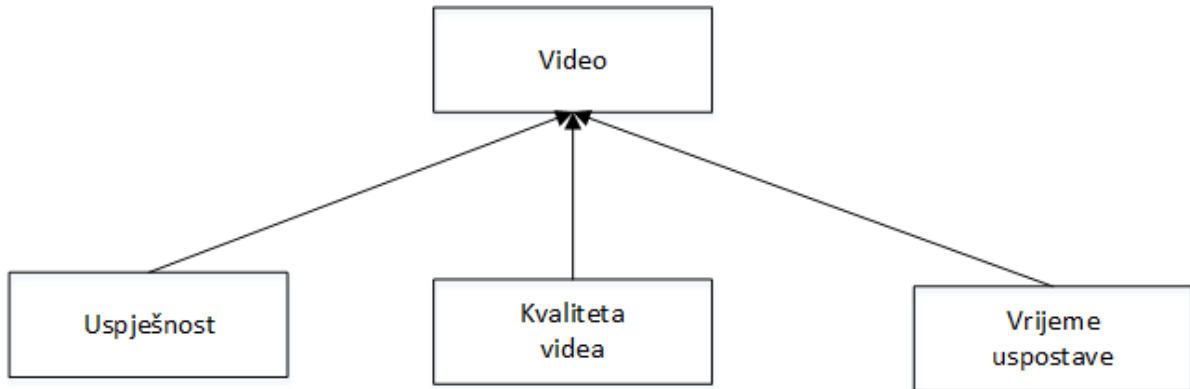
Vrsta podatkovnog prometa	Ponder
Video	35 %
Prijenos podataka	25 %
Internetsko pretraživanje	18 %
Društvene mreže i dopisivanje	22 %

Izvor: [20]

S obzirom da su usluge strujanja videa u trendu u posljednje vrijeme te da video promet zauzima najveći dio prometa prosječnog korisnika mobilnih usluga, pridodaje mu se najveća važnost u usporedbi s ostalim vrstama podatkovnog prometa. K tome potrebno je uzeti u obzir kako je video usluga najosjetljivija od svih navedenih usluga što dovodi do toga da je video promet ponderiran s najvećim ponderom. Promet poput internetskog pretraživanja sačinjava mali dio sveukupnog podatkovnog prometa te lošiji izmjereni indikatori ne degradiraju uslugu u velikoj mjeri kao kod video usluge.

5.1.3 Video

U [20] definirane su tri glavne metrike video prometa: uspješnost strujanja videa, kvaliteta vizualnog prikaza, vrijeme uspostave odnosno vrijeme pristupa videozapisu. Ove tri metrike se kombiniraju kako bi se dobila ocjena strujanja videozapisa. Ukupan ponder svih metrika je 100%.



Slika 13. Metrike značajne za video

Izvor: [20]

Slijedom toga za video promet u obzir se mogu se uzeti sljedeći KPI-evi:

- uspješnost strujanja videa
- kvaliteta videa
- omjer vremena zamrzavanja videa
- rezolucija
- 10. percentil kvalitete videa
- vrijeme pristupa videu > prag dugog vremena pristupa videu.

Tablica 6. Granice i ponderi za video

KPI	Donja granica	Gornja granica	Ponder
Uspješnost ostvarivanja video strujanja	80 %	100 %	58,0 %
Kvaliteta videa (MOS)	3	4,5	16,5 %
10. percentil od MOS-a	2	4	16,5 %
Vrijeme pristupa videu [s]	7	2 %	4,5 %
Vrijeme pristupa videu > 10 s	5 %	0 %	4,5 %

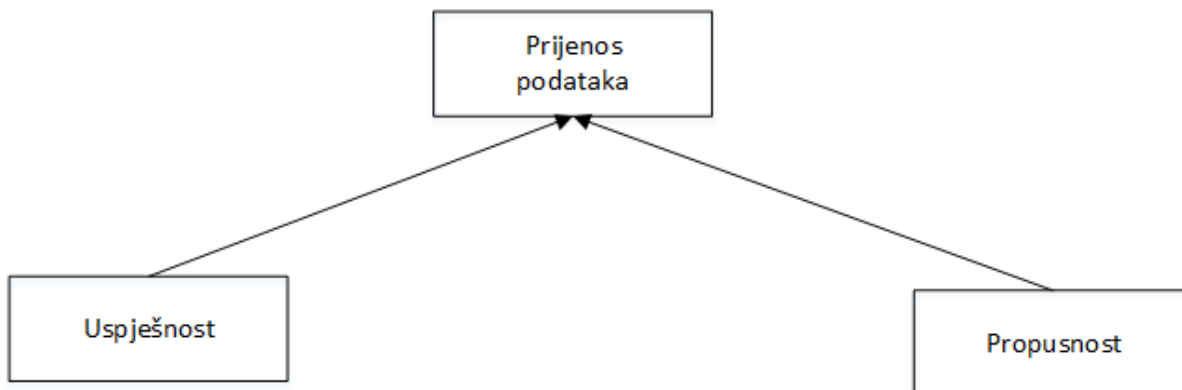
Izvor: [20]

Tablica 6 prikazuje granice i pondere za video promet. Što je viša uspješnost strujanja videa i vrijednost MOS-a kvalitete videa, bolja je iskustvena kvaliteta usluge.

