

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU  
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI

Krunoslav Sever

UTJECAJ MOBILNOSTI KORISNIKA NA  
PRUŽENU KVALITETU USLUGE MOBILNE  
MREŽE

ZAVRŠNI RAD

Zagreb, 2019.

Zagreb, 13. ožujka 2019.

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

## ZAVRŠNI ZADATAK br. 4987

Pristupnik: **Krunoslav Sever (0135239866)**  
Studij: **Promet**  
Smjer: **Informacijsko-komunikacijski promet**

Zadatak: **Utjecaj mobilnosti korisnika na pruženu kvalitetu usluge mobilne mreže**

Opis zadatka:

Prikazati tehnološke promjene uvedene u različite generacije mobilnih komunikacijskih sustava. Identificirati parametre kvalitete usluge i pregledom relevantne literature utvrditi gornje granice parametara ovisno o različitim vrstama usluge. Analizirati utjecaj mobilnosti korisnika na pruženu kvalitetu usluge, ovisno o vrijednostima parametara kvalitete usluge.

Mentor:

Predsjednik povjerenstva za  
završni ispit:



---

doc. dr. sc. Marko Matulin

Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti

## ZAVRŠNI RAD

Utjecaj mobilnosti korisnika na pruženu kvalitetu usluge  
mobilne mreže

Impact of User Mobility on the Provided Quality of  
Service in Mobile Networks

Mentor: Doc. dr. sc. Marko Matulin

Student: Krunoslav Sever

JMBAG: 0135239866

Zagreb, svibanj 2019.

# UTJECAJ MOBILNOSTI KORISNIKA NA PRUŽENU KVALITETU USLUGE MOBILNE MREŽE

## SAŽETAK

U ovome radu objašnjen je razvoj mobilnih mreža kroz generacije, te za svaku generaciju zasebno su prikazane ključne činjenice. Definirana je kvaliteta usluge i detaljno objašnjeni parametri koji utječu na nju, te su prikazane definirane vrijednosti tih parametara kroz razne primjere aplikacija koje su isto tako detaljno analizirane zajedno sa zahtjevima koje postavljaju. Objašnjena je važnost mobilnosti korisnika uz razne pogodnosti, kao i vrste poziva. Navedene su metode mjerenja kvalitete usluge, te utjecaj na zadovoljstvo korisnika mobilnih mreža.

**KLJUČNE RIJEČI:** mobilna mreža; mobilnost; kvaliteta usluge; parametri; zadovoljstvo korisnika

# IMPACT OF USER MOBILITY ON THE PROVIDED QUALITY OF SERVICE IN MOBILE NETWORKS

## SUMMARY

This paper explains the development of mobile networks through generations, for each generation, key facts are presented separately. The quality of service and detailed parameters that affect it are defined, the values of these parameters are defined through various applications that have been analyzed in detail along with the requirements they set. The importance of user mobility has been explained with various benefits, as well as types of calls. The methods of measuring quality of service and the impact on the satisfaction of mobile network users are mentioned.

**KEYWORDS:** mobile network; mobility; quality of service; parameters; customer satisfaction

# SADRŽAJ:

1. Uvod .....	1
2. Razvoj mobilnih mreža kroz generacije .....	3
2.1. 1G tehnologija .....	4
2.2. 2G tehnologija .....	5
2.3. 3G tehnologija .....	7
2.3.1. Komutacija kanala .....	8
2.3.2. Komutacija paketa .....	9
2.4. 4G tehnologija .....	10
2.5. 5G tehnologija .....	12
3. QoS parametri.....	14
3.1. Ostali parametri koju utječu na QoS .....	18
3.2. Osnovni mehanizmi QoS-a .....	19
4. QoS zahtjevi aplikacija.....	20
4.1. Podatkovne aplikacije.....	22
4.2. Glasovne aplikacije.....	23
4.3. Video aplikacije .....	24
5. Mobilnost korisnika.....	26
5.1. Inicijalni pozivi.....	26
5.2. Handover pozivi.....	26
5.2.1. Horizontalno i vertikalno preuzimanje poziva.....	28
5.2.2. Tvrdi i meki preuzimanje poziva .....	28
6. QoS za mobilne korisnike .....	30
6.1. Mjerenje kvalitete usluge .....	30
6.1.1. Subjektivna metoda mjerenja kvalitete usluge.....	31
6.1.2. Objektivna metoda mjerenja kvalitete usluge.....	31
6.2. Utjecaj na zadovoljstvo korisnika.....	32
7. Zaključak.....	38
Literatura .....	39
Popis slika.....	41
Popis tablica .....	42
Popis kratica .....	43

# 1. UVOD

Potreba za komunikacijom pojavila se još davnih godina te se vršila na svakojake načine, prvi oblik komutacije odn., prenošenje informacija od izvorišta do odredišta telekomunikacijskim putem pojavio se još 1930.-ih godina, hijerarhijskim usmjeravanjem na telefonskoj mreži, PSTN-u (eng. *Public Switched Telephone Network*). Kasnije su se počele razvijati telefonske mreže koje su koristile komutaciju kanale, sve do unazad ne tako davnog vremena kada je razvijen mod prijenosa paket, tj. način prenošenja informacija komutacijom paketa. Moglo bi se reći da je to prekretnica u telekomunijacijskom svijetu.

Cilj i svrha ovog rada pod naslovom „Utjecaj mobilnih korisnika na pruženu kvalitetu usluge mobilne mreže“ su specificirati tehnološke razlike u različitim generacijama mobilnih mreža, kvalitetu usluge i parametre koji utječu na istu te analizirati utjecaj mobilnosti korisnika na navedeno, a materija je izložena u sedam glavnih cjelina:

1. Uvod
2. Razvoj mobilnih mreža
3. QoS parametri
4. QoS zahtjevi aplikacija
5. Mobilnost korisnika
6. QoS za mobilne korisnike
7. Zaključak

U drugom dijelu rada opisane su mobilne mreže te razvoj njih samih kroz generacije, navedena je i objašnjena arhitektura te tehnike višestrukog pristupa mediju koje su dodatno pojašnjene slikama iz kojih se može zaključiti način funkcioniranja samih.

Treći dio rada pobliže pojašnjava kvalitetu usluge koju mora pružiti operator, te definira njezine parametre i daje jasniji prikaz udovoljavanju istih i njihov način postizanja.

Sljedeći, četvrti dio, opisuje pojedine skupine, odn. vrste usluga i aplikacija te njihove zahtjeve i načine prijenosa. Dan je detaljan prikaz u parametre kvalitete usluge

koje te aplikacije moraju zadovoljavati kako bi se osigurao potrebna kvaliteta prijenosa i zadovoljstvo korisnika uslugom.

Peti dio, mobilnost korisnika, daje uvid u vrste poziva koje su ostvarive, način preuzimanja istih, te detaljan opis tih vrsta poziva kao i način funkcioniranja samih.

Sljedeći šesti dio rada daje pobližu sliku o mobilnosti i njezinoj važnosti, pobliže su objašnjene metode mjerenja kvalitete usluge te je dan konkretan primjer zadovoljstva korisnika uslugom koju primaju.

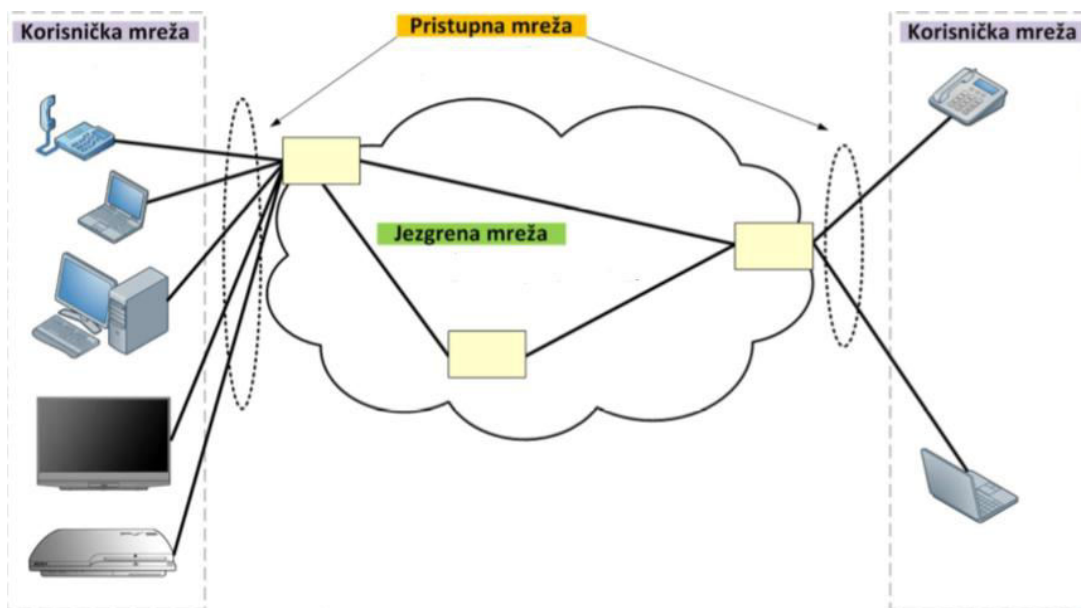
Zadnji, sedmi dio rada prema činjenicama daje zaključak na cjelokupni rad te vlastito mišljenje autora o pruženoj kvaliteti usluge na domaćem tržištu, kao i važnosti utjecaja na mobilnost.

## 2. RAZVOJ MOBILNIH MREŽA KROZ GENERACIJE

Mreža je sustav za prijenos informacija, odnosno skup međusobno povezanih dijelova (komunikacijskih sustava) u cjelinu sa ciljem distribucije informacija. Dakle, može se reći da je mobilna mreža tehnologija koja se temelji na radio prijenosu, a radiovalovi su elektromagnetski valovi za čiju propagaciju su zadužene antene. Mobilne mreže su podijeljene u generacije (njih četiri, peta je u razvoju) od kojih je svaka sve naprednija, brža i učinkovitija u obavljanju svojih funkcionalnosti.

Segmentacija mobilne mreže se može podijeliti u tri osnovne razine:

- Korisnička mreža (engl. *Customer Premises*) – isključivo na korisničkoj strani, a sastoji se od krajnjih terminalnih uređaja (engl. *End-device*)
- Pristupna mreža (engl. *Access Network*) – dio mreže koja omogućava korisnicima povezivanje na jezgri dio mreže (multipleksiranje i agregacija prometa)
- Jezgrena mreža (engl. *Core Network*) – središnji dio komunikacijske mreže koja omogućava usmjeravanje (komutacija kanala/komutacija paketa) i prijenos informacija između dva rubna dijela mreže (korisnička mreža)



Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže, [1]



Višestruki pristup mediju (eng. *Multiple Access*) se primarno koristi u bežičnim mrežama za pristupanje prijenosnom mediju, a njegove pristupne tehnike omogućavaju korištenje istog prijenosnog medija za više korisnika istovremeno, zapravo njihovih uređaja. Za razliku od multipleksiranja<sup>1</sup>, vremenska ili frekvencijska komponenta koja se dodjeljuje je promjenjiva, a sheme višestrukog pristupa su potrebne upravo iz razloga što bazna stanica mora poslužiti više terminalnih uređaja istovremeno, u oba smjera komunikacije. To znači da svi mobilni uređaji u jednoj ćeliji trebaju prijenos do bazne stanice. Mora se spriječiti inter-simbolna interferencija (preklapanje simbola) između različitih pošiljatelja i primatelja, te još neki problemi poput više-stazne propagacije, varijacije kašnjenja i sl., [1].

## 2.1. 1G TEHNOLOGIJA

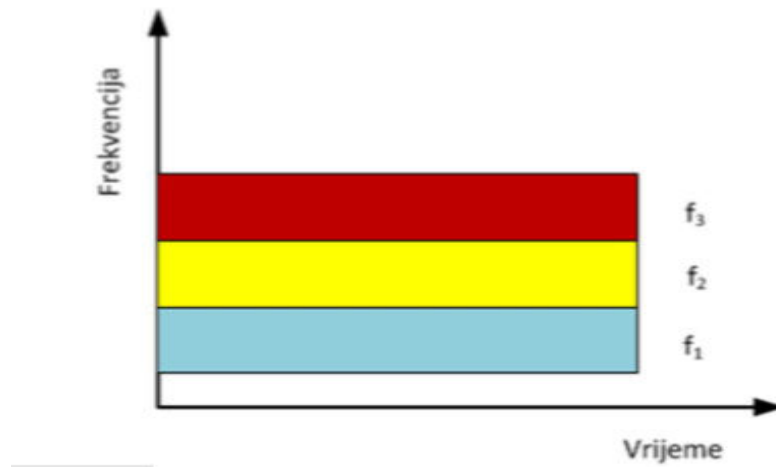
NMT (eng. *Nordic Mobile Telephone*) za Europu odnosno AMPS (eng. *Advanced Mobile Phone Service*) za SAD ili 1G tehnologija je prva generacija mobilnih mreža, to je analogna mobilna mreža koja se počela razvijati krajem sedamdesetih godina prošlog stoljeća, te čiji se jednaki frekvencijski pojasevi od 5 MHz koriste za odlaznu (odašiljanje) i dolaznu vezu (prijem). Odlazna veza je na nižim frekvencijama zbog nešto manjeg gušenja pri propagaciji elektromagnetskog vala, a govorni kanal širok je 25 kHz. Dupleksni razmak između dva odlaznog i dolaznog kanala je 10 MHz. NMT djeluje na frekvencijskom području od 450 MHz, a kasnije prelazi na 900 MHz. Ova mreža je imala velike nedostatke i nesigurnosti prisluškivanja poziva, krađe tuđeg telefonskog broja i sl., [2].

