

**ELEKTROTEHNIČKI FAKULTET UNIVERZITETA U BEOGRADU**



**ANALIZA UTICAJA BITSKIH GREŠAKA NA G.711 KODER**

–Diplomski rad–

Kandidat:

Anđela Lazarević 2012/380

Mentor:

doc. dr Zoran Čiča

Beograd, Septembar 2016.

# SADRŽAJ

<b>SADRŽAJ</b> .....	<b>2</b>
<b>SPISAK SKRAĆENICA</b> .....	<b>3</b>
<b>SPISAK SLIKA</b> .....	<b>5</b>
<b>SPISAK TABELA</b> .....	<b>6</b>
<b>UVOD</b> .....	<b>7</b>
<b>1. RAZVOJ TELEFONSKIH MREŽA</b> .....	<b>8</b>
1.1. POJAM TELEFONA .....	8
1.2. RAZVOJ TELEFONSKIH MREŽA I SERVISA .....	8
1.3. RAZVOJ MOBILNIH MREŽA KROZ GENERACIJE .....	9
1.3.1. Nulta generacija .....	9
1.3.2. Prva generacija.....	9
1.3.3. Druga generacija.....	10
1.3.4. Treća generacija.....	10
1.3.5. Četvrta generacija .....	11
1.3.6. Peta generacija.....	11
1.3.7. Osvrt na sve generacije.....	11
<b>2. G.711</b> .....	<b>12</b>
2.1. OSNOVNE KARAKTERISTIKE G.711 STANDARDA .....	12
2.1.1. Model subjektivnog ocenjivanja.....	12
2.1.2. G.711 Dodatak I .....	13
2.1.3. G.711 Dodatak II .....	13
2.1.4. A i $\mu$ zakoni kompresije.....	13
2.2. PROŠIRENJA G.711 STANDARDA.....	14
2.3. ALGORITAM A-ZAKONA KOMPRESIJE .....	14
2.4. DIGITALIZACIJA GOVORNOG SIGNALA .....	15
<b>3. MATLAB SIMULACIJA</b> .....	<b>16</b>
3.1. TESTIRANJE GOVORNOG SIGNALA .....	16
3.2. TABELA OCENA .....	16
3.3. GRAFICI SIGNALA I IZVEŠTAJ O OSTVARENOM KVALITETU .....	17
3.4. REZIME ANALIZE UTICAJA GREŠAKA .....	23
<b>4. ZAKLJUČAK</b> .....	<b>24</b>
<b>LITERATURA</b> .....	<b>25</b>
<b>A. KOD MATLAB PROGRAMA</b> .....	<b>26</b>

## SPISAK SKRAĆENICA

### Skraćenica

ITU  
PCM  
IP  
VoIP  
PSTN  
ISDN  
BER  
POTS  
PTT  
IMTS  
AMTS  
NTT  
  
NMT  
TACS  
FM  
FDMA  
TDMA  
CDMA  
GSM  
SMS  
SIM  
GPRS  
SGSN  
GGSN  
DNS  
EDGE

### Pun naziv

*International Telecommunication Union*  
*Pulse Code Modulation*  
*Internet Protocol*  
*Voice over IP*  
*Public Switched Telephone Network*  
*Integrated Services Digital Network*  
*Bit Error Rate*  
*Plain Old Telephone Service*  
*Push To Talk*  
*Improved Mobile Telephone Service*  
*Advanced Mobile Telephone System*  
*Nippon Telegraph and Telephone Corporation*  
  
*Nordic Mobile Telephones*  
*Total Access Communication Systems*  
*Frequency Modulation*  
*Frequency Division Multiple Access*  
*Time Division Multiple Access*  
*Code Division Multiple Access*  
*Global System for Mobile Communications*  
*Short Message Service*  
*Subscriber Identity Module*  
*General Packet Radio Services*  
*Serving GPRS*  
*Gateway GPRS*  
*Domain Name Servers*  
*Enhanced Data rates in GSM Environment*

3GPP	<i>3rd Generation Partnership Project</i>
UMTS	<i>Universal Mobile Telecommunications System</i>
UTRAN	<i>UMTS Terrestrial Radio Access Network</i>
LTE	<i>Long-Term Evolution</i>
OFDM	<i>Orthogonal Frequency-Division Multiplexing</i>
DVB-T	<i>Digital Video Broadcasting-Terrestrial</i>
NGMN	<i>Next Generation Mobile Network</i>
ITU-T	<i>International Telecommunication Union- Telecommunication Standardization Sector</i>
DSP	<i>Digital Signal Processor</i>
RISC	<i>Reduced Instruction Set Computing</i>
CISC	<i>Complex Instruction Set Computing</i>
PSQM	<i>Perceptual Speech Quality Measure</i>
MOS	<i>Mean Opinion Score</i>
PLC	<i>Packet Loss Concealment</i>
DTX	<i>Discontinuous Transmission</i>
VAD	<i>Voice Activity Detector</i>
CNG	<i>Comfort Noise Generator</i>
G.711 LLC	<i>Lossless compression of G.711</i>

## SPISAK SLIKA

<i>Slika 1.2.1. POTS telefon</i> .....	8
<i>Slika 1.2.2. ISDN telefon</i> .....	8
<i>Slika 1.3.1.1. Mobilni radio telefon</i> .....	8
<i>Slika 1.3.7.1. Mobilni telefoni kroz generacije</i> .....	13
<i>Slika 2.1.4.1. Grafički prikaz navedenih zakona</i> .....	13
<i>Slika 2.3.1. Segmenti za apsolutne vrednosti normalizovanih nivoa signala</i> .....	15
<i>Slika 3.3.1. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-1}</math> i bučnu sredinu</i> .....	17
<i>Slika 3.3.2. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-1}</math> i tihu sredinu</i> .....	17
<i>Slika 3.3.3. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-2}</math> i bučnu sredinu</i> .....	18
<i>Slika 3.3.4. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-2}</math> i tihu sredinu</i> .....	18
<i>Slika 3.3.5. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-3}</math> i bučnu sredinu</i> .....	19
<i>Slika 3.3.6. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-3}</math> i tihu sredinu</i> .....	19
<i>Slika 3.3.7. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-4}</math> i bučnu sredinu</i> .....	20
<i>Slika 3.3.8. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-4}</math> i tihu sredinu</i> .....	20
<i>Slika 3.3.9. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-5}</math> i bučnu sredinu</i> .....	21
<i>Slika 3.3.10. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-5}</math> i tihu sredinu</i> .....	21
<i>Slika 3.3.11. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-6}</math> i bučnu sredinu</i> .....	22
<i>Slika 3.3.12. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost <math>10^{-6}</math> i tihu sredinu</i> .....	22

## **SPISAK TABELA**

*Tabela 3.2.1. Subjektivna ocena kvaliteta signala za različite vrednosti BER-a ..... 16*

## UVOD

G.711 ITU (*International Telecommunication Union*) standard je audio kodek velike brzine, koji vrši impulsno-kodnu modulaciju, tj. PCM (*Pulse Code Modulation*), govornih signala. Koristi se za digitalizaciju govornog signala. G.711 kodek je stvorio Bell Systems i uveden je u ranim 70-im godinama, mada je formalno standardizovan 1988. godine. G.711 je potreban standard u mnogim tehnologijama, npr. u H.320 i H.323 specifikacijama. Ova klasa kodeka upotrebljava obimno odabiranje i linearnu kvantizaciju za predstavljanje originalnog analognog signala u digitalnoj formi. On obezbeđuje najbolji kvalitet među najčešće korišćenim kodecima, ali plaća cenu za to, jer zahteva najveći protok (64 kb/s za govorni signal). Postoje dve slične verzije:  $\mu$ -zakon koji se koristi u Severnoj Americi i Japanu, i A-zakon, koji se koristi u Evropi. Može se koristiti za komunikaciju faksom preko IP (*Internet Protocol*) mreže. Korišćenjem G.711 za VoIP (*Voice over IP*) će se postići najbolji kvalitet zvuka, jer se ne koristi kompresija i to je kodek koji se koristi i za PSTN (*Public Switched Telephone Network*) mreže i za ISDN (*Integrated Services Digital Network*) linije. G.711 ima najmanje kašnjenje, jer nema potrebe za kompresijom. Loša strana je to što je potrebno više propusnog opsega od drugih kodeka.