Što je duže vrijeme prvog prikazivanja slike (vrijeme pristupa videu) to je lošije iskustvo korisnika. Prema tome su dodijeljeni ponderi za predložene KPI-eve.

5.1.4 Prijenos podataka

Prema [20], glavne metrike prijenosa podataka su uspješnost prijenosa podataka i propusnost odnosno brzina prijenosa podataka. Ukupan ponder ove dvije metrike iznosi 100%.



Slika 14. Metrike značajne za prijenos podataka

Izvor: [20]

Za mjerenje prijenosa podataka mogu se uzeti u obzir sljedeći KPI-evi:

- uspješnost prijenosa podataka
- prosječno trajanje sesije
- prosječna propusnost
- 10. percentil (niske) propusnosti
- 90. percentil (visoke) propusnosti.

Tablica 7. Granice i ponderi za prijenos podataka

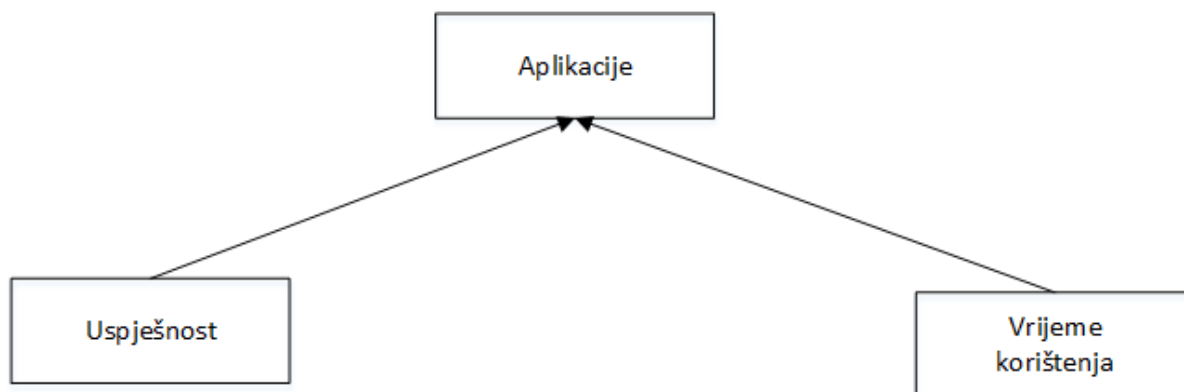
KPI	Donja granica	Gornja granica	Ponder
Uspješnost prijenosa podataka DL (pr. 5 MB)	80 %	100 %	11,00 %
Prosječna propusnost DL [Mbit/s]	1	100	14,00 %
10. percentil (niske) propusnosti DL [Mbit/s]	1	40	18,00 %
90. percentil (visoke) propusnosti DL Mbit/s]	10	240	7,00 %
Uspješnost prijenosa podataka UL (pr. 2 MB)	80 %	100 %	11,00 %
Prosječna propusnost UL [Mbit/s]	0,5	50	14,00 %
10. percentil (niske) propusnosti UL [Mbit/s]	0,5	30	18,00 %
90. percentil (visoke) propusnosti UL [Mbit/s]	5	100	7,00 %

Izvor: [20]

Tablicom 7 dan je prikaz granica i pondera za prijenos podataka. Što je veća uspješnost prijenosa podataka i prosječna propusnost to je bolja iskustvena kvaliteta usluge.

5.1.5 Aplikacije

U [20] definirane su glavne metrike s aspekta vrednovanja aplikacija: uspješnost i vrijeme korištenja. Ukupan ponder ove dvije metrike iznosi 100%.



Slika 15. Značajne metrike za aplikacije

Izvor: [20]

Slijedom toga predloženi KPI-evi za aplikacije su:

- uspješnost
- prosječno trajanje sesije
- trajanje aktivnosti > prag dugog trajanja aktivnosti.