U sustavima ove generacije mobilnih mreža koja omogućuje samo prijenos govora po prvi put se počeo koristiti ćelijski koncept. Za pristup baznoj stanici terminalni uređaji koriste FDMA (eng. *Frequency Division Multiple Access*) tehniku višestrukog pristupa, gdje je svakom mobilnom uređaju dodijeljen frekvencijski kanal za vrijeme trajanja poziva (zauzet do kraja trajanja poziva od jednog korisnika) i zahtjeva se dovoljan zaštitni pojas kako bi se izbjegla interferencija susjednih kanala, [3].

---

<sup>1</sup> Multipleksiranje- proces koji omogućuje dijeljenje fizičkog medija između dva čvora u mreži kako bi se prenosili višestruki tokovi informacija sa višestrukih izvora, tehnika višestrukog prijenosa (FDM, TDM, WDM).

Slika 2 prikazuje pojednostavljeni prikaz funkcioniranja i podjele frekvencijskih pojaseva u prvoj generaciji mobilnih mreža.



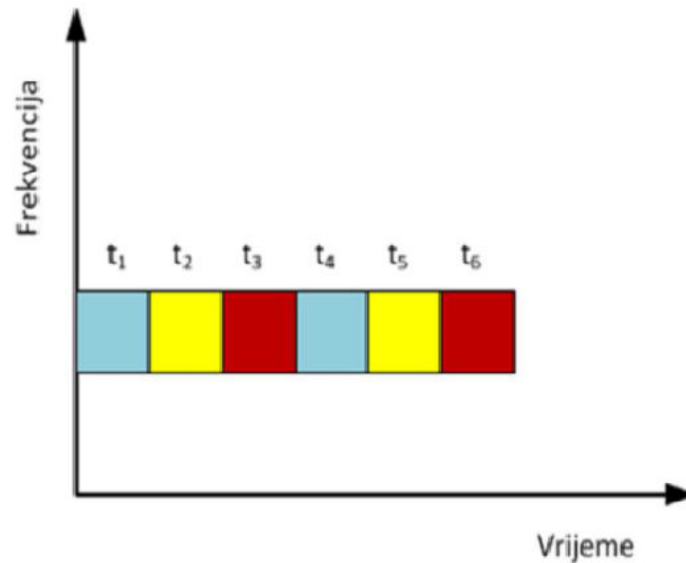
**Slika 2.** FDMA tehnologija, [3]

## 2.2. 2G TEHNOLOGIJA

Druga generacija mobilnih mreža ili 2G tehnologija pojavila se 90-ih godina prošlog stoljeća pod nazivom GSM (eng. *Global System for Mobile Communications*), digitalna mobilna mreža koja omogućuje prijenos glasa i prijenos podataka komutacijom kanala. Temelji se na višestrukome pristupu frekvencije i vremenske razdiobe, FDMA i TDMA (eng. *Time Division Multiple Access*). U TDMA pristupu vrijeme je podijeljeno u kratke vremenske odsječke, odnosno slot-ove te se u jednom vremenskom odsječku prenose podaci samo jednog mobilnog uređaja. Svaki korisnik određeni slot koji mu je dan zadržava do kraja komunikacije. Primjenom takvog vremenskog multipleksiranja više prometnih (logičkih) kanala ostvaruje se jednim frekvencijskim kanalom. Postoje još i fizički kanali koji predstavljaju fizičku osnovu za prijenos podataka.

Iz [4] se zaključuje da je TDMA metoda koja svojim višestrukim pristupom s vremenskom podjelom omogućuje da nekoliko korisnika dijeli jednu frekvenciju i to na način da se svakom korisniku dodjeljuje njegovo vrijeme (slot) kada on koristi tu frekvenciju. Jedan taj slot traje 0,577 ms i svaka mobilna stanica prima i šalje

informacije samo na tom vremenskom odsječku koji joj je dodijeljen, upravo to prikazuje slika 3.



**Slika 3.** TDMA tehnologija, [3]

Pred GSM-om su postavljeni mnogi zahtjevi, a korištenjem digitalne tehnologije druga generacija mobilnih mreža omogućuje veći prometni kapacitet, zaštitu privatnosti poziva i kodiranje korisničkih informacija, te pružanje novih naprednijih usluga kao npr. faks, SMS (eng. *Short Message Service*) i Internet male brzine.

GSM radi u području 890-915 MHz za *uplink* i 935-960 MHz za *downlink* s 992 kanala širine 200 kHz, te brzinom prijenosa od oko 9,6 kbit/s, ali je s vremenom, kako je potražnja za internetom postala sve veća, razvijena nadogradnja na taj sustav koja se naziva 2.5 generacija mobilne mreže (2.5G). Taj sustav je zapravo nadogradnja na GSM koji u podatkovnom prijenosu koristi GPRS (eng. *General Packet Radio Service*) koji omogućava brzine prijenosa do 114 kbit/s u dolaznom smjeru-*downlink*. Uz GPRS koristi se i EDGE (eng. *Enhanced Data rates for GSM Evolution*) sa prijenosom podataka do 384 kbit/s u dolaznom smjeru (negdje se može pronaći naziv 2.75G), [3].

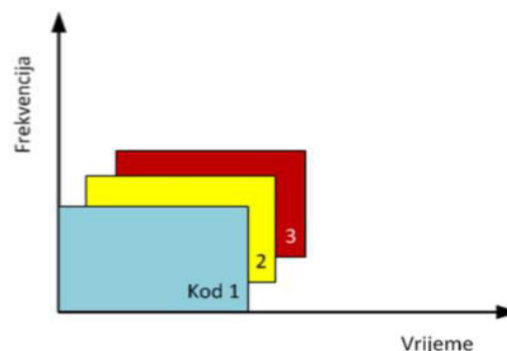
## 2.3. 3G TEHNOLOGIJA

Treća generacija bežičnih mobilnih mreža, 3G tehnologija ili UMTS (eng. *Universal Mobile Telecommunication System*) temelji se na tehnologiji višestrukog pristupa s kodnom raspodjelom, CDMA (eng. *Code Division Multiple Access*), gdje svi korisnici mogu koristiti raspoloživi prijenosni pojas. Koristi se za prijenos glasa komutacijom kanala, te prijenos podataka komutacijom paketa, osim fizičkih i logičkih kanala (koji se koriste kod GSM-a) UMTS uvodi i transportni kanal, širina kanala je 5 MHz.

UMTS mreža se u Europi uvodi 2003. god., a osnovna prednost nad GSM mrežom je u zračnom sučelju, što znači da širokopojasni višestruki pristup s kodnom raspodjelom u UMTS mreži ima dva načina rada:

- FDD (eng. Frequency division duplex) – dupleks s frekvencijskom podjelom
- TDD (eng. Time division duplex) – dupleks s vremenskom podjelom.

U stvari je 3G tehnologija WCDMA (eng. *Wideband CDMA*) tehnologija širokopojasnih digitalnih radio komunikacija namijenjenih internetu, multimediji i sl., upravo u toj kombinaciji s FDD i TDD tehnikama odašiljanja signala koristi se CDMA tehnika multipleksiranja. Koriste se ortogonalni kodovi da bi se razdvojile različite transmisije (odvajanje različitih korisnika). Svaki simbol bita se prenosi kao veći broj bitova koristeći specifični kod korisnika, taj jedinstveni kod se dodjeljuje svakom korisniku unutar ćelije (nalazi se u korisničkoj informaciji koja se odašilje). Ta kodirana informacija se širi preko cijelog frekvencijskog pojasa i šalje zajedno sa informacijama ostalih korisnika, prijemnik prima sve signale te prema poznatom kodu prepoznaje određene informacije. Širina pojasa zauzeta od signala je puno veća nego brzina prijenosa, a svi korisnici koriste isti frekvencijski pojas zajedno, [4].



**Slika 4.** CDMA tehnologija, [3]

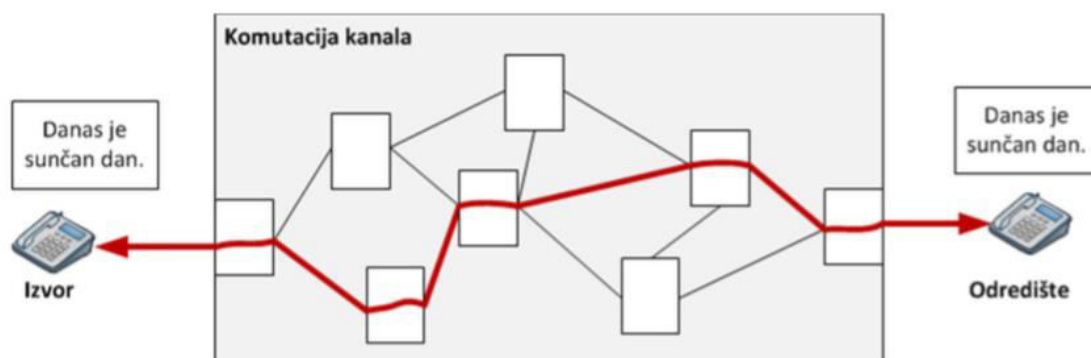
Kako UMTS mreža mora osigurati visoku kvalitetu usluge, a zbog nekih nedostataka, prvenstveno u brzini prijenosa koja je 384 kbit/s (očekivana brzina je bila puno veća) razvijene su neke nadogradnje. Konkretno HSPA (eng. *High Speed Packet Access*) koji se sastoji od HSDPA (eng. *High Speed Download Packet Acces*) što bi se moglo opisati kao prijenos podataka velikom brzinom na silaznoj vezi u pristupnom dijelu mreže paketskim modom i HSUPA (eng. *High Speed Upload Packet Access*) isto kao HSDPA samo na uzlaznoj vezi. Tako započinje imigracija na sljedeću generaciju mobilnih mreža, kao što su to bili GPRS i EDGE u 2G mreži, [5].

### 2.3.1. KOMUTACIJA KANALA

Komutiranje samo po sebi znači uspostavljanje mreže između dva korisnika, a pojam komutacije ili prosipanja je proces kojim se informacija prenosi od predajnika (izvorište) do prijarnika (odredište).

Komutacija kanala predstavlja prijenos informacije na način da se uspostavlja fizička konekcija od-kraja-do-kraja (*end-to-end* metoda) uzduž unaprijed utvrđene rute uz „ekskluzivno“ korištenje kapaciteta kanala za čitavo vrijeme trajanja razgovora. Poziv neće biti uspostavljen ukoliko nema slobodnih kanala (bit će blokiran/izgubljen), a pojasna širina kanala je fiksna i čitav kapacitet kanala ostaje zauzet za cijelo vrijeme trajanja sesije bez obzira na stvarni tijek korisničkih informacija kroz kanal, bilo da korisnici pričaju ili šute dok je uspostavljena konekcija, [1].

Primjer mreže koja koristi komutaciju kanala je klasična telefonija, PSTN (eng. *Public Switched Telephone Network*), a koristi se i u 1G, 2G i 3G mrežama za prijenos govora. Slika 5 prikazuje primjer prijenosa informacija komutacijom kanala.



**Slika 5.** *Primjer komutacije kanala, [6]*

### 2.3.2. KOMUTACIJA PAKETA

Mod prijenosa paket<sup>2</sup> razvijen je da učinkovitije zadovolji prometne zahtjeve mrežne komunikacije, temeljna zamisao je da se koristi samo kada je potreban prijenos podataka s kontrolom i ispravljanjem pogrešaka u prijenosu, a takav način prijenosa je zahtijevao da informacije budu raspoređene u pakete, koji su adresirani kako bi mogli stići do svog odredišta.

Glavne značajke komutacije paketa su da se ne uspostavlja fizička konekcija nego se dijelovi korisničke poruke (paketi) prenose od-čvora-do-čvora, mjerna jedinica je „Hop“<sup>3</sup>. Svaki paket je označen adresom i numeriran tako da može biti usmjeren različitim putevima do odredišta, te paketi ne moraju doći na odredište redoslijedom kojim su poslani.

Kada paket dolazi u čvor, s dolaznih linija ima pristup u ulaznu memoriju koja služi za privremeno skladištenje paketa, ispravni paketi stavljaju se u red za obradu radi rutiranja<sup>4</sup> (koje se vrši temeljem analize adresnih informacija). Protokolom može biti predviđeno da se obavlja i kontrola pogrešaka u prijenosu tako da se u slučaju nepravilnosti traži retransmisija, odnosno ponavljanje), zatim se paketi memorirani u izlaznim memorijama odašilju putem izlaznih linija kada postoje slobodni transmisijski kapaciteti.

Razvijena su dva načina prijenosa paketa, konekcijsko-orijentirani prijenos CONS (eng. *Connection-Oriented Network Services*) – SVC i PVC, te bezkonekcijski orijentiran prijenos CLNS (eng. *Connection-Less Network Services*) – datagram.