U toku prenosa govora može doći do pojave grešaka, tj. logička 1 može da se primi kao logička 0, i obrnuto. Obično, broj grešaka za koje postoji verovatnoća da se jave u sistemu se izražava kao bit *BER* (*Bit Error Rate*). Na primer, *BER* od  $10^{-3}$  znači da će se pogrešan bit primiti sa verovatnoćom od  $10^{-3}$ , odnosno, u proseku, jedan bit na svakih 1000 ( $10^3$ ) će biti pogrešan. Jedan od glavnih uzroka pojave grešaka predstavlja šum. *BER* je mera koja ukazuje na performanse sistema sa aspekta greške i često se izražava u procentima. U suštini, *BER* je broj bitskih grešaka podeljen sa ukupnim brojem prenetih bitova tokom posmatranog vremenskog intervala.

Ovaj rad se bavi analizom uticaja bitskih grešaka na G.711 koder i sastoji se od četiri glavna poglavlja. U prvom poglavlju je opisan razvoj telefonskih mreža i servisa, kao i mobilnih mreža kroz generacije, sa posebnim osvrtom na karakteristike svake generacije. U drugom poglavlju je detaljno predstavljen G.711 koder, njegove karakteristike, dodaci i proširenja standarda, glavni zakoni kompresije, kao i algoritam A-zakona kompresije, koji će se primenjivati u MatLab simulaciji u narednom poglavlju. Treće poglavlje se bavi analizom uticaja bitskih grešaka na G.711 koder prilikom MatLab simulacije digitalizacije govornog signala. Govorni signal je uziman sa mikrofona, zatim je izvršena kompresija po A-zakonu, nakon čega se rezultati kompresije propuštaju kroz funkciju koja po slučajnom principu za svaki bit određuje da li će se on invertovati ili će ostati njegova vrednost, pri čemu *BER* predstavlja verovatnoću da će bit biti invertovan. Nakon toga se vrši dekompresija signala. Na kraju se na zvučnicima pušta ton originala i potom ton koji je prošao kroz proces kompresije/dekompresije. Potom je izvršena analiza, koja je ostvarena kroz tabelu ocena kvaliteta prenetog govornog signala, grafike originalnog i izmenjenog govornog signala, kao i komentare i zaključke o uticaju bitskih grešaka na dekodirani govorni signal. Cilj rada je da se utvrdi kako vrednost *BER*-a utiče na dekodirani govorni signal, kao i na koje vrednosti *BER*-a je posmatrani govorni signal otporan, odnosno, šta se smatra prihvatljivom vrednošću *BER*-a. Na kraju trećeg poglavlja je dat rezime o analizi uticaja bitskih grešaka. Četvrto poglavlje predstavlja zaključak o izvršenoj simulaciji i analizi uticaja bitskih grešaka, kao i o mogućnostima daljih istraživanja. U prilogu A je dat kod MatLab programa kojim je izvršena navedena simulacija.

# 1. RAZVOJ TELEFONSKIH MREŽA

U ovom poglavlju će biti predstavljen pojam telefona, kao komunikacionog uređaja, zatim razvoj javne telefonske mreže i servisa koje ona nudi, i na kraju razvoj mobilnih mreža kroz generacije, sa kratkim osvrtom na njihove glavne karakteristike.

## 1.1. Pojam telefona

Telefon je telekomunikacioni uređaj koji omogućava da dva ili više korisnika vode razgovor kada su predaleko da bi direktno razgovarali. Telefon pretvara zvuk u elektronske signale pogodne za prenos preko prenosnih medija na velikim udaljenostima i pušta istovremeno takve signale u zvučnoj formi svom korisniku. Fiksni telefon koristi metalne žice ili optičke kablove kao medijume za prenos signala, za razliku od mobilnog telefona koji koristi radio talase za prenos signala.

## 1.2. Razvoj telefonskih mreža i servisa

Javna telefonska mreža (PSTN) je jedna od prvih telekomunikacionih mreža koja je razvijena i još uvek predstavlja važnu telekomunikacionu infrastrukturu svake zemlje. Telefonska mreža se zasniva na principu komutacije kola i nudi osnovni telefonski servis tzv. POTS servis (*Plain Old Telephone Service*) koji koristi analogni prenos signala preko bakarnih žica. POTS je standardni servis koje su nudile telefonske kompanije od 1876. godine do 1988. godine, kada je objavljen ISDN servis. POTS ostaje osnovni oblik povezivanja na telefonsku mrežu stambenih objekata i malih preduzeća u mnogim delovima sveta. ISDN je napravljen da omogućava digitalni prenos glasa i podataka preko običnih bakarnih žica, što dovodi do potencijalno boljeg kvaliteta zvuka nego što jedan analogni telefon može da pruži. Nudi uspostavljanje veza na bazi komutacije kola (bilo za govor bilo za podatke) i veze na bazi komutacije paketa (za podatke) sa protokom od 64 kb/s. POTS telefon i ISDN telefon su prikazani na slikama 1.2.1. i 1.2.2, respektivno.



Slika 1.2.1. POTS telefon.



Slika 1.2.2. ISDN telefon.



### 1.3. Razvoj mobilnih mreža kroz generacije

Godine 1980. je počelo mobilno doba i od tada su mobilne komunikacije pretrpele znatne promene i postale široko rasprostranjene. U suštini se radi o nekoliko tehnoloških generacija koje svojim karakteristikama definišu mobilni telefon svake od njih.

#### 1.3.1. Nulta generacija

Prethodnica 1G tehnologije je mobilni radio telefon (prikazan na slici 1.3.1.1.), koji se zbog toga naziva predćelijskim sistemom ili ponekad 0G, tj. nulta generacija, zato što se mobilne mreže (*mobile network* ili *cellular network*) sastoje od pojedinačnih ćelija koje predstavljaju određenu fizičku oblast pokrivenosti jednom radio-frekvencijom preko koje se odvija sav paketski saobraćaj sa područja te ćelije. Tehnologije koje su se koristile u predćelijskim sistemima su voki-toki (PTT-*Push To Talk*), poboljšan servis mobilne telefonije (IMTS-*Improved Mobile Telephone Service*) i napredan sistem mobilne telefonije (AMTS-*Advanced Mobile Telephone System*). Ovi rani sistemi mobilne telefonije se mogu razlikovati od ranijih zatvorenih radiotelefonskih sistema, koji su bili dostupni kao komercijalni servis koji je bio deo javne telefonske mreže, sa svojim telefonskim brojevima, a ne deo zatvorene mreže, kao što je policijski radio ili dispečerski taksi sistem. Ovi mobilni telefoni su obično bili montirani u automobilima ili kamionima, mada su bili napravljeni i modeli aktentašne. Obično je primopredajnik bio postavljen u prtljažniku vozila i vezan za "glavu" (brojčanik, ekran i slušalice) postavljenu u blizini sedišta vozača.



Slika 1.3.1.1. Mobilni radio telefon.

#### 1.3.2. Prva generacija

1G – Prva generacija bežične telefonske tehnologije, tj. mobilnih mreža, koristi analogni prenos za govorne usluge. Prvi ćelijski sistem u svetu je postao operativan 1979. godine od strane firme NTT (*Nippon Telegraph and Telephone Corporation*) u Japanu, koja je koristeći 23 komunikacijska čvora "pokrila" Tokio. NTT mreža je proširena duž celog Japana i postala je prva nacionalna 1G mreža u svetu. Dve godine kasnije, mobilna epoha je stigla u Evropu. Dva najpopularnija analogna sistema su NMT (*Nordic Mobile Telephones*) i TACS (*Total Access Communication Systems*). Osim NMT i TACS, uvedeni su i drugi analogni sistemi širom Evrope. Svi ovi sistemi su nudili handover i roaming mogućnosti ali nisu mogli da ostvare operabilnost između zemalja. Ovo je bio jedan od neizbežnih nedostataka prve generacije mobilnih mreža. Sistemi prve generacije su koristili FM (*Frequency Modulation*) modulaciju i FDMA (*Frequency Division Multiple Access*) tehniku višestrukog pristupa, a raspodela kanala se vršila na FDMA koncepciji unutar zadatog frekvencijskog opsega u rasponu od približno 800-900 MHz.