Tablica 8. Granice i ponderi za internetsko pretraživanje

KPI	Donja granica	Gornja granica	Ponder
Uspješnost	80,0 %	100,0 %	66,67 %
Prosječno trajanje sesije [s]	6	1	28,57 %
Trajanje aktivnosti > 6 s	15,00 %	0,00 %	4,76 %

Izvor: [20]

Tablica 9. Granice i ponderi za društvene mreže i dopisivanje

KPI	Donja granica	Gornja granica	Ponder
Uspješnost	80,0 %	100,0 %	66,67 %
Prosječno trajanje sesije [s]	15	3	28,57 %
Trajanje aktivnosti > 15 s	5,00 %	0,00 %	4,76 %

Izvor: [20]

Tablicama 8 i 9 dat je prikaz granica i pondera za usluge internetskog pretraživanja, društvenih mreža i dopisivanja. Što je veća uspješnost to je bolja iskustvena kvaliteta usluge. Prosječno trajanje sesije kao što je pregledavanje ili objavljivanje sadržaja slijedi padajuću funkciju odnosno što duže traje to je iskustvo korisnika lošije. Najveći ponder dodijeljen je KPI-u za uspješnost pristupa usluzi iz razloga što taj KPI najviše utječe na percepciju korisnika.

5.2 Razina određenog geografskog područja

S obzirom da su u [20] definirana geografska područja mjerenja te je u prethodnom poglavlju objašnjeno što se podrazumijeva pod pojedinim područjem, tablicom 10 su ponderirana ista. Gradovima je dodijeljen najveći ponder iz očiglednog razloga, a to je gustoća stanovništva. Potrebno je napomenuti i posebna mjesta kojima je pridružen najmanji ponder. Razlog tome je što je vrijeme zadržavanja korisnika na njima najmanji.

Tablica 10. Ponderi za geografska područja

Područja	Ponder
Gradovi	50%
Ceste	40%
Posebna mjesta	10%

Izvor: [20]

5.2.1 Gradovi

U tablici 11 vidljiv je prikaz pondera za različite vrste gradova. Velikim gradovima dodijeljen je najveći ponder radi najveće koncentracije stanovništva u njima. Prema istom kriteriju ponderi su dodijeljeni ostalim vrstama gradova.

Tablica 11. Ponderi za vrste gradova

Vrsta grada	Ponder
Veliki grad	60%
Srednji grad	30%
Mali grad	10%

Izvor: [20]

5.2.2 Ceste

S obzirom da su vrste ceste definirane u prethodnom poglavlju, u tablici 12 prikazanu su dodijeljeni ponderi za svaku vrstu cesta. Autocestama je pridružen

najveći ponder jer je u određenim vremenskim periodima tokom godine očekivan značajno povećan broj korisnika i iz tog razloga predstavljaju veću važnost prilikom mjerenja.

Tablica 12. Ponderi za vrste cesta

Vrsta ceste	Ponder
Autocesta	60%
Brza cesta	30%
Lokalna cesta	10%

Izvor: [20]

5.2.3 Posebna područja

Posebna područja su definirana u dvije kategorije: transportna vozila i posebne zone, prikazane tablicom 13. Boravak u transportnim vozilima predstavlja svakodnevicu prosječnog korisnika mobilnih usluga. Putovanja na posao, fakultet ili u školu svakodnevno uzimaju određeni vremenski period od prosječnog korisnika. Radi mobilnosti i mjestimice velike gustoće korisnika predstavljaju posebno područje na koje treba obratiti pažnju prilikom vrednovanja mrežnih performansi. Posebne zone poput zračne luke, autobusnih i željezničkih kolodvora, pješačkih zona i ponajviše stadiona, predstavljaju vrlo bitno područje koje ima utjecaj na ocjenu mrežnih performansi. Stadioni primjerice predstavljaju mjesta gdje se nalazi veliki broj korisnika koji zahtijevaju velike mrežne kapacitete. U takvim situacijama mreža dolazi do iskušenja, te to može biti slaba točka u mreži radi koje dolazi do lošije sveukupne ocjene.

Tablica 13. Ponderi za posebna područja

Vrsta posebnog područja	Ponder
Transportna vozila	40%
Posebne zone (zračne luke, autobusni i željeznički kolodvori, pješačke zone, stadioni ili turističke atrakcije)	60%

Izvor: [20]

5.3 Primjer vrednovanja mrežnih performansi

U prethodnim pod poglavljima detaljno je objašnjen način dodjeljivanja težina odnosno pondera pojedinim indikatorima performansi, klasama usluga i geografskim područjima na kojima se vrši mjerenje. U tablici 14 je prikazano vrednovanje mrežnih performansi za operatora A, čiji rezultati će u nastavku rada biti uspoređeni i rangirani u odnosu na operatora B. S lijeve strane su navedene klase usluga (telefonija, video,

prijenos podataka, internetsko pretraživanje te društvene mreže i dopisivanje) za koje su poznati ponderi, navedeni u poglavlju 5.1, u tablicama 3-9, te vrijednosti donje i gornje granice za pojedini KPI. Navedene vrijednosti prikazane su u stupcima A, B i C. U prethodnim pod poglavljima također su definirani stupci D i E odnosno ponderi pojedine klase usluge u odnosu na svoju hijerarhijski pripadajuću klasu. Stupac E odnosno ponder klase usluge definira kolika je bitnost pojedine klase u odnosu na sveukupnu uslugu mobilne mreže. Dakle, u navedenom primjeru telefonija ima težinu 40%, dok podatkovni promet ima težinu 60%.