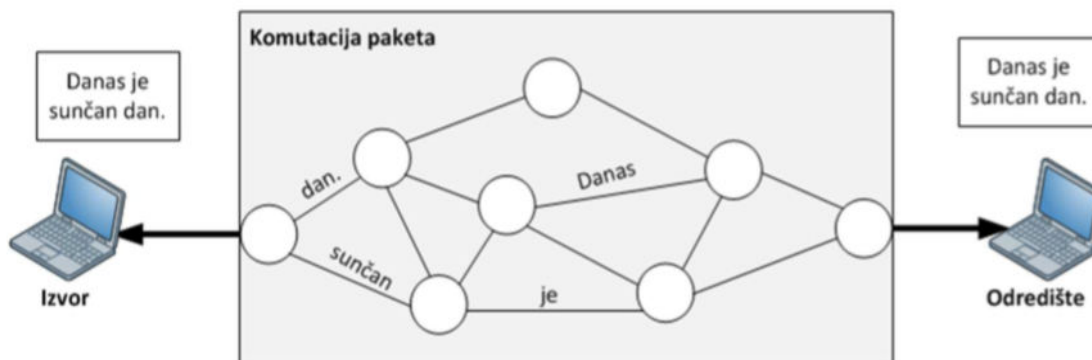
Prijenos podataka se odlikuje usnopljenošću a u tom slučaju komutacija paketa je optimalno rješenje budući da se omogućava korištenje mrežnih resursa samo onda kada korisnik zaista treba slati ili primiti podatke. Komutacija paketa se koristi za prijenos podataka u 3G i 4G mreži, u kojoj služi i za prijenos govora, iz slike 6 vidljiv je primjer prijenosa informacija komutacijom paketa.

---

<sup>2</sup> Paket – podatkovna jedinica koja putuje od izvorišta do odredišta noseći dio korisničke informacije.

<sup>3</sup> Hop – broj „skokova“ između čvorova koje paket prijeđe prije nego stigne na odredište.

<sup>4</sup> Rutiranje – usmjeravanje paketa temeljem analize adresnih informacija u zaglavlju paketa, tj. pronalaženje najbolje rute, puta kojim će se prenositi paket između izvorišta i odredišta.



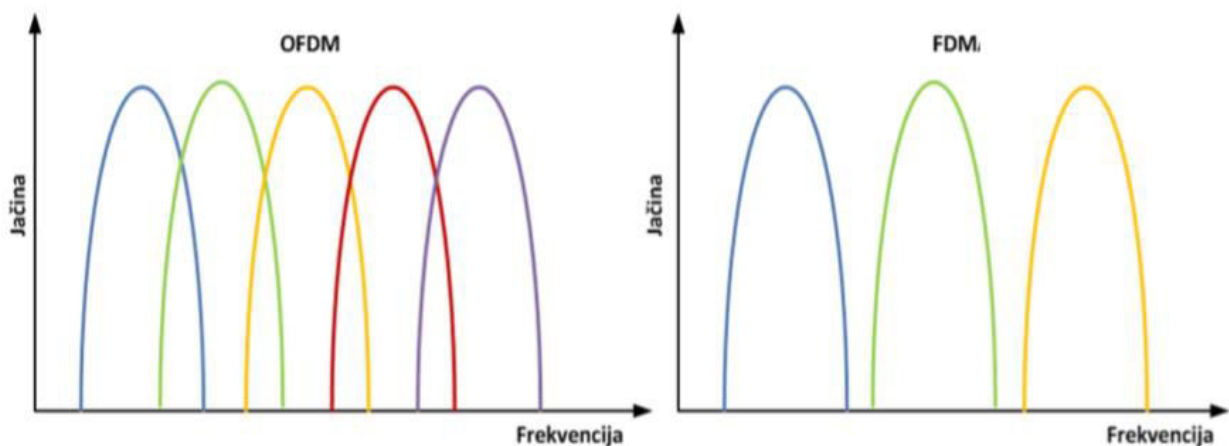
**Slika 6.** *Primjer komutacije paketa, [6]*

Kod komutacije paketa puno je bolje iskorištenje mrežnih resursa, ali kod komutacije kanala bolja je kvaliteta s obzirom da se na određenoj komunikaciji rezerviraju određeni mrežni resursi. Postoji još i prijenos komutacijom poruka, to je prijenos poruka u mrežama s komutacijom paketa ali zasebno, sporo i s velikim kašnjenjem (veliko vrijeme prijenosa i čekanja u čvorovima), ali velika pouzdanost, te se svi paketi iz jedne poruke usmjeravaju jednim putem, [1], [5].

## 2.4. 4G TEHNOLOGIJA

Četvrta generacija mobilnih mreža poznatija je pod nazivom LTE (eng. *Long Term Evolution*) te je prekretnica u suvremenom svijetu tehnologije, mreža koja se najviše koristi i koja podržava puno veće brzine prijenosa i raznolikost usluga. Omogućuje prijenos govora komutacijom paketa i kanala i prijenos podataka komutacijom paketa. Koristi kanale širine do 20 MHz, a efikasno rješava probleme više-stazne propagacije (fenomen propagacije signala na 2 ili više ruta), varijacije kašnjenja (5-10  $\mu$ s u urbanim sredinama) i inter-simbolne interferencije (istovremeno primanje nekoliko različitih simbola). To je postalo moguće uvođenjem potpuno nove tehnologije za višestruki pristup mediju, OFDM (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiplex*).

OFDM je kombinacija modulacije<sup>5</sup> i tehnike višestrukog prijenosa koja omogućava slanje velike količine podataka na način da se dijele u puno manjih tokova. To znači da se umjesto jednog signala nosioca koristi puno više njih čija je frekvencija ortogonalna (ne ovise jedna o drugoj) što omogućava podjelu frekvencijskog spektra u puno manjih dijelova, odnosno podnosioca (eng. *subcarrier*). Podaci se tada moduliraju koristeći neku od digitalnih modulacijskih tehnika (npr. BPSK, QPSK ili M-QAM) te na taj način dolazi do puno bolje iskoristivosti frekvencijskog spektra jer su kanali puno bliže i nije potrebno koristiti *guard* kanale za sprječavanje interferencije. Rezultat je veća brzina prijenosa uz manje greške u prijenosu. OFDM je temelj 4G tehnologije, te je iz slike 7 vidljivo poboljšanje iskoristivosti frekvencijskog spektra u odnosu na prijašnje tehnologije, konkretno nad FDM-om (eng. *Frequency Division Multiplex*), [3].



**Slika 7.** Iskoristivost frekvencijskog spektra OFDM-a i FDM-a, [3]

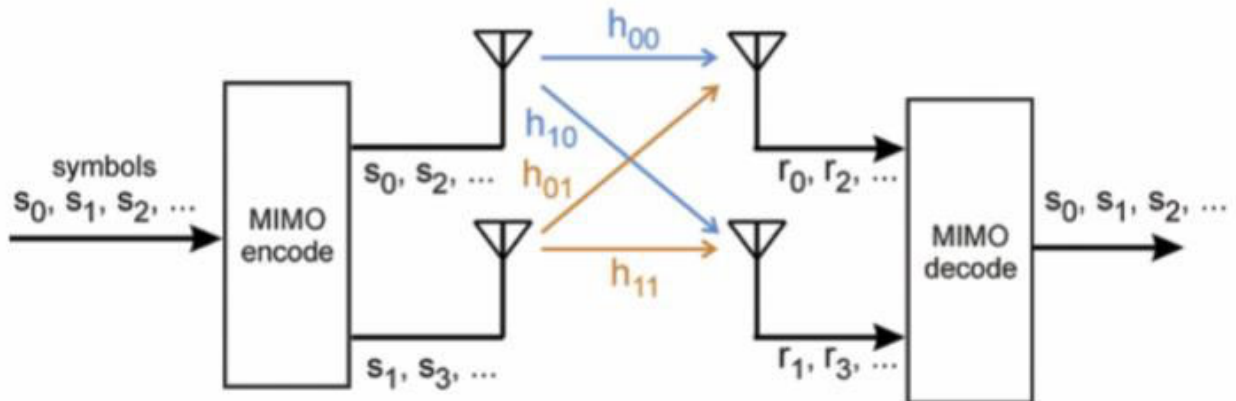
U kompletu sa OFDM-om dolazi i OFDMA (eng. *Orthogonal Frequency Division Multiple Access*) koji je sličan kao OFDM samo omogućava većem broju korisnika da u istom vremenskom periodu koriste medij na način da se svakom korisniku dodijeli određeni broj podnosilaca, što čini podkanale [3].

Kao pojačanje u LTE za ostvarivanje maksimalnog kapaciteta prijenosa uvodi se tehnologija koja omogućuje upotrebu više antenskih rješenja, MIMO (eng. *Multiple*

<sup>5</sup> Modulacija – tehnika koja omogućava prijenos informacija promjenom signala nosioca (amplituda, faza, frekvencija), može biti analogna ili digitalna.



*Input Multiple Output*). To je tehnologija koja za primanje i slanje signala koristi više antena (signala), što omogućuje povećanu brzinu prijenosa između mreže i mobilnog uređaja. MIMO sustavi su antenska i komunikacijska osnova 4G mobilnih sustava, kao i radijskih pristupnih mreža (Wi-Fi) te je uz korištenje 2x2 MIMO sustava i širinom kanala od 20MHz moguće doseći brzinu i do 150Mbit/s, [1].



**Slika 8.** Princip slanja i dekodiranja simbola u MIMO sustavu, [2]

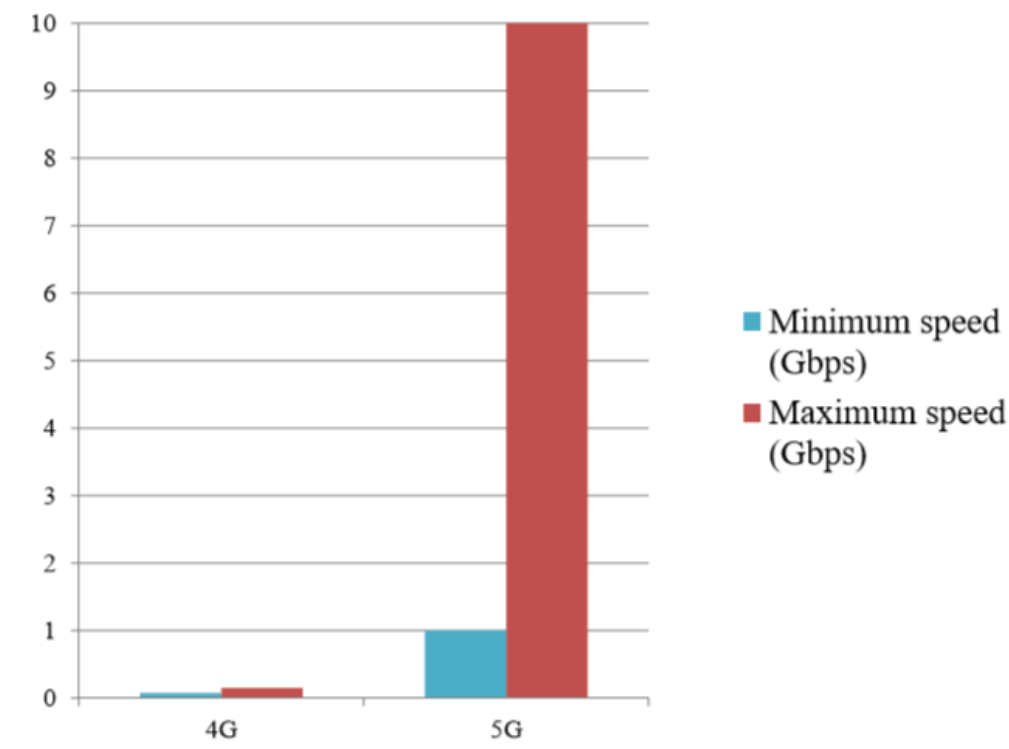
U LTE mreži postoji više alternativa uspostave poziva koje ovise o izvedbi i mogućnostima mreže. Prva alternativa je uspostava poziva korištenjem VoLTE (eng. *Voice over LTE*) koji omogućuje IP prijenos govora u LTE mreži, što znači da se prijenos govora odvija komutacijom paketa u 4G mreži, a koristi se RTP (eng. *Real-time Transport Protocol*) protokol.

Druga alternativa je uspostavljanje poziva preko UMTS mreže, taj vrsta komutacijskog procesa se naziva *LTE to 3G Circuit Switched Fallback* (CSFB) koji prebacuje korisnika u 3G mrežu, a poziv se odvija komutacijom kanala. To se događa kada nema podrške za VoLTE, [7].

## 2.5. 5G TEHNOLOGIJA

Peta generacija mobilnih mreža za sada je budućnost, ali vrlo bliska. 5G ili *LTE of LTE* je već duže vremena u razvoju te se vjeruje da će 5. generacija mobilnih mreža biti jedna od najbržih i najjačih tehnologija.

To znači manju latenciju<sup>6</sup>, učitavanje, izvrsnu pouzdanost mreže, linearnu evoluciju, dostupnost, energetska efikasnost te neusporedivo veće brzine prijenosa, što se može primijetiti iz slike 9.



**Slika 9.** Usporedba brzine prijenosa između 4G i 5G tehnologija, [1]

Kašnjenje u 5G mreži može biti manje od 1 ms, što znači da je kašnjenje gotovo nemoguće otkriti, to će se odraziti i u poslovnom svijetu tako što će učiniti tvrtke učinkovitijima, a korisnicima pružiti pristup do više informacija brže nego ikada prije. Sa svim tim poboljšanjima koje donosi peta generacija mobilnih mreža, te uz IoT (eng. *Internet of Things*), tzv. Internet stvari očekuje se nova industrijska revolucija, te moguće i potreba za prilagodbom drugačijem načinu života, za sada još uvijek teško zamislivom, [8].