### 1.3.3. Druga generacija

2G – Krajem osamdesetih godina 20. veka pojavila se druga generacija sistema mobilnih telefona. Telefonski sistemi su se razlikovali od prethodne generacije u tome što su koristili digitalni prenos podataka. Digitalni prenos omogućava TDMA (*Time Division Multiple Access*) raspodelu kanala, a napredniji sistemi koristili su i CDMA (*Code Division Multiple Access*) raspodelu kanala. Shodno tome, 2G sistemi su obezbeđivali veću spektralnu efikasnost, bolje usluge prenosa podataka i napredniji roaming. Frekvencijski opseg koji ovi uređaji koriste je 800-900 MHz ili 1800-1900 MHz. U Evropi, razvijen je GSM (*Global System for Mobile Communications*) standard koji predstavlja najpopularniji standard za sisteme mobilne telefonije u svetu. U ovom periodu su počeli da se koriste pretplaćeni mobilni telefoni (*prepaid mobile phone*) za koje se kupuju krediti koje korisnik troši svaki put kada nekome uputi poziv. Uvedeno je slanje poruka putem SMS-a (*Short Message Service*), u početku samo preko GSM mreža, a kasnije i preko svih digitalnih mreža. SMS je ujedno prva usluga u pogledu prenosa podataka, uz osnovnu namenu - razgovor. Jedna od ključnih karakteristika GSM mreže je SIM (*Subscriber Identity Module*) modul. SIM je pametna kartica koja sadrži podatke o korisnikovoj pretplati i telefonski imenik što omogućava korisniku da zadrži svoje podatke nakon promene mobilnog uređaja. GSM tehnologija se konstantno poboljšavala da bi ponudila bolje usluge na tržištu. Nove tehnologije su nastale na osnovu originalnog GSM sistema, što je dovelo do razvoja GPRS (*General Packet Radio Services*), tj. 2.5G. Da bi se poboljšao prenos podataka, u postojeći GSM sistem su ubačeni novi elementi kao što su SGSN (*Serving GPRS*) i GGSN (*Gateway GPRS*), koji su pružali podršku za komutaciju paketa. Pored ovih elementata, uvedeni su IP ruteri, kao i DNS (*Domain Name Servers*), što je omogućilo bežični pristup Internetu sa protokom koji dostiže i 150 kb/s u optimalnim uslovima. GPRS predstavlja najznačajniji korak ka 3G. Zbog potrebe da se poveća brzina prenosa podataka, nastao je EDGE (*Enhanced Data rates in GSM Environment*), tj. 2.75G. Na taj način je povećana brzina prenosa podataka i do 384 kb/s. Uvedeno je zaštitno kodovanje kako bi se smanjio broj grešaka koje nastaju pri prenosu. Danas, druga generacija digitalnih mobilnih sistema još uvek dominira u mobilnoj industriji celog sveta.

### 1.3.4. Treća generacija

3G – ITU organizacija je definisala zahteve za 3G mobilne mreže sa IMT-2000 standardom. Organizacija koja se naziva 3GPP (*3rd Generation Partnership Project*) je nastavila taj posao definisanjem mobilnog sistema koji ispunjava standard IMT-2000. U Evropi se takav sistem naziva UMTS (*Universal Mobile Telecommunications System*). UMTS je definisan kao kompletni mrežni sistem uključujući i radio pristupnu mrežu (UTRAN - *UMTS Terrestrial Radio Access Network*) kao i jezgro mreže. 3G predstavlja odgovor na sve veću potražnju za uslugama prenosa podataka (kao što je Internet) i potrebu za većim brzinama prenosa podataka. Prvu nekomercijalnu mrežu pokrenula je firma NTT u Japanu na području Tokija 2001. godine. Koristi se nadograđeni CDMA standard kako bi se ponudila veća spektralna efikasnost mobilnim operatorima. Uvodi se VoIP tehnologija. Omogućava se obavljanje telefonskog razgovora upotrebom postojećih mrežnih konekcija, kako u lokalnom i međugradskom prometu, tako i u međunarodnom. Velika prednost VoIP tehnologije je i mogućnost pozivanja mobilnih i fiksnih pretplatnika, te ostvarivanje međunarodnih poziva po izuzetno povoljnim cenama. Omogućene su brzine prenosa podataka od 84 Mbit/s. Uređaji ove generacije koriste frekvencijski raspon približan 2G uređajima. 3G je našao primenu u bežičnoj glasovnoj telefoniji, mobilnom pristupu Internetu, video pozivima i mobilnoj TV.

### 1.3.5. Četvrta generacija

4G – Postalo je jasno da će 3G mreže postati preopterećene brojem korisnika i upotrebom aplikacija kojima je potreban širokopojasni kanal za prenos podataka. Počeo je razvoj tehnologija koje su optimizovane za prenos podataka i koje trebaju da omoguće prenos podataka velikim brzinama (oko 10 puta brže nego 3G). Prihvaćene tehnologije su WiMAX verzija za mobilne telefone i LTE (*Long-Term Evolution*) standard koji razvija udruženje većine mobilnih operatera. Čvor kao pristupna komunikaciona tačka "nestaje" i koristi se IP mreža. Moderni uređaji ove generacije mogu biti ravnopravni članovi Wi-Fi mreže. OFDM (*Orthogonal Frequency-Division Multiplexing*) standard, sličan DVB-T (*Digital Video Broadcasting - Terrestrial*) standardu, koristi se u pogledu raspodele kanala za prenos podataka. Uređaji ove generacije koriste frekvencijski raspon kao 3G uređaji i raspon od približno 2500–2700 MHz. WiMax predviđa upotrebu frekvencijskog područja od 3300-3800 MHz a u perspektivi i višeg. LTE standard implementira kompatibilnost s prethodnim standardima i to mu daje prednost u odnosu na WiMAX. Cilj prelaska na LTE mrežnu tehnologiju je obezbeđivanje većeg protoka korisnicima, poboljšanje spektralne efikasnosti, realizovanje znatno efikasnije paketske komutacije i prevođenje mobilne mreže na isključivo paketsku mrežu. LTE je IP orijentisana mreža, isključivo paketska mreža, koja je uglavnom dizajnirana za Internet aplikacije. Budućnost mobilnih mreža predstavlja LTE Advanced. Čini se da većina novih mobilnih operatera prihvata LTE i da se ovaj nešto kasnije ustanovljen standard sve brže usvaja.

### 1.3.6. Peta generacija

5G – Peta generacija bežičnih sistema označava sledeću značajnu fazu u standardima mobilnih telekomunikacija. 5G će imati brzine kakve trenutna 4G ne može da ponudi. NGMN (*Next Generation Mobile Network*) savez smatra da će se 5G razviti do 2020. godine da bi uspela da zadovolji poslovne i potrošačke zahteve.

### 1.3.7. Osvrt na sve generacije

Svedoci smo fenomenalnog rasta bežične industrije. Na slici 1.3.7.1. je prikazano kako se izgled mobilnih telefona menjao tokom navedenih generacija. Prvu generaciju (1G) je obeležio prenos osnovnog mobilnog govora, dok je druga generacija (2G) uvela kapacitet i pokrivenost. One su praćene trećom generacijom (3G) koja je tragala za podacima većeg protoka da bi otvorila vrata istinskom mobilnom širokopojasnom iskustvu, koje će biti realizovano u budućnosti od strane četvrte generacije (4G). 4G sistemi će raditi sa 2G i 3G sistemima, kao i sa digitalnim (širokopojasnim) sistemima. Pored toga, 4G sistemi će biti u potpunosti zasnovani na IP-bežičnom Internetu, koji će omogućiti širok spektar telekomunikacionih usluga, uključujući i napredne mobilne usluge, uz podršku mobilnih i fiksni mreža koje se sve više baziraju na komutaciji paketa, zajedno sa podrškom za mobilne aplikacije i širokim spektrom brzine prenosa podataka, u skladu sa zahtevima za servis višekorisničkog okruženja. Pored pružanja većih brzina od 4G mreža, 5G mreže će morati da zadovolje nove potrebe, kao što je na primer Internet of Things (mrežna oprema za pristup Internetu u zgradama ili vozilima).



Slika 1.3.7.1. Mobilni telefoni kroz generacije.

## 2.G.711

Na početku poglavlja će biti detaljno objašnjen G.711 koder, koji se koristi za digitalizaciju govornog signala. Takođe će biti opisan najpoznatiji model subjektivnog ocenjivanja, dodaci G.711 standarda, kao i glavni zakoni kompresije. Potom će biti predstavljena proširenja G.711 standarda. Na kraju će biti objašnjen detaljan algoritam A-zakona kompresije.