Nakon odrađenog mjerenja i obrade podataka, dobiveni rezultati se upisuju u stupac F ili I, ovisno o tome da li se mjerenje odvijalo na urbanom ili ruralnom geografskom području. Stupac G prikazuje srednju vrijednost ocjene između gornje i donje granice prethodno prikazanu formulom (3). Krajnja ocjena (stupac H) izračunava se kao umnožak vrijednosti stupaca D, E, F i G. Kako bi se dobila ocjena za pojedino područje potrebno je zbrojiti ocjene svakog ključnog indikatora performansi za svaku uslugu ($SUMA(G)$) i ($SUMA(R)$). Čelija $SUMA(G)$ prikazuje ocjenu mrežnih performansi za grad u kojem se odvijalo mjerenje, dok čelija $SUMA(R)$ prikazuje ocjenu mrežnih performansi za ruralno područje u kojem se odvijalo mjerenje. Svako od tih područje potrebno je ponderirati na razini cijele mobilne mreže. U ovom primjeru to je učinjeno tako da je urbanom području odnosno gradu dodijeljen ponder 60%, dok je ruralnom području dodijeljen ponder od 40%. Sveukupna ocjena na razini države odnosno većeg geografskog područja za pojedinu mobilnu mrežu određuje se na način da se svaki rezultat određenog geografskog područja pomnoži s dodijeljenim ponderom te se njihovi umnošci zbroje. Ukupna ocjena je prikazana u donjem desnom kutu tablice.

Ovim načinom vrednovanja mrežnih performansi za različite razine združivanja omogućeno je hibridno donošenje ocjene iskustvene kvalitete usluge za pojedinu mobilnu mrežu. Primjenom razvijenih metoda i mjerenja za rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja prikazan je način kako mobilne mreže mogu biti rangirane te spremne za komparaciju s ostalim mobilnim mrežama na istom geografskom području. Također ove metode se mogu koristiti kako bi davatelj usluga mogao vidjeti mane vezane za pojedinu klasu usluga ili geografsko područje te na temelju toga planirati daljnje razvijanje mreže i implementaciju novih rješenja u svrhu poboljšanja iskustvene kvalitete usluge.