<sup>6</sup> Latencija – vrijeme kašnjenja, odn. vrijeme koje protekne od trenutka zahtjeva za podacima do trenutka dok se ti podaci ne pojave.

### 3. QoS PARAMETRI

Kvaliteta usluge, QoS (eng. *Quality of Service*) je skup performansi usluge koje određuju stupanj zadovoljstva korisnika uslugom. QoS je korisnički orijentiran i definira se u točkama pristupa usluzi i mrežnih performansi, NP (eng. *Network Performanse*) koje su orijentirane na unutarnju strukturu mreže te se definiraju na granicama elemenata za povezivanje. To je zapravo sposobnost mreže ili njenog dijela da osigura funkcije povezane s komuniciranjem među korisnicima koje se iskazuju parametrima od značaja operatorima (projektiranje, konfiguriranje, iskorištavanje i održavanje sustava, itd.).

Sa QoS-om je usko povezan GoS (eng. *Grade of Service*), tj. razina usluge za koju se može definirati da je sposobnost dijelova mreže da osigura funkcije koje se odnose na komunikaciju između korisnika, na razinu usluge utječu varijable kao što su vjerojatnost blokiranja, vjerojatnost čekanja i sl. Za GoS se još može reći da predstavlja vjerojatnost da se ne može ispuniti dogovorena razina QoS-a. Ciljevi mrežnih performansi (NP), a posebno razina usluge (GoS) izvedeni su iz zahtjeva kvalitete usluge (QoS), [9].

Osnovni resursi koji su potrebni da bi se osigurao QoS za prometne tokove informacija su kapacitet sučelja da proslijedi promet i raspoloživa memorija da spremi taj promet u mrežnoj opremi. Kvaliteta usluge predstavlja mogućnost dodjeljivanja različitih prioriteta različitim aplikacijama, korisnicima i tokovima podataka. Koji promet će dobiti prioritet u pristupu određenom resursu određuju implementirani mehanizmi u mrežnoj opremi.

To su osnovni mehanizmi za rukovanje prometom koji su implementirani u mrežama koje omogućavaju QoS, sukladno tome QoS omogućuje pružanje prioriteta propusnosti mreže prilikom izbora jednog ili više protoka podataka, zatim kontroli varijacije u latenciji i latencije što je važno za osjetljiviji promet u stvarnom vremenu i interaktivni promet (video i glasovni promet). Glavni cilj QoS-a je da se svi podaci dostave korisniku uz zadovoljavajuću kvalitetu sa što manjim kašnjenjem, a to je omogućeno jer se različite usluge tretiraju na različite načine, pa se glasovnim i video uslugama dodjeljuju prioriteta u prolasku kroz mrežu, odnosno osigurava sigurnu dostavu podataka koji zahtijevaju veliku točnost. QoS također sprječava ulazak

neželjenog prometa u mrežu (razni virusi, *malware*-i<sup>7</sup> i sl.) zaštitama kao što je vatrozid (eng. *firewall*) koji filtrira komunikacijski promet ostvarujući barijeru između povjerljive i sigurne mreže, te druge mreže za koju se pretpostavlja da nije sigurna, [10], [11].

Kod pojma kvalitete usluge važna je i QoS komutacija, to je način pronalaženja optimalne rute koja može garantirati traženu razinu QoS-a temeljem informacija o dostupnosti mrežnih resursa. Npr. ako neki zahtjev za uslugom treba konstantnu brzinu linka 1 Mbps, mreža može odgovoriti na postavljeni zahtjev ukoliko je u trenutku zahtjeva dozvoljeno više od 1 Mbps. To se odnosi na cjelokupnu mrežu, što znači da ako zahtjev mora ići rutom koja se sastoji od nekoliko linkova, zahtijevani kapacitet na svakom od tih linkova ne smije biti manji od 1 Mbps.

Za QoS komutaciju koriste se razni protokoli, neki od tih su:

- QOSPF (eng. *QoS Open Shortest Path First*)
- ATM PNNI (eng. *Asynchronous Transfer Mode Private Network-to-Network Interface*)
- MPLS (eng. *Multiprotocol Label Switching*)
- RSVP-TE (eng. *Resource ReSerVation Protocol with Traffic Engineering Extension*)
- GMPLS (eng. *Generalized MPLS*)

Najpoznatiji i najrašireniji od tih je MPLS koji je implementiran zbog smanjenja vremena pretraživanja IP adresa, lakše ih pretražuje na način da proširuje CIDR (eng. *Classless Interdomain Routing*) adrese (besklasno adresiranje koje koristi mrežni prefiks uz varijabilnu mrežnu masku) pomoću *subnetiranja*<sup>8</sup>. Koristi se isključivo u mrežama s komutacijom paketa, a usmjeravanje obavlja na temelju oznaka koje se umeću između zaglavlja podatkovnog i mrežnog sloja, na kojem i djeluje (2.5 Layer), [12].

Razvojem novih usluga pred današnje telekomunikacije se postavljaju zahtjevi za zadovoljavanjem QoS-a, davatelji usluga tu određenu razinu zahtjeva mogu garantirati svojim pretplatnicima ugovorom o kvaliteti usluge između korisnika i

---

<sup>7</sup> *Malware* - zlonamjerni *software* implementirani tako da se neprimjetno ubace u računalo te naprave neku vrstu štete, npr. trojanski konj, crv, špijunski ili ucjenjivački *software*.

<sup>8</sup> *Subnet* maska ili podmreža – predstavlja manju mrežu unutar neke veće mreže, koristi se za bolju kontrolu mrežnog prometa.

mrežnog operatora/davatelja usluge, SLA (eng. *Service Level Agreement*). To je ugovor samo za velike korisnike gdje je definirano točno značenje parametara koji su razumljivi i korisniku i mrežnom operatoru, osim parametara definirano je i što se dogodi u slučaju nepoštivanja odredbi ugovora.

Kod specifikacija komutacijskih potreba najvažniji korisnički zahtjevi su funkcionalnost, raspoloživost, kvaliteta, cijene TK usluga i sl., takvi zahtjevi se opisuju značajkama koje predstavljaju parametre. Konkretno mjere parametara pobliže opisuju razinu usluge koja najviše ovisi o njima, stoga se lako može zaključiti da su parametri kvalitete usluge su najvažnija specifikacija koja može opisati tu uslugu.

Osnovne vrste QoS parametara su:

- Propusnost (eng. *Throughput*) – propusna sposobnost, odnosno realna maksimalna brzina prijenosa koja ovisi o udaljenosti, zagušenju mreže, kvaliteti prijenosnog medija i sl. Izražava efektivnu brzinu prijenosa podataka brojem prenesenih bita po sekundi, te je znatno manja vrijednost nego *Bandwidth*. Nedovoljna propusnost utječe na povećanje kašnjenja u prijenosu.
- Gubitak paketa (eng. *Packet loss*) – događa se za vrijeme prijenosa paketa kroz mrežu od izvorišta do odredišta te nastaje kada dođe do prepunjivanja spremnika u čvorovima paketne mreže (ruterima) kao posljedica čekanja paketa u redovima za usmjeravanje (rutiranje). Kao dodatni razlozi gubljenja paketa mogu se javiti greška u prijenosu (paket je izgubljen i odredište ga ne prepoznaje pa ga mora odbaciti), greška u zaglavlju paketa (ruter ne zna kamo usmjeriti paket, rješenje je TTL<sup>9</sup>), te preveliko kašnjenje paketa (za neke aplikacije, ako paket kasni prekomjerno isto kao da je izgubljen).
- Kašnjenje (eng. *Latency, Delay*) – vrijeme potrebno paketu da dođe od izvorišta do odredišta. Na kašnjenje utječu razni čimbenici kao što su npr. kašnjenje zbog kodiranja i dekodiranja, komprimiranja i dekomprimiranja, paketizacije i depaketizacije, kašnjenje zbog prijenosa na linku, propagacije, usmjeravanja u čvorovima, te čekanja u međuspremnicima rutera (*buffer-u*). Neke komponente kašnjenja su fiksne, a neke varijabilne i ovise o trenutnom

---

<sup>9</sup> TTL (eng. *Time-to-live*) – životni vijek paketa, obično u broju Hop-ova između čvorova prije nego se odbaci.

stanju u mreži (opterećenje čvorova, duljina paketa, performanse mrežnih elemenata) koje je teško predvidjeti.

- Varijacija kašnjenja, kolebanje kašnjenja (eng. *Jitter*) – razlika u kašnjenju između dva paketa iste sesije. Razlika pojma *jitter* od pojma varijacije kašnjenja je u tome što je varijacija kašnjenja mjera koja govori o tome koliko je varijacija uočeno u promatranom vremenskom razdoblju i nastaje zbog varijacija u međudolaznim vremenima paketa, te je neosjetljiva na frekvenciju slanja paketa i mjere kratkoročne i dugoročne varijacije. *Jitter* mjeri te varijacije kašnjenja između uzastopnih paketa iste sesije, ovisi o frekvenciji kojom se paketi šalju, te se fokusira isključivo na kratkoročne efekte. *Jitter* je prvenstveno uzrokovan razlikama u čekanjima u redu za susjedne pakete kao i prolaskom paketa različitim putovima i čvorištima, [9].



**Slika 10.** Utjecaj parametara na kvalitetu usluge, [9]

Slika 10 opisuje razliku između parametara QoS-a, te ih dodatno pojašnjava. Iz slike je vidljivo da će kod kašnjenja B strana čuti izvornu poruku, ali sa zakašnjenjem. *Jitter* ima tzv. „rupe“ u prijenosu koji ne teče glatko, ali će B strana također čuti izvornu poruku. Kod gubitka paketa B strana neće čuti sve što je A strana rekla, te će se na nekim mjestima jednostavno pojaviti tišina.

### 3.1. OSTALI PARAMETRI KOJI UTJEČU NA QoS

Uz navedene osnovne parametre koji utječu na QoS, postoji još nekolicina vrlo bitnih značajki/parametara koje su vrlo važne za definiranje kvalitete usluge, to su:

- Širina pojasa (eng. *Bandwidth*) – mjera za kapacitet analognog (Hz) i digitalnog (bit/s) kanala, odnosi se na dostupni frekvencijski pojas za prijenos informacija, te je usko povezan sa *throughput*-om, iako je puno veća mjera od njega. Za *bandwidth* se može reći da je to teoretski maksimalna brzina prijenosa informacija kroz mrežu.
- Pristup mreži (eng. *Accessibility*) – stupanj dostupnosti opremi ili usluzi, npr. 70% teritorija je pokriveno „xy“ mrežom, 60% korisnika je pokriveno „xy“ mrežom, ali samo 50% korisnika ima pristup „xy“ usluzi.
- BER (eng. *Bit error rate*) – omjer broja pogrešno prenesenih bitova u odnosu na ukupan broj prenesenih bitova u nekom vremenskom periodu, nema mjernu jedinicu, ali često se prikazuje u obliku postotka. Na BER utječu šum prijenosnog kanala, interferencija, problemi sa sinkronizacijom bitova, gubitak signala i sl.
- Vjerojatnost blokiranja poziva ( $p_b$ ) - blokirani poziv je poziv koji nije poslužen odmah, tj. preusmjeren je na drugi link, stavljen u red na čekanje ili je dobio ton zauzeća. Blokirani pozivi dovode do razlika u prometnom opterećenju, a razlikuju se osnovni tipovi blokiranih poziva:
  - Blokiranje poziva uz zadržavanje – oni pozivi koji su izgubljeni i ne vraćaju se ponovno u sustav
  - Blokiranje poziva s odbijanjem – u slučaju da novi poziv dolazi u sustav u kome su svi poslužitelji zauzeti, na putu od izvorišta do odredišta on će biti odbijen
  - Blokiranje s čekanjem – ti blokirani pozivi ostaju u sustavu dok resursi ne postanu raspoloživi za posluživanje poziva
  - Blokiranje poziva s ponovnim pokušajem – određen postotak poziva kada naiđe na zauzete poslužitelje ponovno pokuša uspostaviti poziv sve dok ne bude poslužen.
- Raspoloživost (eng. *Availability*) – dostupnost odnosno vjerojatnost da je sustav/usluga dostupna kada je to korisniku potrebno, i još mnogi drugi, [9], [13].