### 2.1. Osnovne karakteristike G.711 standarda

G.711 je standard za kompresiju i dekompresiju govora definisan u ITU-T (*International Telecommunication Union - Telecommunication Standardization Sector*) preporuci. Primarno se koristi u telefoniji. Standard je pušten u upotrebu 1972. godine. Ovaj koder spada u grupu talasnih kodera i vrši PCM modulaciju govornog signala. Ovaj standard se koristi u mnogim tehnologijama, kao na primer u H.320 i H.323 specifikacijama. Koristi se za kompresiju govora u telekomunikacionim sistemima kao što je javna telefonska mreža. Takođe se može koristiti za slanje faksa preko IP mreže. G.711 daje dobar kvalitet govornog signala protoka 64kb/s. Za prenos govornog signala je predviđen opseg od 4kHz, jer se govornom signalu iz opsega 300-3400Hz pridodaju zaštitni opsezi 0-300Hz i 3400-4000Hz. Govorni signal se prvo filtrira NF filtrom, a zatim odabira frekvencijom od 8kHz po Nikvistovom kriterijumu. Odmerci govornog signala se kodiraju sa 8 bita. Unutar G.711 preporuke su definisane dve slične verzije:  $\mu$ -zakon koji se koristi u Severnoj Americi i Japanu, i A-zakon, koji se koristi u Evropi.

Karakteristike:

- G.711 je talasni koder koji rekonstruiše originalan vremenski oblik signala u skladu sa zakonima o odabiranju
- izlazni signal protoka 64 kb/s (frekvencija odabiranja 8kHz sa 8 bita po odbirku)
- širokopojasni audio koder
- višekanalna implementacija
- brzo vrši kodiranje (procesiranje govornog signala nije kompleksno kod talasnih kodera)
- tipično algoritamsko kašnjenje je 0.125ms
- kompatibilan sa multi-tasking okruženjem
- visok kvalitet govora za VoIP
- optimizovan za DSP (*Digital Signal Processor*), RISC (*Reduced Instruction Set Computing*) i CISC (*Complex Instruction Set Computing*) procesore

#### 2.1.1. Model subjektivnog ocenjivanja

Testiranje mere kvaliteta percepcije govora (PSQM-*Perceptual Speech Quality Measure*) pod idealnim uslovima daje MOS (*Mean Opinion Score*-najpoznatiji model subjektivnog ocenjivanja koji predstavlja srednju ocenu korisnika za govornu vezu u određenim uslovima, pri čemu se ocena kreće u granicama od 1 do 5, gde ocena 5 odražava najviši kvalitet, a ocena 1

najniži, tj. neprihvatljiv kvalitet) ocenu 4,45 za G.711  $\mu$ -zakon, kao i za G.711 A-zakon, dok su kod PSQM testiranja kada uslovi nisu idealni MOS ocene 4,13 za G.711  $\mu$ -zakon i 4,17 za G.711 A-zakon.

### 2.1.2. G.711 Dodatak I

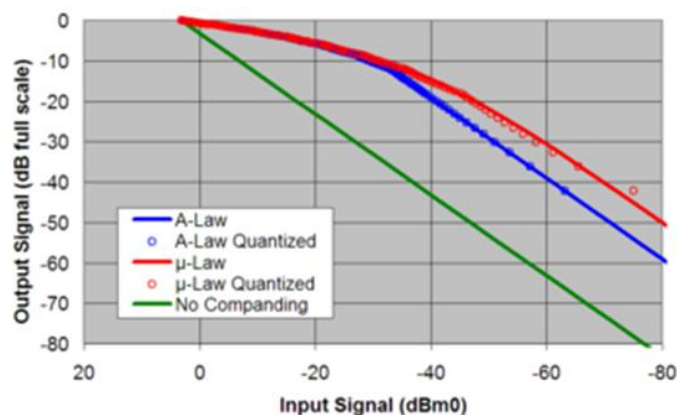
G.711 Dodatak I definiše algoritam za sakrivanje gubitka paketa (*PLC-Packet Loss Concealment*) kako bi se ublažili efekti gubitka paketa u paketizovanoj mreži, posebno u audio sistemu gde se ulazni signal kodira i paketizuje na predajniku pre nego što se šalje preko mreže, gde se u krajnjim tačkama, prima, dekodira i emituje kao audio signal. Kao i G.711, mnogi standardi govornih koda poput G.723.1, G.728 i G.729 takođe imaju PLC algoritme ugrađene u njihove standarde.

### 2.1.3. G.711 Dodatak II

G.711 Dodatak II definiše standardni način za obavljanje prekinutog prenosa (*DTX-Discontinuous Transmission*) u multimedijalni komunikacioni paketski sistem. DTX koristi činjenicu da značajna količina govornog saobraćaja može da ne sadrži govor, već samo pozadinsku buku. Ovo se može detektovati pomoću detektora aktivnosti govora (*VAD-Voice Activity Detector*). Govornik prilikom generisanja govornog signala, generiše i mnoge pauze u govoru koje se nazivaju intervali tišine. Potrebno je proizvesti svojevrsan šum na strani slušaoca za vreme intervala tišine, tako da odgovara zvukovima okoline govornika, tzv. ambijentalni šum. U svrhu imitiranja pozadinske tišine se koristi generator veštačkog šuma (*CNG-Comfort Noise Generator*).

### 2.1.4. A i $\mu$ zakoni kompresije

Dva glavna zakona kompresije, koje definiše G.711,  $\mu$ -zakon i A-zakon, su oba logaritamska, s tim da je A-zakon specijalno dizajniran da bude jednostavniji za kompjutersku obradu. Standard takođe definiše sekvencu ponavljanja vrednosti kodova koji definišu nivo snage od 0 dB.  $\mu$ -zakon i A-zakon koriste algoritme za kodiranje 14-bitnih i 13-bitnih (u Evropi su 13-bitni) linearnih PCM odmeraka (respektivno) u logaritamske osmobarbitne odbirke. G.711  $\mu$ -zakon teži boljoj rezoluciji u višim opsezima signala, dok G.711 A-zakon obezbeđuje više nivoa kvantizacije na nižim nivoima signala. Algoritam  $\mu$ -zakona obezbeđuje mnogo veći dinamički opseg od A-zakona po cenu lošije proporcionalne distorzije za male signale. Po konvenciji, A-zakon se koristi za međunarodne veze ako ga bar jedna država koristi. Navedeni zakoni su prikazani na slici 2.1.4.1.



Slika 2.1.4.1. Grafički prikaz navedenih zakona.

## 2.2. Proširenja G.711 standarda

Objavljena su dva poboljšanja G.711 standarda i to su G.711.0 i G.711.1. G.711.0, takođe poznat kao G.711 LLC (*Lossless compression of G.711*), štedi i do 50% opsega a da pritom ne unosi degradaciju u kvalitet zvuka, zahvaljujući svom algoritmu za kompresiju sa malim gubicima. Čvrsta podrška za standard od strane glavnih igrača, operatera i prodavaca, znači da će se verovatno videti brza primena u proizvodima. Stručnjaci kažu da standard ima veoma nisku procesorsku kompleksnost i zbog toga omogućava laku implementaciju u širokom spektru telekomunikacija. Kompresija sa malim gubicima G.711 standarda je odobrena od strane ITU-T organizacije u septembru 2009. godine. G.711.1 je proširenje G.711 standarda, objavljeno kao ITU-T preporuka G.711.1 u martu 2008. godine. Njegovo zvanično ime je "Širokopojasno ugrađeno proširenje G.711 standarda". G.711.1 dozvoljava dodavanje uskopojasnih i/ili širokopojasnih poboljšanja, što dovodi do brzine prenosa podataka od 64, 80 ili 96kb/s. Može da kodira signale sa frekvencijom 16kHz, propusnog opsega 50-7000Hz, sa protokom 80 i 96kb/s, a sa frekvencijom 8kHz, propusni opseg je 50-4000Hz, a protok iznosi 64 i 80kb/s. Bitski protok ne nosi nikakve informacije o tome koji su slojevi sadržani, pa implementacija zahteva slanje ove informacije signalizacijom van propusnog opsega. Tri G.711.1 sloja su: logaritamska impulsna kodna modulacija (log-PCM) nižeg opsega uključujući povratni signal buke, ugrađeno PCM proširenje sa adaptivnim bitom alokacije za poboljšanje kvaliteta osnovnog sloja u nižem opsegu i kodiranje težinskom vektorskom kvantizacijom višeg opsega, bazirano na modifikovanoj diskretnoj kosinusnoj transformaciji. Pošto je G.711 objavljen 1972. godine, njegovi patenti su odavno istekli, pa je on dostupan svima.