Tablica 14. Primjer vrednovanja mrežnih performansi za operatora A

	Donja granica	Gornja granica	Ponder za svaki KPI	Ponder u telefoniji, podatkovnom prometu	Ponder klase usluge		Primjer rezultata za grad	RAW	Ocjena		Primjer rezultata za ruralno područje	RAW	Ocjena	
	A	B	C	D	E		F	G	H		I	J	K	
Telefonija														
Uspješnost ostvarivanja poziva	85%	100%	30.25%	100%	40%		98%	86.67	10.49		90%	33.33	4.03	
Omjer odbačenih poziva	10%	0%	38.50%	100%	40%		1.80%	82.00	12.63		3.20%	68.00	10.47	
MOS	2	4.3	4.38%	100%	40%		3.9	82.61	1.45		3.3	56.52	0.99	
MOS < 1,6	10%	0%	5.62%	100%	40%		2.85%	71.50	1.61		4.60%	54.00	1.21	
90. percentil MOS-a	4	4.75	2.50%	100%	40%		3.86	0.00	0.00		3.74	0.00	0.00	
Vrijeme uspostave poziva [s]	12	4.5	6.25%	100%	40%		4.1	100.00	2.50		6.4	74.67	1.87	
Vrijeme uspostave poziva > 15s	3%	0%	8.75%	100%	40%		1.00%	66.67	2.33		2.40%	20.00	0.70	
90. percentil vremena uspostave poziva	8	4	3.75%	100%	40%		3.4	100.00	1.50		3.7	100.00	1.50	
Video														
Uspješnost ostvarivanja video strujanja	80%	100%	58%	35%	60%		91%	55.00	6.70		81%	5.00	0.61	
Kvaliteta videa (MOS)	3	4.5	16.50%	35%	60%		4.1	73.33	2.54		3.3	20.00	0.69	
10. percentil od MOS-a	2	4	16.50%	35%	60%		2.9	45.00	1.56		2.2	10.00	0.35	
Vrijeme pristupa videu [s]	7	2	4.50%	35%	60%		3.1	78.00	0.74		3.9	62.00	0.59	
Vrijeme pristupa videu > 10 s	5%	0%	4.50%	35%	60%		2.40%	52.00	0.49		4.30%	14.00	0.13	
Prijenos podataka														
Uspješnost prijenosa podataka DL (pr. 5 MB)	80%	100%	11.00%	25%	60%		96%	80.00	1.32		86%	30.00	0.50	
Prosječna propusnost DL [Mbit/s]	1	100	14.00%	25%	60%		44.4	43.84	0.92		25.7	24.95	0.52	
10. percentil (niske) propusnosti DL [Mbit/s]	1	40	18.00%	25%	60%		12.8	30.26	0.82		9.5	21.79	0.59	
90. percentil (visoke) propusnosti DL [Mbit/s]	10	240	7.00%	25%	60%		78.4	29.74	0.31		52.8	18.61	0.20	
Uspješnost prijenosa podataka UL (pr. 2 MB)	80%	100%	11.00%	25%	60%		92%	60.00	0.99		95%	75.00	1.24	
Prosječna propusnost UL [Mbit/s]	0.5	50	14.00%	25%	60%		9.1	17.37	0.36		4.2	7.47	0.16	
10. percentil (niske) propusnosti UL [Mbit/s]	0.5	30	18.00%	25%	60%		0.98	1.63	0.04		0.76	0.88	0.02	
90. percentil (visoke) propusnosti UL [Mbit/s]	5	100	7.00%	25%	60%		14.7	10.21	0.11		10.6	5.89	0.06	
Internetsko pretraživanje														
Uspješnost	80.00%	100%	66.67%	18%	60%		96%	80.00	5.76		95%	75.00	5.40	
Prosječno trajanje sesije [s]	6	1	28.57%	18%	60%		3.6	48.00	1.48		3.9	42.00	1.30	
Trajanje aktivnosti > 6 s	15%	0%	4.76%	18%	60%		8%	46.67	0.24		11%	26.67	0.14	
Društvene mreže i dopisivanje														
Uspješnost	80.00%	100%	66.67%	22%	60%		87%	35.00	3.08		86%	30.00	2.64	
Prosječno trajanje sesije [s]	15	3	28.57%	22%	60%		10.4	38.33	1.45		12.1	24.17	0.91	
Trajanje aktivnosti > 15 s	5%	0%	4.76%	22%	60%		3%	40.00	0.25		13%	0.00	0.00	
									SUMA(G)	61.66454			SUMA(R)	36.81
									Ponder	60%			Ponder	40%
													Ukupna ocjena (60% grad + 40% ruralno)	51.72298

Izvor: [20]

5.4 Rangiranje mrežnih performansi dvije različite mobilne mreže

Prilikom uspoređivanja i vrednovanja mrežnih performansi mreža koje pokrivaju velika geografska područja potrebno je razmotriti niz čimbenika. Oni uključuju korištenu tehnologiju, pokrivenost, distribuciju populacije korisnika i tarifne ponude. Na ishode vrednovanja može značajno utjecati specifično ciljanje ispitnih uređaja kako bi se dobile vrhunske mrežne performanse. U takvim slučajevima dobiveni rezultati više ne odražavaju iskustvo korisnika koji koristi usluge te mobilne mreže. Potrebno je

poduzeti sve korake kako bi se osiguralo da rezultati zaista predstavljaju stvarno iskustvo korisnika.

U nastavku je dana tablica 15 koja prikazuje vrednovanu mobilnu mrežu koja će biti uspoređena i rangirana u odnosu na rezultate iz prethodnog poglavlja.