## 3.2. OSNOVNI MEHANIZMI QoS-a

Kako bi se zadovoljila kvaliteta usluge u što većem postotku, ona pruža mogućnost dodjeljivanja različitih prioriteta različitim aplikacijama, korisnicima i tokovima podataka. Mehanizmi implementirani u mrežnoj opremi određuju koji promet će dobiti prioritet u pristupu određenom resursu, takvi mehanizmi su osnovni mehanizmi za rukovanje mrežama koje omogućavaju visoku kvalitetu usluge u paketnim mrežama. QoS mehanizmi pružaju mogućnosti kao što su kontrola resursa, efikasnije korištenje mrežnih resursa, upravljanje zagušenjem, itd. Postoje tri osnovna mehanizma QoS-a, a to su:

- *Best Effort Service* – paketi se usmjeravaju redosljedom kojim su došli, tj. pretpostavlja se da ni jedna dva paketa nisu povezana stoga se u tom trenutku usmjeravaju na link koji se čini najpogodnijim. Osigurava pouzdanu dostavu podatkovnih usluga.
- Integralne usluge (*Int-serv*) – omogućava funkcionalnosti usluga koje su stvarno-vremenske, interaktivne i koje mogu tolerirati određeni gubitak. Svaka konekcija zahtjeva prethodno definiran kapacitet i određenu rutu, ali jednom kada kontrola pristupa omogući toku ulazak u mrežu bit će mu dodijeljen zahtijevani kapacitet i bit će mu osigurane vrijednosti parametara kvalitete. Upotrebljava RSVP protokol (eng. *Resource Reservation Protocol*) koji se koristi za rezervaciju resursa za pojedini tok ili za višestruke tokove paketa.
- Diferencijalne usluge (*Diff-serv*) – omogućuju prioritizirane uslužne mehanizme bez saznanja o razini veze. Prioritizacija određenih paketa sa oznakama, kodovima koji se označavaju sa bitnim poljem u IPv4 zaglavlju. DiffServ modeli se temelje na pretpostavci da je Internet skup neovisnih mreža koje su upravljane od jednog ISP-a (eng. *Internet Service Provider*) davatelja usluge, a glavni cilj razvoja ovog modela je osiguranje QoS-a za korisnike mreže.

Algoritmi posluživanja zahtjeva mogu biti slučajni, sa prioritetom, FIFO (eng. *First In First Out*) ili FCFS (eng. *First Come First Serve*), LIFO (eng. *Last In First Out*) i mnogi drugi, [9].



## 4. QoS ZAHTJEVI APLIKACIJA

Poznato je kako se putem interneta upotrebljavaju različite aplikacije koje zahtijevaju različite mrežne parametre i koje imaju određene zahtjeve za kvalitetom usluge, kako bi usluga bila zadovoljavajuća za korisnika. Neke od njih zahtijevaju mali postotak gubitaka paketa, neke veliku propusnost mreže, a neke malo kašnjenje. Također, pojedine aplikacije osjetljive su na neke parametre, dok na neke mogu imati veću toleranciju od ostalih, ovisi o tipu aplikacije, njezinoj svrsi te informacijama koje ona prenosi.

**Tablica 1.** Prikaz zahtijevane kvalitete usluge prometnog toka na navedene usluge

<i>Usluga</i>	<i>Pouzdanost prijenosa</i>	<i>Osjetljivost na kašnjenje</i>	<i>Osjetljivost na smetnje</i>	<i>Zahtijevana propusnost veze</i>
<i>Elektronička pošta</i>	Visoka	Niska	Niska	Niska
<i>Prijenos podataka</i>	Visoka	Niska	Niska	Srednja
<i>Pristup internetu</i>	Visoka	Srednja	Niska	Srednja
<i>Udaljeni pristup</i>	Visoka	Srednja	Srednja	Niska
<i>Audio sadržaj na zahtjev</i>	Niska	Niska	Visoka	Srednja
<i>Video sadržaj na zahtjev</i>	Niska	Niska	Visoka	Visoka
<i>Telefonija</i>	Niska	Visoka	Visoka	Niska
<i>Videokonferencija</i>	Niska	Visoka	Visoka	Visoka

Izvor: [13]

Iz tablice 1 su vidljivi okvirni zahtjevi kvalitete usluge koji se predstavljaju za pojedinu uslugu, odnosno aplikaciju, ovo su minimalni zahtjevi koje operator mora pružiti korisniku kako bi usluga mogla biti zadovoljavajuća za korisnika.

**Tablica 2.** Zahtjevi konkretnih usluga na parametre QoS-a

<b>APLIKACIJA</b>	<b>QoS ZAHTJEVI</b>		
	<b>Kašnjenje</b>	<b>Jitter</b>	<b>Gubitak paketa</b>
<b>VoIP</b>	Malo	Mali	Srednje
<b>Videokonferencija</b>	Malo	Mali	Srednje
<b>Audio/Video streaming</b>	Srednje	Srednje	Srednje
<b>Poslovni podaci</b>	Srednje	Varijabilno	Malo
<b>e-mail</b>	Veliko	Veliko	Malo
<b>Prijenos datoteka</b>	Veliko	Veliko	Malo

Izvor: [9]

Iz tablice 2 su vidljivi zahtjevi QoS-a za neke najčešće korištene aplikacije na Internetu, te se da zaključiti koliko neke aplikacije podnose kašnjenje, *jitter* i gubitak paketa. Te vrijednosti se daju izmjeriti pojedinim alatima kao npr.:

- *NetQoS Performance Center*
- *Cisco Service Assurance Agent*
- *NetMeter (Hoo Technologies)*
- *Wireshark*
- *Cisco Packet Tracer*.

Tim alatima je moguće izmjeriti:

- brzina prijenosa podataka od poslužitelja prema korisnikovom računalu (*download*) i obrnuto (*upload*),
- dostupnost korisnikovog računala i put od poslužitelja do korisnikovog računala,
- RTT, to je vrijeme potrebno paketu da se prenese sa jedne lokacije na drugu i natrag, moguće ga je izmjeriti naredbom „*ping*“,
- Mogućnost primanja multicast<sup>10</sup> prometa, i sl., [13].

<sup>10</sup> Multicast - istovremeno dijeljenje istog sadržaja, izbjegavajući na taj način preopterećenje mreže i poslužitelja sadržajima.

## 4.1. PODATKOVNE APLIKACIJE

Podatkovne aplikacije su najstarije aplikacije od svih te ih i ima najviše, one predstavljaju klasične internetske usluge kao što su elektronička pošta, prijenos podataka ili pretraživanje raznih informacija gdje je glavni način korištenja WWW (eng. *World Wide Web*), način korištenja interneta koji pretražuje sve oblike informacija te koristi HTTP (eng. *Hyper Text Transfer Protocol*) protokol. Aplikacije omogućuju korisnicima prijenos datoteka, dokumenata, slika kroz mrežu, stvaranje elektroničkih poruka te njihovo pregledavanje i pohranjivanje, ovisno o potrebama korisnika.

Također, omogućeno je pretraživanje raznih informacija i podataka u raznim oblicima (tekstualni, slike, video/audio format), kao i objavljivanje istih. Svi podaci se nalaze pohranjeni na mreži te im se može pristupiti u bilo kojem trenutku i od više korisnika istovremeno, naravno uz preduvjet dostupnosti pristupa na mrežu.

Podatkovne aplikacije su orijentirane na točnost informacija koje pristižu korisniku te je za ovu uslugu najbitnije da podaci stignu do odredišta, stoga kod podatkovnih usluga, odnosno kod prijenosa tekstova, brojeva i sl. tolerancija na gubitke paketa je vrlo mala. Velika tolerancija postoji na kašnjenje paketa kao i na varijacije kašnjenja. Glavni razlog je što takvi podaci nisu uvijek odmah potrebni niti će kašnjenje od nekoliko milisekundi ili sekundi bitnije utjecati na krajnji ishod. Ukoliko dođe do velikog kašnjenja paketa, te ako paket zbog toga bude odbačen, zahvaljujući TCP (eng. *Transmission Control Protocol*) protokolu koji služi za nadzor prijenosa, tražit će se retransmisija paketa i paket će biti ponovno poslan te neće utjecati na kvalitetu usluge, [14].

Kod ovih aplikacija propusnost varira ovisno o usluzi i njezinoj namjeni. Ukoliko se kod nekih usluga dogodi greška, odnosno gubitak paketa (e-mail, web pretraživanje, internet bankarstvo itd.) to može imati velike posljedice. Dakle, kod prijenosa ove vrste usluga najbitniji faktor je pouzdanost te kvaliteta usluge ponajviše ovisi o tome.

## 4.2. GLASOVNE APLIKACIJE

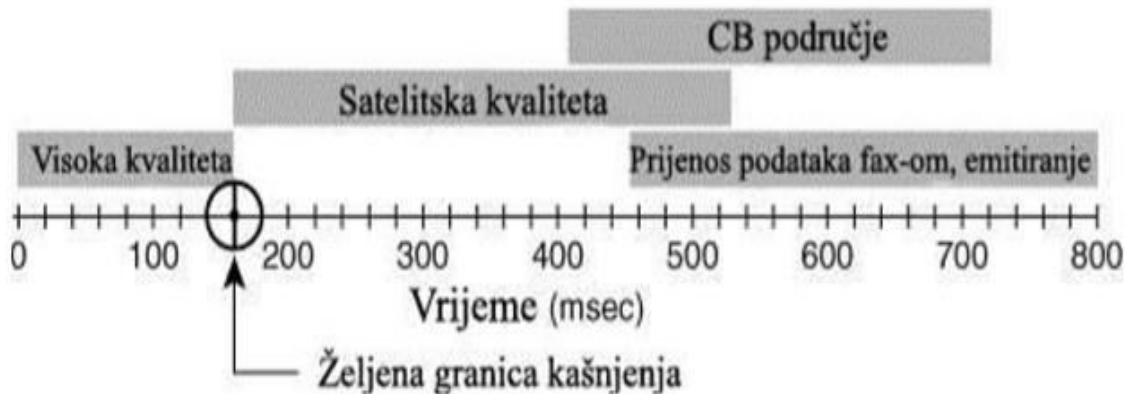
Za glasovne usluge najviše se koristi javna telefonska mreža, PSTN temeljena na komutaciji kanala, ali je u novije vrijeme razvijena tehnologija koja omogućava prijenos govora pomoću paketa IP mreže, koristeći *Internet Protocol*. Temelji se na komutaciji paketa stoga je moguća na svim mrežama koje prenose podatke tim oblikom i koje koriste IP, npr. Internet, LAN (eng. *Local Area Network*), itd., naravno riječ je o VoIP-u (eng. *Voice over Internet Protocol*), oblik IP telefonije. Glavna prednost VoIP-a nad PSTN-om je smanjena potreba za kapacitetom pošto se komutacijom paketa trenutci tišine između sugovornika ne prenose, za razliku od komutacije kanala.

IP telefonija ne znači nužno samo prijenos glasa preko interneta, postoji mogućnost prijenosa slike i glasa istovremeno, ali VoIP je onaj dio koji prenosi glas. Govor se komprimira, potom se upakira u IP pakete koji se prenose dalje preko IP mreže zajedno sa ostalim IP prometom. Kada razina jačine govora padne ispod određene granice prepoznaju se trenuci tišine, te se ne prenose informacije i ne zauzimaju se kapaciteti prijenosnih puteva. VoIP je tehnologija sadašnjosti i budućnosti jer ostvaruje sve tehničke preduvjete za razvijanje novih rješenja, pogotovo poslovnih uz velike financijske uštede, on je svakako najveći predstavnik glasovnih aplikacija u višeuslužnim mrežama.

Za razliku od podatkovnih aplikacija gdje je najvažnija sigurna dostava paketa za zadovoljavanje kvalitete usluge, kod glasovnih aplikacija, tj. VoIP-a na kvalitetu usluge najviše utječe kašnjenje, širina prijenosnog pojasa, koja mora biti veća nego kod podatkovnih aplikacija i ostali parametri. VoIP koristi UDP (eng. *User Datagram Protocol*) protokol, to je protokol korisničkih datagrama, koristi se u *Real time-u* (stvarnom vremenu), te ne osigurava pouzdan prijenos paketa. Upravo zbog nemoguće retransmisije dolazi do gubitka paketa što znači „pucketanje“ u govornom toku te znatno lošiji audio efekt ukoliko se paketi gube jedan za drugim u snopu. Može uzrokovati gubitak većeg dijela korisničke informacije ili dovesti do izobličenja što uzrokuje lošu kvalitetu, gubitak većeg broja paketa može dovesti i do prekida poziva. Prema ITU-T (eng. *International Telecommunication Union*) preporuci G.729 gubitak paketa u VoIP-u ne bi trebao biti iznad 1% da bi se izbjegle greške, [15].

Kašnjenje također može uzrokovati degradaciju kvalitete glasa jer se radi o *real-time* aplikaciji koje su izrazito osjetljive na kašnjenje. Ako je kašnjenje veće od 100 ms

razgovori su teško razumljivi, a ako je kašnjenje veće od 200 ms kvaliteta usluge postaje neprihvatljiva. ITU-T prema svojoj preporuci G.114 dozvoljava maksimalno kašnjenje do 150 ms u jednom smjeru, odnosno 300 ms između dva pristupnika. Za međunarodne pozive prihvatljivo je kašnjenje od 300 ms, pogotovo ako se radi o satelitskom prijenosu, [16].



**Slika 11.** Granice kašnjenja prema ITU-T, [15]

VoIP ne trpi niti velike razlike u kašnjenju, upravo razlike u vremenu dolazaka paketa na odredište mogu rezultirati kratkim prekidima u komunikaciji. Dimenzioniraju se spremnici varijacije kašnjenja, čija je uloga njihovo izravnavanje jer se glas mora isporučiti konstantnom brzinom. Kolebanje kašnjenja ne bi trebalo biti veće od 60 ms.

Također, ukoliko se dodijeli premala širina prijenosnog pojasa za prijenos govora dolazi do ozbiljnih gubitaka kvalitete. Da bi se to spriječilo, govoru i signalizaciji u mreži se daju prioriteta u odnosu nad ostalim prometom.