## 2.3. Algoritam A-zakona kompresije

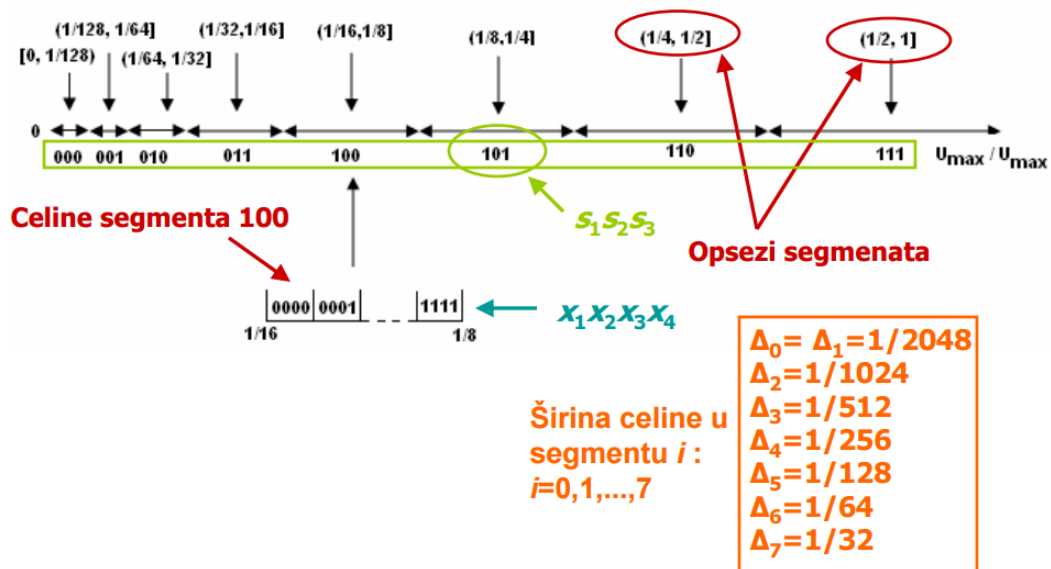
Razlog za kodiranje po A-zakonu kompresije jeste to što širok dinamički opseg govora nije prikladan za efikasno linearno digitalno kodiranje. Kodiranjem po A-zakonu efikasno se smanjuje dinamički opseg signala, čime se povećava kodna efikasnost. A-zakon kompresije uviđa logaritamsku prirodu govornog signala. Niske nivoe govornog signala treba finije kvantizovati, tj. praviti manji šum kvantizacije, nego visoke nivoe govornog signala. A-zakon kompresije  $F(x)$  govornog odmerka se definiše sledećim izrazom:

$$F(x) = \begin{cases} \operatorname{sgn}(x) \cdot \frac{A|x|}{1+\ln A}, & |x| < \frac{1}{A} \\ \operatorname{sgn}(x) \cdot \frac{1+\ln(A|x|)}{1+\ln A}, & \frac{1}{A} \leq |x| \leq 1 \end{cases} \quad (2.3.1)$$

gde je  $x$  normalizovana vrednost odmerka govornog signala, a  $A$  je parametar kompresije koji u Evropi iznosi 87,7 (moguće je koristiti i vrednost 87,6). Na prijemu se mora izvršiti i dekompresija koja je definisana sa:

$$F^{-1}(y) = \begin{cases} \operatorname{sgn}(y) \cdot \frac{|y|(a + \ln A)}{A}, & |y| < \frac{1}{1 + \ln A} \\ \operatorname{sgn}(y) \cdot \frac{e^{|y|(1+\ln A)-1}}{A}, & \frac{1}{1 + \ln A} \leq |y| \leq 1 \end{cases} \quad (2.3.2)$$

Pošto je rad sa logaritamskim krivama neefikasan, kriva kompresije se predstavlja u vidu 8 linearnih segmenata za oba znaka kao što je prikazano na slici 2.3.1.



Slika 2.3.1. Segmenti za apsolutne vrednosti normalizovanih nivoa signala.

Svaki segment se deli na 16 celina iste veličine. Kodirani govorni odmerak ima tri dela informacije. Znak  $z$  definiše predznak govornog odmerka - pozitivan (0) ili negativan (1). Tri bita  $s_1s_2s_3$  definišu u kom segmentu pripada govorni odmerak, dok četiri bita  $x_1x_2x_3x_4$  definišu kojoj celini dotičnog segmenta pripada govorni odmerak. Širine segmenata rastu sa povećanjem nivoa signala, a samim tim i širine celina koje odgovaraju segmentima. To znači da će šum kvantizacije biti manji u regionima koji odgovaraju nižim nivoima govornog odmerka, a veći u regionima koji odgovaraju višim nivoima govornog odmerka. Kada se na prijemu dobije kodirani odmerak, dekodovanje (dekompresija) se vrši tako što dekodovani odmerak dobije nivo koji odgovara sredini celine kojoj pripada kodirani odmerak jer se time dobija minimalni šum kvantizacije (minimizuje se srednja kvadratna greška).

## 2.4. Digitalizacija govornog signala

Kodiranje govora je osnovna funkcija procesiranja u paketskim mrežama za prenos govora. Ono omogućava konvertovanje digitalne predstave govora iz jednog formata u drugi. Uglavnom se ova funkcija svodi na modifikovanje PCM formata govora protoka 64 kb/s u formate sa nižim protokom, tzv. kodiranje. Prilikom vraćanja digitalizovanog govora u PCM format vrši se dekodiranje. Kompresijom govora i smanjenjem protoka, međutim, dolazi i do degradacije kvaliteta govora u odnosu na originalni PCM.

U digitalnim telefonskim centralama se vrši digitalizacija govornog signala po A zakonu kompresije. Za govorni signal koji je digitalizovan upotrebom A zakona kompresije se kaže da je on kodiran G.711 koderom, jer ITU-T preporuka G.711 definiše A i  $\mu$  zakone kompresije. Koderi se često nazivaju i kompresorima – pošto tipično kompresuju govorni signal u cilju ostvarivanja nižeg protoka, a na račun smanjenja kvaliteta govornog signala. Za govorni signal kodiran G.711 koderom kaže se da je “nekomprimovan govorni signal”, iako se koristi A (ili  $\mu$ ) zakon kompresije, iz razloga što G.711 koder daje najverniju reprodukciju govornog signala, ali takođe i zahteva najveći protok (64 kb/s za govorni signal).

## 3. MATLAB SIMULACIJA

Ovo poglavlje će predstaviti simulaciju digitalizacije govornog signala i analizu uticaja *BER*-a na dekodirani govorni signal, kroz tabelu ocena, izveštaj i grafike.

### 3.1. Testiranje govornog signala

Prilikom testiranja, uziman je govorni signal sa mikrofona, pri čemu su dobijeni govorni odmerci, koji su potom normalizovani. Normalizovani odmerci govornog signala su komprimovani po A-zakonu kompresije. Kao rezultat kompresije se dobijaju osmobicni odmerci, koji se zatim propuštaju kroz funkciju koja po slučajnom principu za svaki bit određuje da li će se on invertovati ili će ostati njegova vrednost, pri čemu *BER* predstavlja verovatnoću da će bit biti invertovan. Zatim se vrši dekompresija signala i dobijene dekodovane vrednosti signala se uglavnom malo razlikuju od početnih vrednosti dobijenih iz test izvora. Na zvučnicima su pušteni ton originala i potom ton koji je prošao kroz proces kompresije/dekompresije. Ocenom je subjektivno utvrđeno koliko se razlikuju. Ocene se kreću u granicama od 1 do 5, gde ocena 1 predstavlja najniži, tj. neprihvatljiv kvalitet, ocena 2 predstavlja slab kvalitet, ocena 3 predstavlja dobar, odnosno osrednji kvalitet, ocena 4 predstavlja vrlo dobar kvalitet, a ocena 5 predstavlja odličan, odnosno najviši kvalitet. Testiranje se vrši prvo u tihoj sredini, a zatim i u bučnoj, i za različite vrednosti *BER*-a (podešene na  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  i  $10^{-6}$ ). Rezultati su predstavljeni u tabeli 3.2.1. Nakon toga su prikazani grafici originalnog i izmenjenog signala za svaki od navedenih slučajeva sa komentarima ocene ostvarenog kvaliteta. Kod MatLab programa kojim je izvršeno testiranje se nalazi u prilogu A.