Tablica 15. Primjer vrednovanja mrežnih performansi za operatora B

	Donja granica	Gornja granica	Ponder za svaki KPI	Ponder u telefoniji, podatkovnom prometu	Ponder klase usluge		Primjer rezultata za grad				Primjer rezultata za ruralno područje			
	A	B	C	D	E		F	G	H		I	J	K	
Telefonija														
Uspješnost ostvarivanja poziva	85%	100%	30.25%	100%	40%		93%	53.33	6.45		88%	20.00	2.42	
Omjer odbačenih poziva	10%	0%	38.50%	100%	40%		2.20%	78.00	12.01		3.90%	61.00	9.39	
MOS	2	4.3	4.38%	100%	40%		2.9	39.13	0.69		2.9	39.13	0.69	
MOS < 1,6	10%	0%	5.62%	100%	40%		2.92%	70.80	1.59		4.90%	51.00	1.15	
90. percentil MOS-a	4	4.75	2.50%	100%	40%		3.3	0.00	0.00		3.33	0.00	0.00	
Vrijeme uspostave poziva [s]	12	4.5	6.25%	100%	40%		4.6	98.67	2.47		6.9	68.00	1.70	
Vrijeme uspostave poziva > 15s	3%	0%	8.75%	100%	40%		1.50%	50.00	1.75		2.70%	10.00	0.35	
90. percentil vremena uspostave poziva	8	4	3.75%	100%	40%		4.2	95.00	1.43		3.9	100.00	1.50	
Video														
Uspješnost ostvarivanja video strujanja	80%	100%	58%	35%	60%		93%	65.00	7.92		75%	0.00	0.00	
Kvaliteta videa (MOS)	3	4.5	16.50%	35%	60%		4.3	86.67	3.00		2.7	0.00	0.00	
10. percentil od MOS-a	2	4	16.50%	35%	60%		3.1	55.00	1.91		2.3	15.00	0.52	
Vrijeme pristupa videu [s]	7	2	4.50%	35%	60%		3.3	74.00	0.70		4.6	48.00	0.45	
Vrijeme pristupa videu > 10 s	5%	0%	4.50%	35%	60%		2.49%	50.20	0.47		4.10%	18.00	0.17	
Prijenos podataka														
Uspješnost prijenosa podataka DL (pr. 5 MB)	80%	100%	11.00%	25%	60%		95%	75.00	1.24		82%	10.00	0.16	
Prosječna propusnost DL [Mbit/s]	1	100	14.00%	25%	60%		54.4	53.94	1.13		21.1	20.30	0.43	
10. percentil (niske) propusnosti DL [Mbit/s]	1	40	18.00%	25%	60%		13.2	31.28	0.84		7.5	16.67	0.45	
90. percentil (visoke) propusnosti DL [Mbit/s]	10	240	7.00%	25%	60%		82.4	31.48	0.33		43.8	14.70	0.15	
Uspješnost prijenosa podataka UL (pr. 2 MB)	80%	100%	11.00%	25%	60%		96%	80.00	1.32		91%	55.00	0.91	
Prosječna propusnost UL [Mbit/s]	0.5	50	14.00%	25%	60%		9.3	17.78	0.37		3.8	6.67	0.14	
10. percentil (niske) propusnosti UL [Mbit/s]	0.5	30	18.00%	25%	60%		0.88	1.29	0.03		0.57	0.24	0.01	
90. percentil (visoke) propusnosti UL [Mbit/s]	5	100	7.00%	25%	60%		14.9	10.42	0.11		9.2	4.42	0.05	
Internetsko pretraživanje														
Uspješnost	80.00%	100%	66.67%	18%	60%		95%	75.00	5.40		90%	50.00	3.60	
Prosječno trajanje sesije [s]	6	1	28.57%	18%	60%		3.2	56.00	1.73		4.9	22.00	0.68	
Trajanje aktivnosti > 6 s	15%	0%	4.76%	18%	60%		8%	46.67	0.24		17%	0.00	0.00	
Društvene mreže i dopisivanje														
Uspješnost	80.00%	100%	66.67%	22%	60%		88%	40.00	3.52		84%	20.00	1.76	
Prosječno trajanje sesije [s]	15	3	28.57%	22%	60%		10.9	34.17	1.29		13.2	15.00	0.57	
Trajanje aktivnosti > 15 s	5%	0%	4.76%	22%	60%		3%	34.00	0.21		16%	0.00	0.00	
								SUMA(G)	58.15689			SUMA(R)	27.24	
								Ponder	60%			Ponder	40%	
													Ukupna ocjena (60% grad + 40% ruralno)	45.79024

Izvor: [20]

U tablici 16 rangirane su klase usluga za svakog operatora. Iz tablice je vidljivo da je operator B ispred operatora A samo za klasu usluge video (ocjena 8.86, za gradsko područje ocjena je 14, a za ruralno područje ocjena je 8,86), dok je u svim ostalim klasama usluga bolji operator A, što je vidljivo prikazanim rezultatima u tablici.

Na isti način moguće je rangirati operatore prema pojedinačnom KPI-u ili prema određenom geografskom području.

Tablica 16. Primjer rangiranja klasa usluga

Klasa usluge	Operator A				Operator B			
	Grad	Ruralno	Ocjena ukupno	Rank	Grad	Ruralno	Ocjena ukupno	Rank
Telefonija	32.50	20.78	27.81	Rank 1	26.38	17.20	22.71	Rank 2
Video	12.03	2.37	8.16	Rank 2	14.00	1.14	8.86	Rank 1
Prijenos podataka	4.88	3.28	4.24	Rank 1	5.38	2.30	4.15	Rank 2
Internetsko pretraživanje	7.48	6.83	7.22	Rank 1	7.37	4.28	6.13	Rank 2
Društvene mreže i dopisivanje	4.78	3.55	4.29	Rank 1	5.02	2.33	3.94	Rank 2

Izvor: [19]

6. ZAKLJUČAK

U ovom radu prikazana je hibridna metoda za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi od kraja do kraja. Postupak ocjenjivanja se vrši na više razina i time omogućava davateljima usluge i telekom operatorima da dobiju jednu ocjenu o kvaliteti mrežnih performansi odnosno o iskustvenoj kvaliteti usluge. Odabir ključnih indikatora performansi je bitan detalj u ovom procesu ocjenjivanja i rangiranja jer omogućava da se osim klasičnih parametara kvalitete usluge odaberu parametri koji su puno značajniji korisniku odnosno doprinose boljoj iskustvenoj kvaliteti, primjerice kvaliteta videozapisa umjesto parametra rezolucije. Kombinacija ključnih indikatora performansi čini ocjenu reprezentativnom i pogodnom za kompariranje s drugim operatorima s istog područja.