### 4.3. VIDEO APLIKACIJE

Video je skup pokretnih slika i zvuka, video usluge služe upravo za omogućavanje takvog prijenosa podataka. Jedna od najvažnijih značajki video usluga je propusnost mreže odnosno njezinih dijelova kako ne bi došlo do zagušenja što vodi gubitku paketa. Većina proizvoda ovih usluga zahtijeva varijabilne brzine prijenosa kojom korisnik ostvaruje pristup mreži. Postoji više vrsta video usluga čiji parametri

moraju biti zadovoljeni kako bi se ostvario kvalitetan video sadržaj, te usluge se mogu podijeliti u tri skupine:

- Video na zahtjev, VoD (eng. *Video on Demand*)
- Prijenos videa strujanjem (eng. *Video streaming*)
- Videotelefonija i videokonferencija.

VoD je interaktivna TV tehnologija koja uključuje gledanje i preuzimanje multimedijских sadržaja, te kasnije pregledavanje istog. Korisnik sam pretražuje i bira sadržaj koji želi gledati (filmovi, emisije i sl.). Kod ovog načina prijenosa važna značajka je zahtijevanje kapaciteta za dvosmjerni prijenos, širina prijenosnog kanala može biti manja za razliku od ostale dvije vrste iz razloga što je moguć prijenos određenog broja paketa, odnosno dijela videa, filma. To znači da kada se stvori određena zaliha paketa, dok se oni reproduciraju mrežom se prenose novi paketi. Zaliha paketa treba biti dovoljna da se cijelo vrijeme ima što prikazati na ekranu, tj. da raspoloživi dotok novih paketa bude veći od potrošnje sadržaja. Kod ove usluge kašnjenje (koje može biti i do nekoliko sekundi), varijacija kašnjenja kao i gubitak paketa nemaju veliki utjecaj na kvalitetu.

Kod *video streaminga* za uspješan prijenos sadržaja neophodno je da veza ima zahtijevanu širinu prijenosnog pojasa. Koristi se UDP protokol što znači da ne postoji mogućnost retransmisije paketa, čiji gubitak znatno utječe na kvalitetu slike i ne bi trebao biti veći od 1%. Kašnjenje također bitno utječe na kvalitetu te ne bi trebalo biti veće od 10 s, prema preporukama ITU-T. Za varijaciju kašnjenja nema definiranih zahtjeva zbog toga što se paketi spremaju u međuspremnik.

Videokonferencija omogućava da se međusobno udaljeni korisnici mogu vidjeti i čuti stoga se zahtjeva izrazito velika propusnost veze, ukoliko ona nije dovoljna smanjuje se broj snimki u sekundi, a čak i ako se snimka zaustavi potrebno je sačuvati prijenos zvuka. U ovom načinu prijenosa paketa koristi se UDP protokol iz razloga što je brzina pristizanja paketa važnije nego njihova točnost, kao to je ranije navedeno ovaj protokol nema mogućnost retransmisije paketa te je njihov gubitak u ovom načinu prijenosa čest zbog male propusnosti, iako njihov gubitak ne bi trebao biti veći od 1%. Dozvoljeno je maksimalno kašnjenje od 150 ms u jednom smjeru, slično kao i kod VoIP-a. Varijacija kašnjenja nije definirana za ovu uslugu, [17].

## 5. MOBILNOST KORISNIKA

U mobilnom ćelijskom sustavu mogu se definirati dvije vrste/klase poziva, koje su na razmatranju. Na vjerojatnost blokiranja tih poziva, inicijalnih ( $p_v$ ) i *handover* ( $p_h$ ) utječe ukupan broj kanala unutar ćelije ( $M$ ), broj kanala unutar ćelije za koje se natječu inicijalni pozivi ( $n$ ), te promet inicijalnih ( $A_p$ ) i promet *handover* ( $A_h$ ) poziva, izražen u Erlangu (Erl), [4].

### 5.1. INICIJALNI POZIVI

Inicijalni pozivi, IA (eng. *Initial Access*) su pozivi koji se odvijaju unutar jedne ćelije, to je poziv koji započinje na području jedne ćelije, odvija se u njoj, te se završava u njoj, riječ je naravno o jednoj strani sudionika poziva – korisniku. Inicijalni pozivi se na području te ćelije natječu s *handover* pozivima koji imaju veći prioritet zbog njihove već uspostavljene konekcije, oni se zapravo premještaju u tu ćeliju te u njoj nastavljaju razgovor koji su već započeli u nekoj drugoj ćeliji. Stoga je manje važna uspostava novog poziva u odnosu na prekidanje starog, iz tog razloga inicijalni pozivi imaju manji prioritet te se natječu za manji broj kanala u ćeliji. Inicijalni poziv će biti blokiran (odbijen) kada su zauzeti svi kanali u ćeliji za koje se oni natječu, [9].

### 5.2. HANDOVER POZIVI

*Handover* poziv, HO je poziv koji se prespaja s jedne bazne stanice na drugu, uzrok tog prespajanja je kretanje korisnika koji mijenja područje ćelije (bazne stanice) koja pokriva to područje. Da bi se izbjegao gubitak/prekid takvog poziva koji prelazi iz ćelije u ćeliju, može se definirati da je to poziv sa višim prioritetom što znači dostupnost većem broju kanala, ima pravo „natjecanja“ za sve slobodne kanale u ćeliji, za razliku od inicijalnog poziva manjeg prioriteta, čiji je broj kanala za koji se mogu „natjecati“ ograničen, kao što je vidljivo na slici 12 u nastavku.



**Slika 12.** Prikaz višedimenzionalnog prometnog modela ćelije, [4]

Preuzimanje *handover* poziva je važna funkcija upravljanja mobilnosti, a potrebno je:

- Kada se uređaj udaljava od područja koje pokriva jedna ćelija i ulazi u područje pokrivenosti druge ćelije, te se poziv mora prebaciti kako ne bi prekinuo kada mobilni uređaj napusti područje pokrivenosti prve ćelije
- Kada su svi kanali bazne stanice zauzeti, tada stanica u blizini mora pružiti uslugu uređaju
- Kada se mobilna stanica nalazi na granici ćelije, te je jakost signala od bazne stanice mala
- Kada mobilna stanica ulazi u područje nepokriveno dovoljno jakim signalom.

Uz te uvjete posebno treba razmatrati tzv. prebacivanje između dva sustava, jer poziv može biti započet u ćelijskom mobilnom sustavu jednog operatora te zatim nastavljen u sustavu drugog operatora. Korisnik, dakako ne zamjećuje prelazak iz ćelije u ćeliju, a prebacivanje se određuje u fazama, tri faze prebacivanja poziva su:



- Skupljanje informacija o prebacivanju – prikupljanje svih potrebnih informacija o susjednim mrežama
- Odluka o prebacivanju – pronalaženje prikladne mreže u koju se uređaj može prebaciti, ovisi o određenom algoritmu donošenja odluke
- Izvršavanje prebacivanja – signalizacija o uspostavi nove komunikacije se provodi zajedno sa rutiranjem podataka istim komutacijskim putem, [18].

### **5.2.1. HORIZONTALNO I VERTIKALNO PREUZMANJE POZIVA**

Kod prebacivanje poziva postoji više vrsta i podjela preuzimanja poziva, tako su neke od njih horizontalno preuzimanje poziva koje označava prijenos usluge između istih tehnologija, odnosno odvija se kada se mobilni uređaj kreće od jedne pristupne točke do druge bez promjene tehnologije. Takvo preuzimanje poziva odvija se uglavnom u homogenim okolnostima, što znači unutar iste jezgrene mreže, npr. iz 3G u 3G ili iz 4G u 4G, iz WLAN-a (eng. *Wireless Local Area Network*) u WLAN i sl.

Vertikalno preuzimanje poziva se izvršava u slučaju potrebe ostvarenja usluge između dvije pristupne tehnologije, tj. kada se izvorišno i odredišno područje se razlikuju u pristupnim tehnologijama, npr. iz 3G u 4G, iz WLAN-a u 3G i sl. Vertikalno prebacivanje poziva može biti i posljedica korisnikove potrebe za boljom kvalitetom veze, [4].

### **5.2.2. TVRDO I MEKO PREUZIMANJE POZIVA**

Osim podjele po pristupnim tehnologijama, postoji još jedna podjela preuzimanja poziva, ona na način izvedbe. Primjerice tvrdo preuzimanje poziva koje prije uspostave nove radio veze, uklanja stare radio veze u korisničkoj opremi, odnosno veza izvorišnog područja pokrivenosti se prekida prije uspostave veze sa odredišnim područjem pokrivenosti. Može se izvršiti bez prekida ili sa prekidom usluge, ovisno o tome da li je u stvarnom vremenu (dolazi do kratkog isključenja) ili nije u stvarnom vremenu (ne ostvaruje gubitke). Prednost takvog preuzimanja poziva je smanjenje kompleksnosti, a nedostatak je povećana vjerojatnost gubljenja poziva.

Kod mekog preuzimanja poziva korisnička oprema može biti spojena na više kanala istovremeno. Uređaj održava komunikaciju s oba područja pokrivenosti, odnosno veza s odredišnim područjem se ostvaruje prije prekidanja (i prebacivanja) veze s izvorišnim područjem. Postalo je moguće uvođenjem CDMA tehnike, a prednost je smanjena vjerojatnost izgubljenih poziva.

Postoji još i mekše preuzimanje poziva, princip takvog preuzimanja je isti kao kod mekog preuzimanja, ali se ostvaruje na području istog Node B<sup>11</sup>, samo između različitih sektora te bazne stanice, [4].

---

<sup>11</sup> eNode B – najsloženiji čvor u LTE mreži, bazna stanica, dio je pristupne mreže, a sastoji se od antene, radio modula i digitalnog modula. Jedna od zadaća je osiguravanje QoS-a. (Kod UMTS-a Node B).

## 6. QoS ZA MOBILNE KORISNIKE

Kao što je ranije navedeno u tekstu, mobilnost korisnika s omogućenom kvalitetom usluge je vrlo bitna, sigurnost i pouzdanost rješavanja nekog problema ili vrijeme provedeno zabavnim sadržajem uz zadovoljavajuću kvalitetu izvan okvira svog sigurnog prostora za korisnika je vrlo komforna usluga, moguća u današnje vrijeme. Upravljanje mobilnošću je funkcija koja olakšava rad mobilnim uređajima u mrežama novijih generacija, te pristup i kompletno korištenje njihovih usluga. Održava se veza s uređajem dok se kreće od jedne bazne stanice do druge pružajući mobilne usluge poput poziva, slanja i primanja SMS poruke, pristupa internetu i sl.

Mreže novijih generacija se temelje na IP protokolu i podržavaju heterogene pristupne tehnologije, te su pogodnije za podršku brzo rastućih mobilnih podatkovnih i multimedijских usluga. IP tehnologije pružaju bolje rješenje integriranja s Internetom kako bi se korisnicima pružio bolji pristup informacijama, uslugama i aplikacijama preko Interneta. Osnovni zahtjevi za upravljanje mobilnošću takvih mreža uključuju podršku svih vrsta mobilnosti, onih koje se odvijaju u stvarnom vremenu i onih koje se ne odvijaju u stvarnom vremenu, podršku za korisnike koji se kreću između heterogenih bežičnih mreža, podršku aplikacijske sesije bez prekida dok se korisnik kreće i sl., bitno je da korisnici imaju istu razinu mobilnosti preko pristupnih tehnologija, [19].

### 6.1. MJERENJE KVALITETE USLUGE

Svakom korisniku najvažnija je kvaliteta primljene usluge, o kojoj god usluzi da je riječ, bila ona podatkovna, glasovna ili video usluga. Korisnik ne može znati koliko se paketa izgubilo tijekom prijenosa, postoji li kašnjenje te koliko je ako postoji, kolikom se širinom pojasa prenosila informacija. Korisnik može primijetiti ukoliko dođe do većeg odstupanja prihvatljive razine kvalitete usluge, ali ne može znati točne podatke koliko je to odstupanje. Stoga postoje dvije metode mjerenja, subjektivna metoda mjerenja kvalitete usluge i objektivna metoda mjerenja kvalitete usluge. Mjerenje kvalitete usluge neophodno je za davatelja usluge koji pruža usluge i operatora koji je odgovoran za funkcioniranje mreže, kako bi mogao održavati mrežu i na vrijeme uočiti

ukoliko dođe do kakvih pogrešaka, te ih spriječiti. Operator ima uvid u stanje mreže i posjeduje alate koji mu to omogućuju.

Kod podatkovnih usluga se ne koriste metode mjerenja kvalitete iz razloga što je za takve podatke najvažnija sigurnost i točnost informacija koje su omogućene pomoću mehanizama QoS-a, te je na taj način zadovoljena kvaliteta podatkovnih usluga.

### **6.1.1. SUBJEKTIVNA METODA MJERENJA KVALITETE USLUGE**

Kod subjektivne metode određenom broju korisnika pušta se zvuk ili video kroz određeno vrijeme, nakon kojega korisnik daje ocjenu kvalitete s kojom je bio zadovoljan. Rezultati subjektivne metode mjerenja temelje se na subjektivnom osjećaju ispitanika. Slika ili zvuk se korisniku puštaju pod različitim uvjetima u kojima se nalazi mreža, te različitim stanjima okoline u kojoj se nalazi ispitanik. Tom metodom želi se ispitati kako različite usluge djeluju u različitim situacijama, tj. kakva im je kvaliteta usluge pri različitim scenarijima koji se događaju u mreži.