### 3.2. Tabela ocena

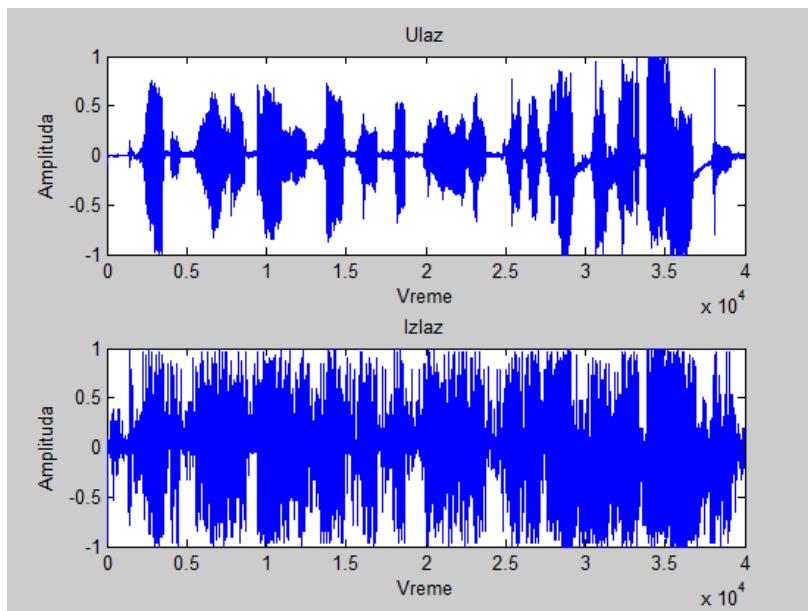
Tiha sredina		Bučna sredina	
BER	Ocena kvaliteta	BER	Ocena kvaliteta
$10^{-1}$	2	$10^{-1}$	1
$10^{-2}$	3	$10^{-2}$	2
$10^{-3}$	4	$10^{-3}$	3
$10^{-4}$	4	$10^{-4}$	4
$10^{-5}$	5	$10^{-5}$	5
$10^{-6}$	5	$10^{-6}$	5

Tabela 3.2.1. Subjektivna ocena kvaliteta signala za različite vrednosti *BER*-a.



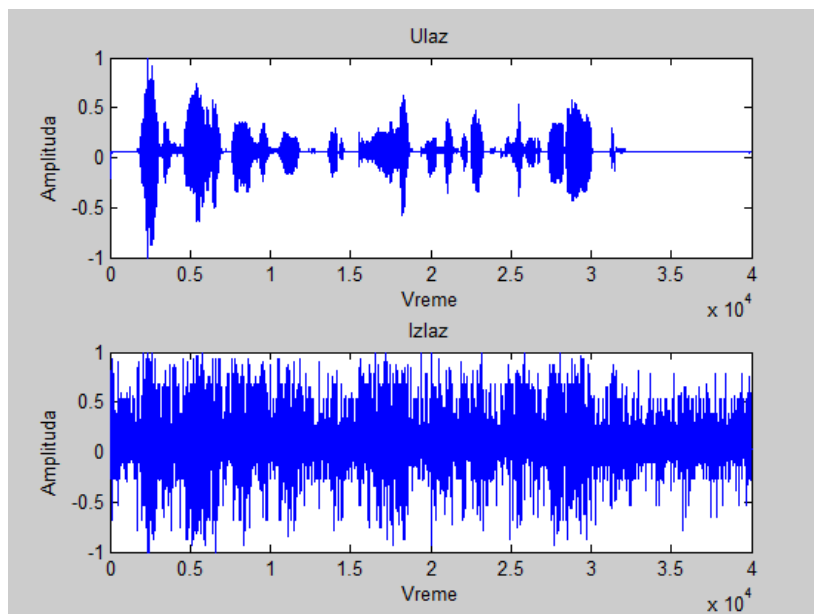
### 3.3. Grafici signala i izveštaj o ostvarenom kvalitetu

Za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-1}$ , za test signal u bučnoj sredini, subjektivna ocena je 1, odnosno najniža, jer zvuk izmenjenog signala ima nezadovoljavajući kvalitet. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala ne liči ni malo na grafik originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.1.



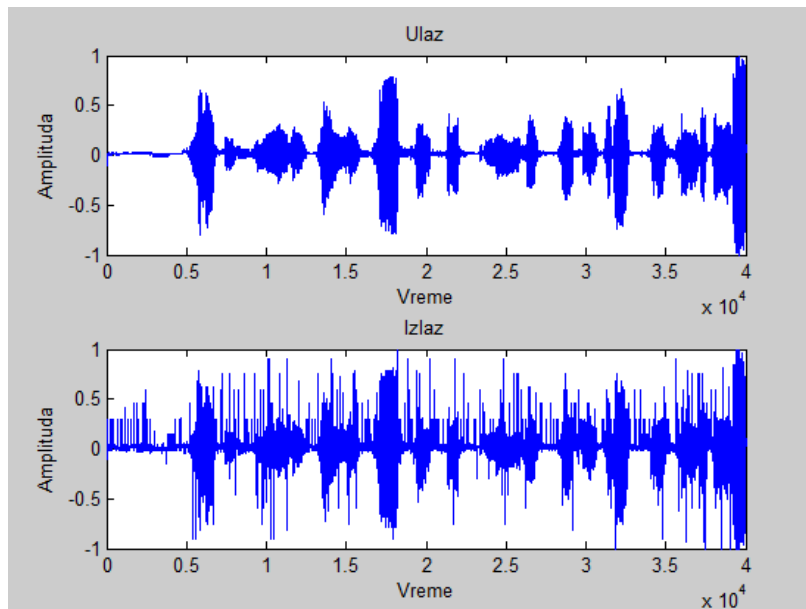
Slika 3.3.1. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-1}$  i bučnu sredinu.

Za test signal u tihoj sredini i istu vrednost  $BER$ -a, ocena kvaliteta je za malo bolja, tj. iznosi 2, jer je zvuk izmenjenog signala je za nijansu bolji od prethodnog slučaja, ali je dalje jako iritantan. Grafik izmenjenog signala je u ovom slučaju za nijansu približniji grafiku originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.2.



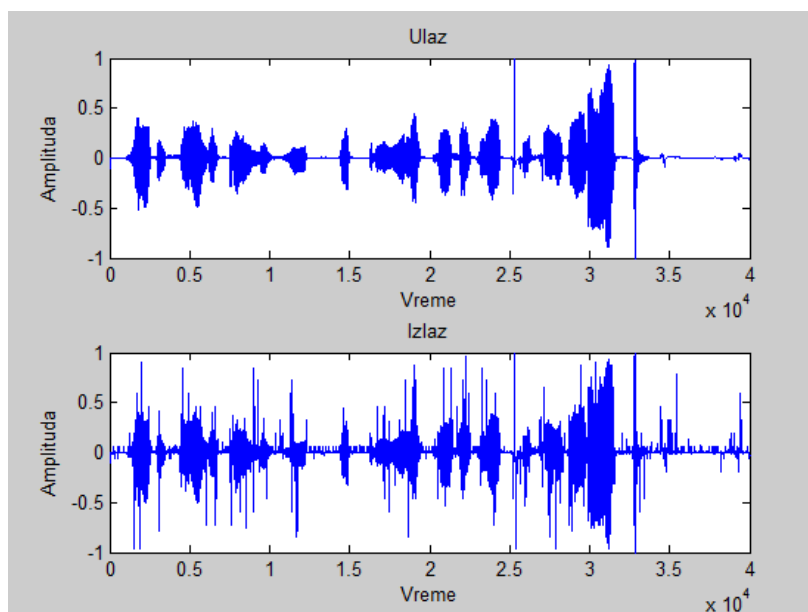
Slika 3.3.2. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-1}$  i tihu sredinu.

Za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-2}$ , za test signal u bučnoj sredini, subjektivna ocena je 2, odnosno kvalitet je slab, jer se zvuk izmenjenog signala čuje ali je slab i iritantan. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala je približan grafiku originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.3.



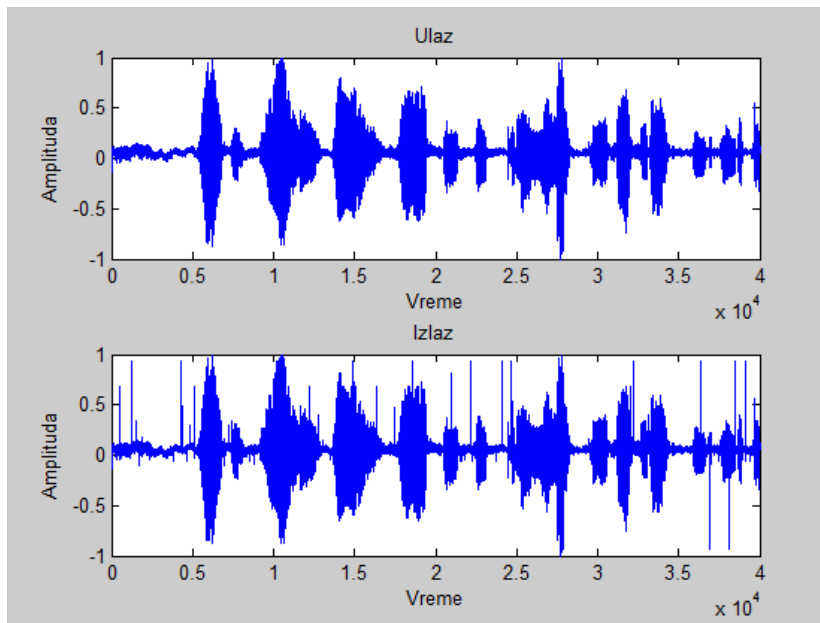
Slika 3.3.3. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-2}$  i bučnu sredinu.