U radu su također objašnjene postojeće metode vrednovanja iskustvene kvalitete usluge kao i mehanizmi za upravljanje kvalitetom usluge. Razlog tome je takav što je poznavanje istih neophodno za razumijevanje i implementaciju navedene hibridne metode za ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi. Ovakve metode ocjenjivanja mrežnih performansi će biti sve više u uporabi s dolaskom pete generacije mobilnih mreža. Odlične performanse koje 5G nudi otvaraju širom vrata velikom broju novih i evoluirajućih usluga i aplikacija koje će unaprijediti ovo društvo. Upravo s dolaskom tih novih usluga i aplikacija ocjenjivanje i rangiranje mrežnih performansi će biti od iznimne važnosti. Cilj je staviti korisnika u centar jednog takvog ekosustava gdje će korisnik svojim zahtjevima diktirati razvoj usluga, a ocjenjivanje mrežnih performansi će davatelju usluga omogućiti pružanje zaista najbolje moguće usluge.

POPIS KRATICA

ACC	Adaptive Cruise Control
CBQ	Class-based queuing
CN	Coordinator
CPPS	Cyber-Physical Production System
CPS	Cyber-Physical System
FDD	Frequency Division Duplex
FIFO	First-In-First-Out
FQ	Fair Queuing
GPS	Global Positioning System
IoT	Internet of Things
IP	Internet Protocol
ITU	International Telecommunication Union
KPI	Key Performance Indicator
KQI	Key Quality Indicator
LiDAR	Light Detection and Ranging
LTE	Long Term Evolution
M2M	Machine-to-Machine
MOS	Mean Opinion Score
NFV	Network Functions Virtualization
OTT	Over The Top
PESQ	Perceptual Evaluation of Speech Quality
PQ	Priority Queuing

QoE	Quality of Experience
QoS	Quality of Service
RED	Random Early Detection
RSVP	Resource Reservation Protocol
SDN	Software Defined Network
SLA	Service Level Agreement
SLS	Service Level Specification
SMS	Short Message Service
TCP	Transmission Control Protocol
TDD	Time Division Duplex
VoIP	Voice over Internet Protocol
WBAN	Wireless Body Area Network
WFQ	Weighted Fair Queuing

POPIS LITERATURE

- [1] Rao SK, Prasad R. *Impact of 5G Technologies on Smart City Implementation*. *Wirel Pers Commun* 2018; 100: 161–176.
- [2] Exploring IoT applications for smart cities of different sizes - Information Policy, Preuzeto s : <https://www.i-policy.org/2018/07/exploring-iot-applications-for-smart-cities-of-different-sizes.html> [Pristupljeno 3. kolovoza 2020].
- [3] Selem E, Fatehy M, El-Kader SMA. *E-Health applications over 5G networks: Challenges and state of the art*. ACCS/PEIT 2019 - 2019 6th Int Conf Adv Control Circuits Syst 2019 5th Int Conf New Paradig Electron Inf Technol 2019; 111–118.
- [4] Rao SK, Prasad R. *Impact of 5G Technologies on Industry 4.0*. *Wirel Pers Commun* 2018; 100: 145–159.
- [5] Kagermann H. *Industrie 4.0 – What can the UK learn from Germany’s manufacturing strategy?* *R Acad Eng* 2014; 0–26.
- [6] Crnjac M, Veža I, Banduka N. *From concept to the introduction of industry 4.0*. *Int J Ind Eng Manag* 2017; 8: 21–30.
- [7] Kong L, Khan MK, Wu F, et al. *Millimeter-wave wireless communications for IoT-cloud supported autonomous vehicles: Overview, design, and challenges*. *IEEE Commun Mag* 2017; 55: 62–68.
- [8] Towards Data Science. *Key aspects of autonomous vehicles*, Preuzeto s : <https://towardsdatascience.com/how-to-make-a-vehicle-autonomous-16edf164c30f> [Pristupljeno 7. kolovoza 2020].
- [9] Barakabitze AA, Ahmad A, Mijumbi R, et al. *5G network slicing using SDN and NFV: A survey of taxonomy, architectures and future challenges*. *Comput Networks* 2020; 167.
- [10] Ericsson. *This is 5G*. Ericsson, 2018
- [11] Nokia White paper. *5G deployment below 6 GHz*. 2017; 1–12.
- [12] Gavric R, Banović-Ćurguz N, Ilišević D, et al. *Comparison of basic*