Postoje razne vrste mjerenja subjektivnom metodom, najpoznatija subjektivna metoda za mjerenje zvuka je MOS (eng. *Mean Opinion Score*), a za mjerenje videa najpouzdanija metoda je DSCQS (eng. *Double Stimulus Continuos Quality Scale*), [20].

### **6.1.2. OBJEKTIVNA METODA MJERENJA KVALITETE USLUGE**

Objektivna metoda mjerenja kvalitete usluge uključuje mjerenje fizičkih osobina mreže, tu spadaju postotak izgubljenih paketa, vrijeme kašnjenja, varijacija kašnjenja, te potrebna propusnost za određeni tip usluge. Kod objektivne metode koriste se razni programi i algoritmi i ne može se vidjeti razina zadovoljstva korisnika, ali se mogu vidjeti razlozi zbog kojih dolazi do lošije kvalitete. Pomoću ove metode moguće je izračunati parametre QoS-a te se ona koristi u svrhu napretka, dizajniranja i upravljanja mrežom.

Objektivna metoda, algoritam, standard za mjerenje kvalitete zvuka naziva se PESQ (eng. *Perceptual Evaluation of Speech Quality*), a postupak određivanja kvalitete videa je PSNR (eng. *Peak Signal to Noise Ratio*), [21].

## 6.2. UTJECAJ NA ZADOVOLJSTVO KORISNIKA

Mobilnost korisnika je nezamjenjiva usluga koja pruža komfor i sigurnost u svoj rad izvan kuće, posla i sl., te od strane operatora postoje resursi za pružanje takve usluge korisnicima. Potrebno je osigurati korisnicima da se kreću u prostoru, s područja na područje, omogućujući mu da ne mora biti vezan za jedno mjesto prilikom obavljanja svoje željene usluge na mobilnim uređajima, bilo to telefoniranje ili *online* pristup aplikacijama.

1G tehnologija je bila analogna mreža koja je omogućavala samo prijenos govora, nedugo nakon nje razvijena je digitalna 2G mreža koja je uz prijenos govora osiguravala i mobilni pristup internetu. Idući korak je 2.5G kod koje se pojavio prijenos komutacijom paketa, koji u potpunosti oživljava razvojem 3G mreže. 3G mrežom omogućene su veće brzine prijenosa i bolja pokrivenost, što dovodi do bržeg pristupa informacijama neovisno o lokaciji i vremenu, na taj način UMTS ima osigurane mehanizme za kvalitetu usluge.

Zbog velikog razvoja govornih i podatkovnih aplikacija u mobilnim tehnologijama povećali su se korisnički zahtjevi što dovodi do toga da svaka nova aplikacija i usluga ima potrebu za boljim mrežnim performansama. Upravo iz tog razloga je razvijena 4G mobilna mreža čiji se prijenos temelji na IP-u, te donosi puno bolja iskustva. Osim znatno većih brzina prijenosa 4G tehnologija korisnicima pruža mogućnost kvalitetnijeg i količinski većeg bežičnog prijenosa podataka, širokopojasni pristup internetu, kao i brže pristupe *online* aplikacijama neovisno o lokaciji korisnika, sve dok mobilni uređaj ima pristup mreži.

Iako je kvaliteta usluge dovedena na zadovoljavajuću razinu povećanjem brzina prijenosa povećao se i promet, a time i korisnički zahtjevi za aplikacijama i uslugama, što u budućnosti dovodi do razvoja još brže mreže sa boljim performansama, 5G tehnologije, [22], [23].

Mobilnost ima značajan utjecaj na QoS, a to predstavlja veliki izazov za operatore jer je preuzimanje *handover* poziva iz ćelije u ćeliju vrlo težak postupak koji može dovesti do pogoršanja performansi aplikacija te čak do prekida isporuke usluge. U proces su uključeni razni mrežni elementi koji utječu i na kompleksnost procedura, ovisno o vrsti preuzimanja poziva. Preuzimanje poziva omogućava komunikaciju tijekom korisnikovog kretanja mrežom, ali značajno povećava signalizaciju u mreži.

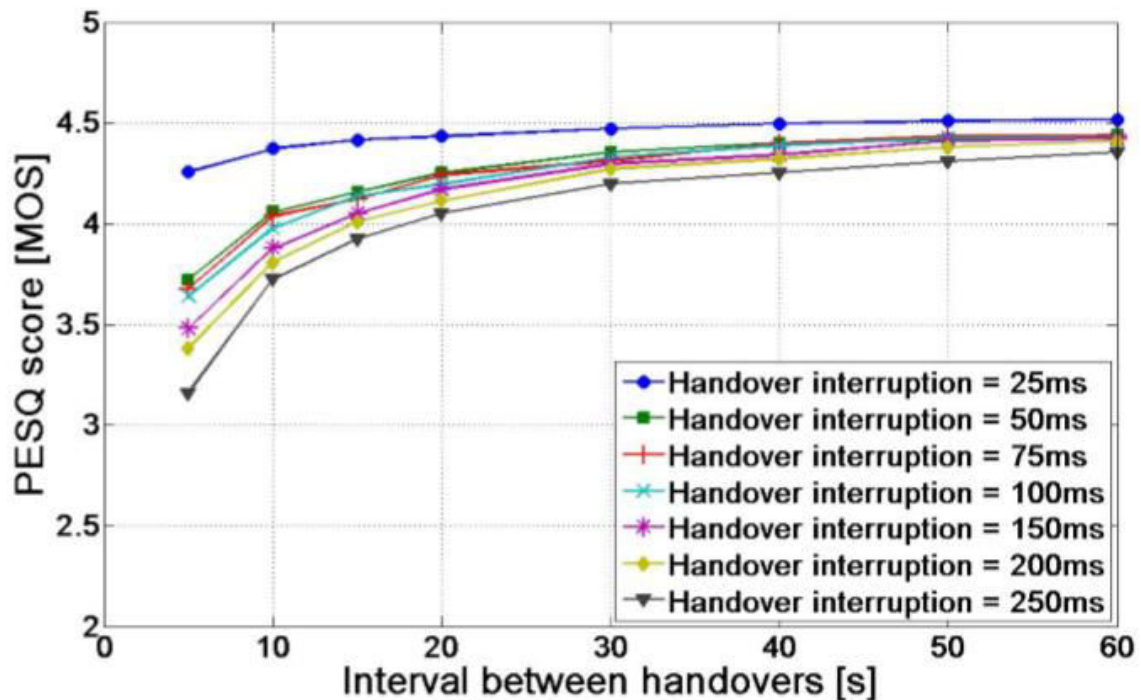
Ukoliko postoji veći broj preuzimanja, vjerojatnost degradacije usluge postaje veća. Kretanje korisničke opreme (korisnika) mrežom, može doživjeti različite smetnje te se može dogoditi da susjedna stanica predstavlja bolje uvjete od trenutne ćelije.

Proces preuzimanja poziva ne smije prekidati uslugu te mora biti brz i efikasan neovisno o tehnologiji koju koriste ćelije, što vrijedi i za vertikalno preuzimanje poziva (4G/3G/2G), također je bitno da proces ne utječe previše na pražnjenje baterije korisničke opreme. Osim toga, određene aplikacije imaju svoja ograničenja (navedeno u poglavlju 4.) koja se moraju zadovoljiti u bilo kojoj mreži kako bi se osigurala kvaliteta usluge.

U UMTS i LTE mrežama za preuzimanje poziva koristi se hibridni pristup, što znači da korisnička oprema pomaže u odluci mjerenjem susjednih ćelija te slanjem izvještaja o mjerenju mreži. Mreža tada odlučuje o trenutku kada će obaviti prospajanje između dvije ćelije. Tijekom procesa preuzimanja poziva šalju se korisničke informacije o lokaciji, vremenskoj zoni, te podaci koji su potrebni za naplatu, što je iznimno bitno za operatora. Tijekom procesa potrebno je paziti i na vrstu ćelije u koju korisnik ulazi kao i na restrikcije i zabrane pristupa koje su moguće u određenim ćelijama.

Prema istraživanju iz [24] utvrđeno je da je najefikasnije prosljeđivanje bez gubitaka preko X2 sučelja koje je izvedeno između 2 eNodeB-a unutar LTE mreže. X2 sučelje služi za pripremu i obavljanje preuzimanja, kao i za koordinaciju interferencije između 2 eNodeB čvora. Kada se tok podataka prebaci na novi eNodeB čvor preuzimanje je prekinuto. Prospajanje je proučavano korištenjem TCP prijenosa datoteka, te UDP *streaming-a* i VoIP-a. Također je utvrđeno da su prijenosi na bazi intra-eNodeB-a i X2 dobro funkcionirali te podaci nisu izgubljeni tijekom primopredaje. U 95% slučajeva korisnička oprema je prespojena za manje od 50 ms, te pauza podataka je bila manja od 75 ms, prosječna 57 ms, što je dovoljno da podrži većinu usluga tijekom primopredaje. Prijenos nije imao utjecaj na kontrolu zagušenja TCP-a te ne utječe na propusnost. Utvrđeno je da je tijekom 6 s izgubljeno pet do šest VoIP okvira (20 ms), što uzrokuje pauzu u govoru od 100-120 ms. Rezultati su pokazali da primopredaja X2 sučeljem ne smanjuje kvalitetu poziva, dok je prijenosom na drugim sučeljima smanjena kvaliteta poziva. Prospajanje gotovo imuno na gubitak paketa zadovoljilo je kvalitetu usluge, sa značajkom visoke pouzdanosti podataka u radu zbog korištene opreme, [24].

WiMAX (eng. *Worldwide Interoperability for Microwave Access*) omogućava isporuku širokopojasne usluge u pristupnoj mreži kao alternativa pristupnim tehnologijama, WiMAX je bežično širokopojasno rješenje za udaljenosti do 50 km, te nakon 9 km značajno gubi propusnost. Prema [25] vršeno je istraživanje o utjecaju prijenosa VoIP govora u WiMAX mrežama, te je utjecaj prikazan slikom 13.



**Slika 13.** Utjecaj primopredaje WiMAX-a na kvalitetu govora u VoIP-u, [25]

Prema rezultatima u istraživanju zaključeno je da kvaliteta govora ovisi o intervalu prijenosa. Uočena je gotovo konstantna kvaliteta govora za vrlo kratki period, 25 ms. Kvaliteta je visoka za sve intervale između prijenosa, ali što je duže trajanje prijenosa, uočena je sve veća degradacija kvalitete, što znači pogoršavanje ili gubljenje svojstva odnosno snižavanje razine kvalitete. Degradacija je posebno značajna za korisnike koji se brzo kreću prilikom procesa prijenosa između ćelija. U istraživanju je također navedeno da je interval prijenosa kraći od 30 s za korisnike koje se kreću brže od 20 m/s i za radijus ćelije 600 m. Tada utjecaj prijenosa postaje manje važan jer povećava interval između predaje i smanjuje trajanje prekida prijenosa. U zaključku istraživanja je navedeno da kada se ispune zahtjevi IEEE 802.16m o trajanju

prekida prijenosa, utjecaj prijenosa je zanemariv čak i za brzo kretanje mobilnih uređaja, [25].

Prema istraživanju iz [26] analizira se utjecaj DCD/UDC intervala na gubitak paketa vertikalnog prijenosa između UMTS mobilne mreže i WiMAX bežične mreže kod VoIP prijenosa podataka. Provedeno je 15 simulacija slučajnih putanja mobilnog terminalnog uređaja brzinom 10 km/h. U istraživanju WiMAX ćelija je smještena unutar UMTS ćelije, te se mobilna stanica kretala iz UMTS ćelije u WiMAX ćeliju te ponovno u UMTS ćeliju kada je izašla iz područja pokrivenosti WiMAX ćelije. Dobiveni su sljedeći rezultati:

**Tablica 3.** Gubitak paketa tijekom vertikalne primopredaje između UMTS-a i WiMAX-a s DCD/UCD = 5 s

Broj simulacija	UMTS/WiMAX vertikalni handover u ms	UMTS gubitak paketa u %	WiMAX gubitak paketa u %
1	3124,425	2	4
2	3324,425	2	10
3	3024,425	2	7
4	432,425	2	2
5	3632,425	2	10
6	3804,425	2	9
7	4132,425	2	5
8	4516,425	2	9
9	2024,425	2	1
10	916,425	2	0
11	2912,425	2	4
12	3024,425	2	4
13	2924,425	2	4
14	2724,425	2	4
15	2524,425	2	4

Izvor: [26]



**Tablica 4.** Gubitak paketa tijekom vertikalne primopredaje između UMTS-a i WiMAX-a s DCD/UCD = 1 s

Broj simulacija	UMTS/WiMAX vertikalni handover u ms	UMTS gubitak paketa u %	WiMAX gubitak paketa u %
1	256,425	2	0
2	464,425	2	2
3	208,425	2	1
4	600,425	2	2
5	788,425	2	3
6	948,425	2	3
7	364,425	2	1
8	656,425	2	0
9	512,425	2	0
10	1052,425	2	0
11	1044,425	2	2
12	156,425	2	0
13	1056,425	2	2
14	856,425	2	2
15	656,425	2	2

Izvor: [26]

Tablica 3 i tablica 4 prikazuju gubitak paketa tijekom procesa vertikalnog prijenosa između UMTS i WiMAX mreža. Tablica 3 prikazuje rezultate gubitka paketa kada se koristi interval DCD/UCD od 5 s. Prosječan broj gubitaka paketa VoIP prometa mobilnog uređaja s UMTS baznom stanicom tijekom procesa vertikalne primopredaje je 2, a kod WiMAX bazne stanice prosječni broj gubitaka paketa je 5,13. U istraživanju je navedeno da zbog ovakvog rezultata postoji vrlo velika latencija.