Za test signal u tihoj sredini i istu vrednost  $BER$ -a, ocena kvaliteta je osrednja, tj. iznosi 3, jer je zvuk izmenjenog signala dobar, ali se čuje i šum koji narušava njegov kvalitet. Grafik izmenjenog signala podseća na grafik originalnog signala uz mala izobličenja. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.4.



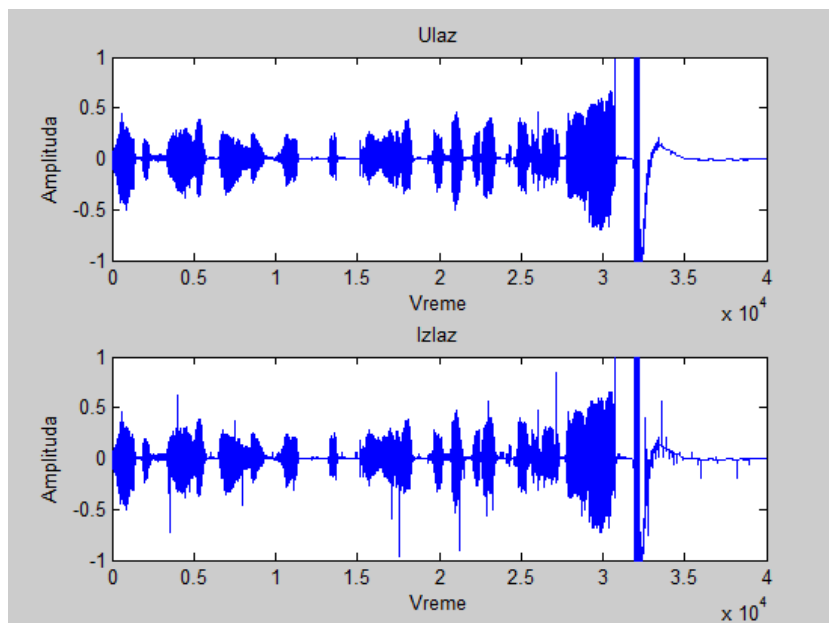
Slika 3.3.4. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-2}$  i tihu sredinu.

Za *BER* fiksiran na vrednost  $10^{-3}$ , za test signal u bučnoj sredini, subjektivna ocena kvaliteta je 3, odnosno, kvalitet je osrednji, jer je zvuk izmenjenog signala dobar, ali se čuje i šum koji narušava njegov kvalitet. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala podseća na grafik originalnog signala uz mala izobličenja. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.5.



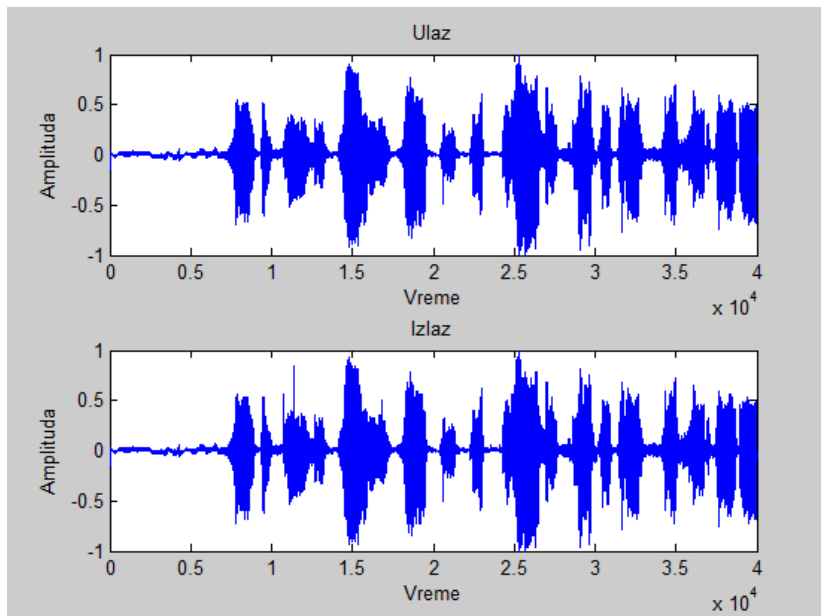
Slika 3.3.5. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za *BER* fiksiran na vrednost  $10^{-3}$  i bučnu sredinu.

Za test signal u tihoj sredini i istu vrednost *BER*-a, ocena kvaliteta je vrlo dobra, tj. iznosi 4, jer se zvuk izmenjenog signala čuo dosta dobro, ali ne i savršeno. Grafik izmenjenog signala dosta podseća na grafik originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slici 3.3.6.

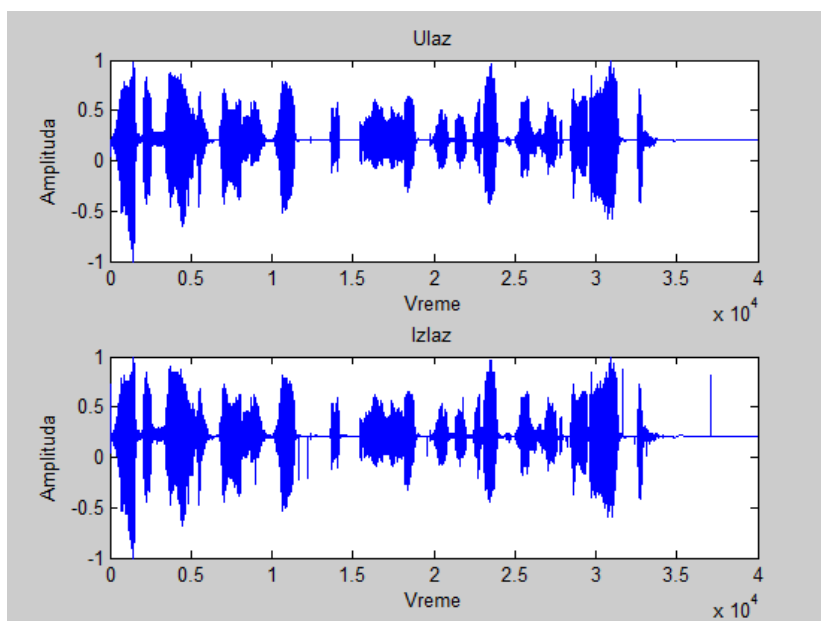


Slika 3.3.6. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za *BER* fiksiran na vrednost  $10^{-3}$  i tihu sredinu.

Za BER fiksiran na vrednost  $10^{-4}$ , za test signal u obe sredine, subjektivna ocena kvaliteta je vrlo dobra, tj. iznosi 4, jer se zvuk izmenjenog signala čuo dosta dobro, ali ne i savršeno. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala dosta podseća na grafik originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slikama 3.3.7. i 3.3.8.

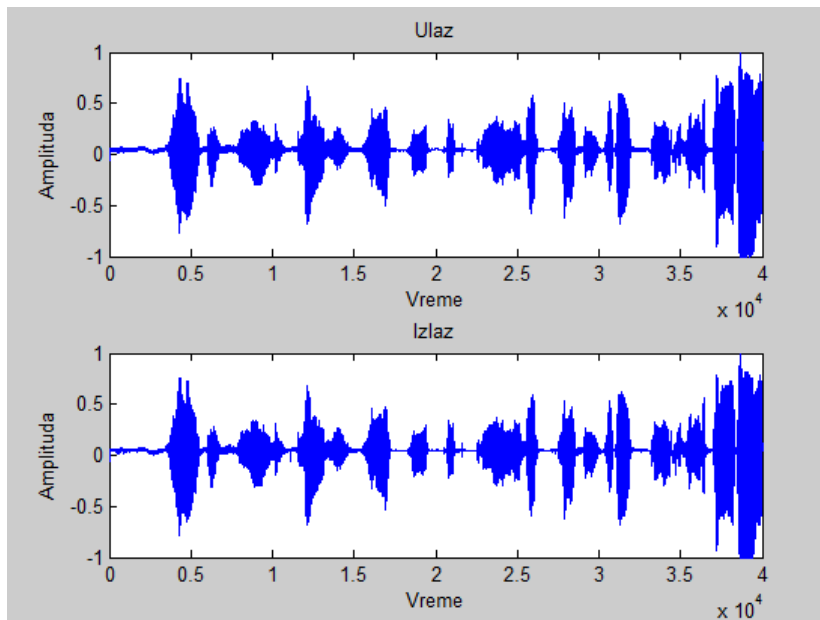


Slika 3.3.7. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost  $10^{-4}$  i bučnu sredinu.