- characteristics of 4G/LTE and 5G NR technology*. 2019; 27–30.
- [13] Banovic-Curguz N, Ilisevic D. *Evolucija metrika u savremenom telekomunikacionom okruženju*. 24th Telecommun Forum, TELFOR 2016 2017; 0–3.
- [14] Kelly LM. *Definitions of terms related to quality of service*. ITU-T E800; 2009.
- [15] ITU-T. *Recommendation ITU-T Y.1291 - An architectural framework for support of Quality of Service in packet networks*; 2004
- [16] Hu ZG, Yan HR, Yan T, et al. *Evaluating QoE in VoIP networks with QoS mapping and machine learning algorithms*. Neurocomputing 2020; 386: 63–83.
- [17] ITU-T. *Perceptual evaluation of speech quality (PESQ): An objective method for end-to-end speech quality assessment of narrow-band telephone networks and speech codecs*. ITU-T Recomm P862 2001; 862: 749–752.
- [18] Brennan R, Fleck J, van der Meer S, et al. *The Design of a Quality of Experience Model for Providing High Quality Multimedia Services*. 2010; 6473: 1-11–11.
- [19] ITU-T. *E.840 - Statistical framework for end-to-end network performance benchmark scoring and ranking*. 2018
- [20] Stq- REG. *Speech and multimedia Transmission Quality (STQ)*; Intellect Prop 2011; 1: 1–92.
- [21] Dr. Jens Berger. *QoS and QoE in 5G networks Evolving applications and measurements*. 2019; 19–21.

POPIS SLIKA

Slika 1. Primjena IoT rješenja u pametnim gradovima, [2]	4
Slika 2. WBAN arhitektura, [3]	6
Slika 3. Koncept pametne tvornice, [5]	7
Slika 4. Senzori autonomnog vozila, [8]	9
Slika 5. Frekvencijski pojasevi 5G mreže	12
Slika 6. Arhitektura QoS-a	16
Slika 7. Opseg QoE evaluacije, [16]	22
Slika 8. Agregacijski slojevi	27
Slika 9. Agregacija na razini usluge	28
Slika 10. Ponderiranje i agregacija za geografsko područje	29
Slika 11. Opća funkcija ocjenjivanja	31
Slika 12. Metrike značajne za telefoniju	33
Slika 13. Metrike značajne za video	35
Slika 14. Metrike značajne za prijenos podataka	36
Slika 15. Značajne metrike za aplikacije	37

POPIS TABLICA

Tablica 1. Evolucija mobilnih komunikacijskih tehnologija	12
Tablica 2. Prikaz MOS skale za određivanje kvalitete zvuka	23
Tablica 3. Ponderi za klase usluga	32
Tablica 4. Granice i ponderi za telefoniju.....	33
Tablica 5. Ponderi za podatkovni promet.....	34
Tablica 6. Granice i ponderi za video	35
Tablica 7. Granice i ponderi za prijenos podataka	36
Tablica 8. Granice i ponderi za internetsko pretraživanje	37
Tablica 9. Granice i ponderi za društvene mreže i dopisivanje.....	37
Tablica 10. Ponderi za geografska područja.....	38
Tablica 11. Ponderi za vrste gradova	38
Tablica 12. Ponderi za vrste cesta.....	39
Tablica 13. Ponderi za posebna područja.....	39
Tablica 14. Primjer vrednovanja mrežnih performansi za operatora A	41
Tablica 15. Primjer vrednovanja mrežnih performansi za operatora B	42
Tablica 16. Primjer rangiranja klasa usluga	43



Sveučilište u Zagrebu
Fakultet prometnih
znanosti
10000 Zagreb
Vukelićeva 4

IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj _____ diplomski rad

isključivo rezultat mog vlastitog rada koji se temelji na mojim istraživanjima i oslanja se na objavljenu literaturu što pokazuju korištene bilješke i bibliografija.

Izjavljujem kako nijedan dio rada nije napisan na nedozvoljen način, niti je prepisan iz necitiranog rada, te nijedan dio rada ne krši bilo čija autorska prava.

Izjavljujem također, kako nijedan dio rada nije iskorišten za bilo koji drugi rad u bilo kojoj drugoj visokoškolskoj, znanstvenoj ili obrazovnoj ustanovi.

Svojim potpisom potvrđujem i dajem suglasnost za javnu objavu _____ diplomskog rada pod naslovom **Vrednovanje mrežnih performansi za različite razine združivanja QoE**

na internetskim stranicama i repozitoriju Fakulteta prometnih znanosti, Digitalnom akademskom repozitoriju (DAR) pri Nacionalnoj i sveučilišnoj knjižnici u Zagrebu.

U Zagrebu, _____ 17/09/2020

Student/ica:

(potpis)