Tablica 4 prikazuje rezultate za gubitak paketa tijekom procesa vertikalne primopredaje kada je DCD/UCD interval 1 s. Ovdje je broj prosječnog gubitka paketa VoIP korisnika s UMTS baznom stanicom 2, a a vezu s WiMAX baznom stanicom broj prosječnog gubitka paketa je 1,33.

Vidljivo je da se pri korištenju nižeg DCD/UCD intervala gubitak paketa WiMAX mreže tijekom procesa vertikalnog prijenosa značajno smanjuje. Gubitak paketa UMTS veze tijekom vertikalnog prijenosa obično ima istu vrijednost 2, iz razloga što je DCD/UCD interval WiMAX parametar. U istraživanju je donesen zaključak da će korištenje DCD/UCD intervala od 1 s ili mirovanja IEEE 802.16 sučelja dati zadovoljavajuće rezultate gubitka paketa tijekom procesa vertikalne primopredaje između UMTS i WiMAX mreža, [26].

Kvaliteta usluge varira ovisno o mrežnoj pokrivenosti lokacije na kojoj se korisnik nalazi tako ukoliko korisnikov mobilni uređaj nema podršku za LTE tehnologiju, automatski će pokušati uspostaviti podršku za UMTS tehnologijom, itd. dok ne dobije moguću kvalitetu kako bi obavio svoju željenu funkciju, ako mobilni uređaj ipak ne uspije uspostaviti konekciju zbog nedostatka signala ili drugih razloga dolazi do prekidanja sesije.

## 7. ZAKLJUČAK

Iz svega navedenoga u ovom završnom radu može se zaključiti da je kvaliteta usluge jedan od ključnih faktora za uspješan rad višeuslužnih mreža koje se baziraju na prijenosu, komutacijom paketa. Kvaliteta usluge je korisnički orijentiran skup performansi usluge koje određuju stupanj zadovoljstva korisnika uslugom. Omogućuju implementaciju i prijenos raznih telekomunikacijskih, multimedijских, govornih, podatkovnih te video usluga. Važan, ako ne i najvažniji utjecaj na kvalitetu imaju njeni parametri, o kojima QoS zapravo ovisi. Uz osigurane parametre, tj. njihovo zadovoljavanje od strane operatora vrlo važnu ulogu na zadovoljstvo korisnika određuje njihova mobilnost, što znači pouzdanost u obavljanje rada ili ispunjavanja svojih *online* potreba gdje god da se korisnik nalazi, neovisno o njegovom trenutnom mjestu boravka. Da bi se tako nešto moglo omogućiti potrebna je velika i kvalitetna pokrivenost područja mobilnom mrežom, koju mora osigurati operator.

Danas, u vrijeme velike konkurentnosti na tržištu kvaliteta usluge postaje područjem istraživanja i ključnim faktorom mjerenja konkurentnosti između tvrtki. Da bi zadržali konkurentnost na tržištu mobilni operatori moraju neprestano pružati usluge koje utječu na zadovoljstvo korisnika te pomicati njihove granice, od kojih je i raspoloživost jedna od značajnijih.

Cilj preuzimanja poziva je da se održi razina QoS-a tijekom cijelog trajanja spajanja, a operatori da bi bili konkurentni moraju pružiti uslugu u skladu s potrebama i stavovima korisnika jer je to preduvjet za bolju profitabilnost i opstanak tvrtke na tržištu. Korisnici donose odluke o korištenju usluga pojedinih operatora na temelju pruženih informacija o kvaliteti usluge, upravo zbog toga je QoS jedan od najznačajnijih faktora konkurentnosti između operatora. Kao takva kvaliteta usluge je bez sumnje važna za razvoj suvremenih telekomunikacija za čiju su kvalitetu korisnici spremni platiti.

## LITERATURA

- [1] Peraković, D., Periša, M., Forenbacher, I.: Arhitektura GSM/UMTS/LTE mreža – autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [2] Muštra, M.: Mobilne komunikacije - autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [3] Peraković, D., Periša, M., Forenbacher, I.: Osnove transmisijskih sustava 2. dio – autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2017.
- [4] Mrvelj, Š., Matulin, M.: Mobilne mreže - autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [5]  
[https://www.academia.edu/9262052/Sistemi\\_i\\_servisi\\_mobilnih\\_telekomunikacija](https://www.academia.edu/9262052/Sistemi_i_servisi_mobilnih_telekomunikacija) , (prosinac, 2018.)
- [6] Peraković, D., Periša, M., Forenbacher, I.: Definiranje osnovnih pojmova telekomunikacijskih mreža – autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2017.
- [7] Peraković, D., Forenbacher, I.: Komutacija u mobilnim mrežama (2G-3G-4G) – autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [8] <https://www.verizon.com/about/our-company/5g/what-5g> , (ožujak 2019.)
- [9] Mrvelj, Š., Matulin, M.: Ciljevi razine usluge QoS/GoS/NP - autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [10] <https://sysportal.carnet.hr/node/505> , (siječanj 2019.)
- [11] <https://www.cis.hr/sigurosni-alati/zastita-mreze-vatrozid.html> , (travanj 2019.)
- [12] Peraković, D., Forenbacher, I.: Quality of Service (QoS) komutacija – autorizirana predavanja, (moodle.srce.hr), 2018.
- [13] Grgurević, I.: Performanse računalnih mreža – autorizirane laboratorijske vježbe, (moodle.srce.hr), 2018.

- [14] Bošnjak, I.: Tehnologija telekomunikacijskog prometa II, Fakultet Prometnih Znanosti, Zagreb, 2001.
- [15] <http://www.ciscopress.com/articles/article.asp?p=606583> , (veljača, 2019.)
- [16] One-way Transmission Time, ITU-T G.114, URL:<https://www.itu.int/rec/T-REC-G.114>, (veljača, 2019.)
- [17] Big videos on small networks. A hierarchical and distributed architecture for a video on demand distribution service, URL:<https://ieeexplore.ieee.org/document/1489934> , (ožujak 2019.)
- [18] Handover priority based on adaptive channel reservation in wireless networks, URL:<https://ieeexplore.ieee.org/document/6777831> , (ožujak 2019.)
- [19] Barooah, M., Pathak, D.K., Karmakar, I. R.: *A Review of Mobility Management in Integrated UMTS and WLAN Networks*, Journal of Advances in Computer Networks, Vol. 3, No. 3, 2015.
- [20] [https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial\\_opavc.pdf](https://www.itu.int/ITU-T/studygroups/com09/docs/tutorial_opavc.pdf) , (ožujak 2019.)
- [21] <https://www.opticom.de/technology/pesq.php> , (ožujak 2019.)
- [22] <https://bib.irb.hr/prikazi-rad?rad=513702> , (travanj 2019.)
- [23] <https://ieeexplore.ieee.org/search/searchresult.jsp?newsearch=true&queryText=QoS%20in%20LTE%20networks> , (travanj 2019.)
- [24] Helenius, A.: Performance of Handover in Long Term Evolution, Aalto University, Helsinki, Finland, 2011.
- [25] Impact of Handover on VoIP Speech Quality in WiMAX Network, URL:<https://ieeexplore.ieee.org/abstract/document/4976688>, (travanj 2019.)
- [26] Analisis of Voice over IP During Vertical Handovers in Heterogeneous Wireless and Mobile Network, URL:<https://pdfs.semanticscholar.org/d1e2/5ac526944f0caa1d92b3e484daca161f02ae.pdf> , (travanj 2019.)

## POPIS SLIKA

Slika 1. Segmentacija telekomunikacijske mreže .....	3
Slika 2. FDMA tehnologija .....	5
Slika 3. TDMA tehnologija .....	6
Slika 4. CDMA tehnologija .....	7
Slika 5. Primjer komutacije kanala .....	8
Slika 6. Primjer komutacije paketa .....	10
Slika 7. Iskoristivost frekvencijskog spektra OFDM-a i FDM-a .....	11
Slika 8. Princip slanja i dekodiranja simbola u MIMO sustavu .....	12
Slika 9. Usporedba brzine prijenosa između 4G i 5G tehnologija .....	13
Slika 10. Utjecaj parametara na kvalitetu usluge .....	17
Slika 11. Granice kašnjenja prema ITU-T .....	24
Slika 12. Prikaz višedimenzionalnog prometnog modela ćelije .....	27
Slika 13. Utjecaj primopredaje WiMAX-a na kvalitetu govora u VoIP-u .....	34

## POPIS TABLICA

Tablica 1. Prikaz zahtijevane kvalitete usluge prometnog toka na navedene usluge ..	20
Tablica 2. Zahtjevi konkretnih usluga na parametre QoS-a .....	21
Tablica 3. Gubitak paketa tijekom vertikalne primopredaje između UMTS-a i WiMAX-a s DCD/UCD = 5 s .....	35
Tablica 4. Gubitak paketa tijekom vertikalne primopredaje između UMTS-a i WiMAX-a s DCD/UCD = 1 s .....	36

## POPIS KRATICA

ATM PNNI	<i>Asynchronous Transfer Mode Private Network-to-Network interface</i>
BER	<i>Bit Error Rate</i>
BPSK	<i>Binary Phase Shift Keying</i>
CDMA	<i>Code Division Multiple Access</i>
CIDR	<i>Classless Interdomain Routing</i>
CLNS	<i>Connection-Less Network Services</i>
CONS	<i>Connection-Oriented Network Services</i>
CSFB	<i>Circuit Switched Fallback</i>
DCD	<i>Downlink Channel Descripor</i>
DSCQS	<i>Double Stimulus Continuous Quality Scale</i>
EDGE	<i>Enhanced Datarates for GSM Evolution</i>
FCFS	<i>First Come First Serve</i>
FDD	<i>Frequency Division duplex</i>
FDM	<i>Frequency Division Multiplex</i>
FDMA	<i>Frequency Division Multiple Access</i>
FIFO	<i>First In First Out</i>
GMPLS	<i>Generalized MPLS</i>
GoS	<i>Grade of Service</i>
GPRS	<i>General Packet Radio Service</i>
GSM	<i>Global System for Mobile Communications</i>
HO	<i>Handover</i>
HSDPA	<i>High Speed Downlink Packet Access</i>



HSPA	<i>High Speed Packet Access</i>
HSUPA	<i>High Speed Uplink Packet Access</i>
HT	Hrvatski Telekom
HTTP	<i>Hyper Text Transfer Protocol</i>
IA	<i>Initial Access</i>
IoT	<i>Internet-of-Things</i>
IP	<i>Internet Protocol</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union - Telecommunication</i>
LAN	<i>Local Area Network</i>
LIFO	<i>Last In First Out</i>
LTE	<i>Long Term Evolution</i>
LTE of LTE	<i>Long Term Evolution-of-Long Term Evolution</i>
M-QAM	<i>Quadrature Amplitude Modulation</i>
MIMO	<i>Multiple Input Multiple Output</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
MPLS	<i>Multiprotocol Label Switching</i>
NMT	<i>Nordic Mobile Telephone</i>
NP	<i>Network Performace</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency Division Multiplex</i>
OFDMA	<i>Orthogonal Frequency Division Multiple Access</i>
PESQ	<i>Perceptual Evaluation of Speech Quality</i>
PSNR	<i>Peak Signal to Noise Ratio</i>
PSTN	<i>Public Switched Telephone Network</i>
PVC	<i>Permanent Virtual Circuit</i>

RSVP-TE	<i>Resource ReSerVation Protocol with Traffic Engineering Extension</i>
RTP	<i>Real-time Transport Protocol</i>
RTT	<i>Round Trip Time</i>
SMS	<i>Short Message Service</i>
SVC	<i>Switched Virtual Circuit</i>
TCP	<i>Transmission Control Protocol</i>
TDD	<i>Time Division duplex</i>
TDMA	<i>Time Division Multiple Access</i>
TK	Telekomunikacija
TTL	<i>Time-to-Live</i>
TV	<i>TeleVision</i>
UCD	<i>Uplink Channel Descriptor</i>
UDP	<i>User Datagram Protocol</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunication System</i>
VoD	<i>Video-on-Demand</i>
VoIP	<i>Voice over Internet Protocol</i>
VoLTE	<i>Voice over Long Term Evolution</i>
QoS	<i>Quality of Service</i>
QOSPF	<i>Quality of Service Open Shortest Path First</i>
QPSK	<i>Quadrature Phase Shift Keying</i>
WCDMA	<i>Wideband Code Division Multiple Access</i>
WiMAX	<i>Worldwide Interoperability for Microwave Access</i>
WLAN	<i>Wireless Local Area Network</i>
WWW	<i>World Wide Web</i>



Sveučilište u Zagrebu  
Fakultet prometnih znanosti  
10000 Zagreb  
Vukelićeva 4

## IZJAVA O AKADEMSKOJ ČESTITOSTI I SUGLASNOST

Izjavljujem i svojim potpisom potvrđujem kako je ovaj \_\_\_\_\_ završni 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 \_\_\_\_\_ završnog rada  
pod naslovom **Utjecaj mobilnosti korisnika na pruženu kvalitetu usluge mobilne mreže**

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

U Zagrebu, \_\_\_\_\_ 23.4.2019. \_\_\_\_\_

Student/ica:

(potpis)