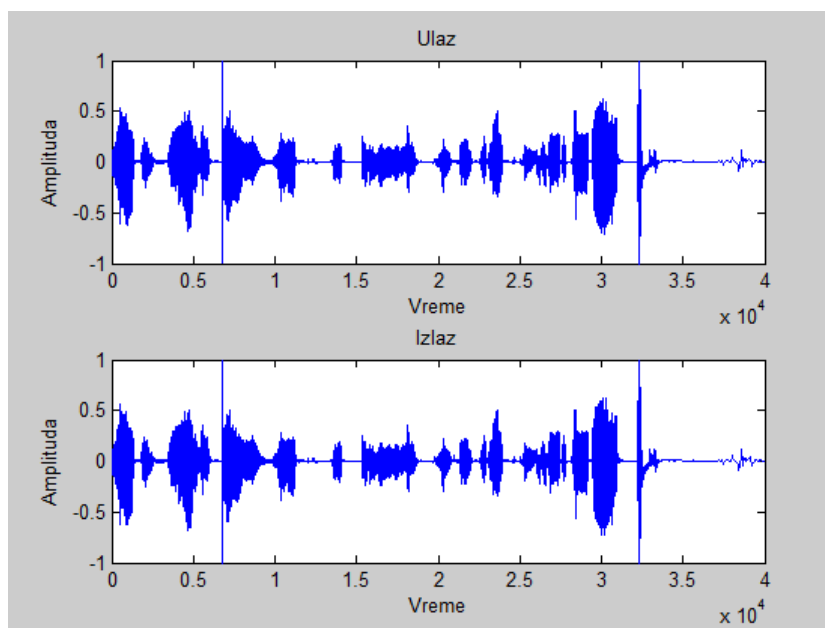


Slika 3.3.8. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost  $10^{-4}$  i tihu sredinu.

Za BER fiksiran na vrednost  $10^{-5}$ , za test signale u obe sredine, subjektivna ocena kvaliteta je najviša, tj. iznosi 5, jer se zvuk izmenjenog signala čuo odlično. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala izgleda kao i grafik originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slikama 3.3.9. i 3.3.10.

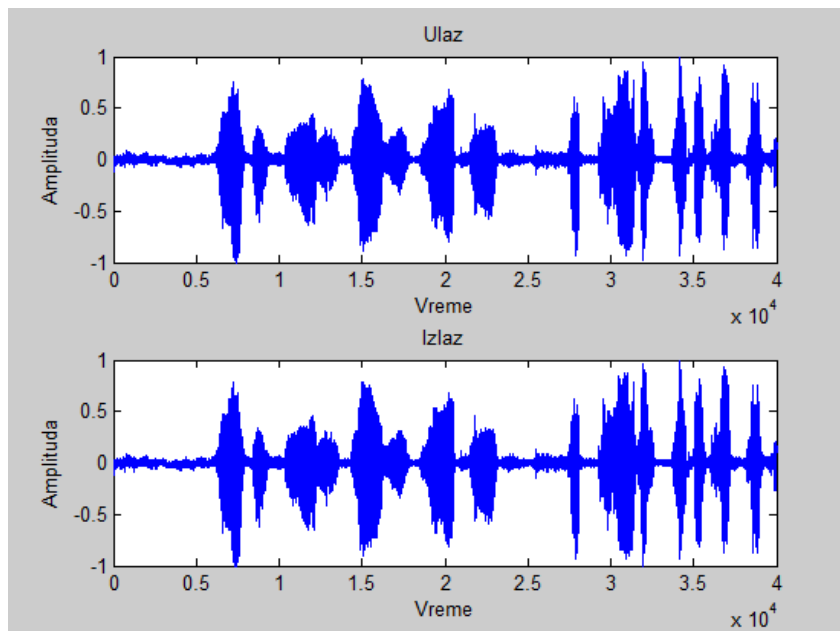


Slika 3.3.9. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost  $10^{-5}$  i bučnu sredinu.

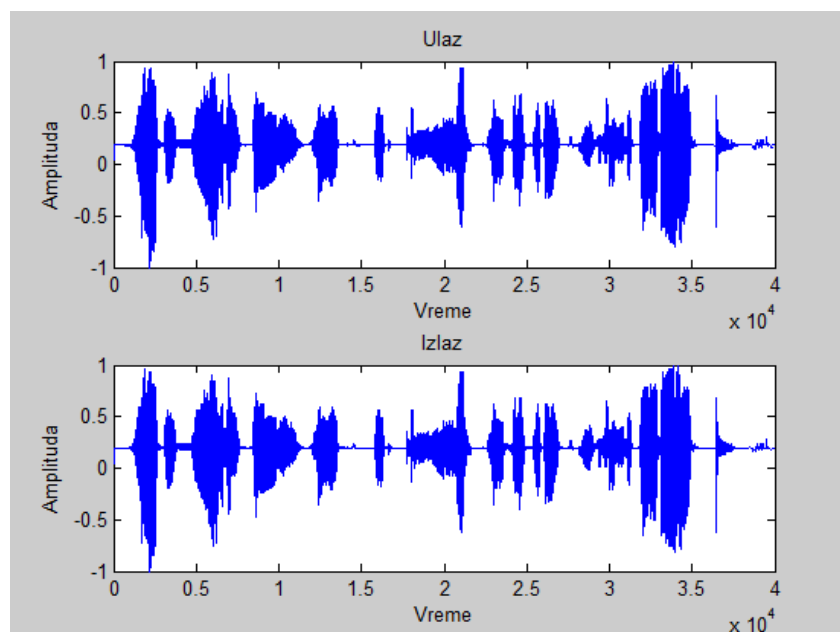


Slika 3.3.10. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za BER fiksiran na vrednost  $10^{-5}$  i tihu sredinu.

Za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-6}$ , za test signale u obe sredine, kao i u prethodnom slučaju, subjektivna ocena kvaliteta je najviša, tj. iznosi 5, jer se zvuk izmenjenog signala čuo odlično. U skladu sa time, grafik izmenjenog signala izgleda kao i grafik originalnog signala. Navedeni grafici su prikazani na slikama 3.3.11. i 3.3.12.



Slika 3.3.11. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-6}$  i bučnu sredinu.



Slika 3.3.12. Grafik originalnog (gore) i izmenjenog (dole) signala za  $BER$  fiksiran na vrednost  $10^{-6}$  i tihu sredinu.

### 3.4. Rezime analize uticaja grešaka

U ovoj simulaciji digitalizacije govornog signala prikazan je uticaj vrednosti *BER*-a na dekodirani govorni signal. Analizirani su slučajevi kada je govorni signal prisutan u tihoj i u bučnoj sredini. Nakon kodiranja A zakonom kompresije govornih signala, koji su uzeti sa mikrofona, i suočavanjem sa vrednostima *BER* funkcije od  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$ ,  $10^{-3}$ ,  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  i  $10^{-6}$ , analiziran je uticaj *BER*-a. Dekodirani signal je pušten preko zvučnika a njegov kvalitet je ocenjivan subjektivnom procenom. Što je vrednost *BER*-a veća to dekodirani govorni signal zvuči lošije. Prilikom smanjivanja vrednosti *BER*-a, govorni signal zvuči sve bolje. Pri tome je u tihoj sredini ocena kvaliteta za govorne signale veća u odnosu na govorne signale u bučnoj sredini, ali je ta razlika primetna samo za vrednosti *BER*-a koje iznose  $10^{-1}$ ,  $10^{-2}$  i  $10^{-3}$ , dok je za vrednosti *BER*-a koje iznose  $10^{-4}$ ,  $10^{-5}$  i  $10^{-6}$  ta razlika, prilikom subjektivnog ocenjivanja, praktično ne postoji. Svi rezultati su prikazani u Tabeli 3.2.1. U digitalnoj obradi signala se  $10^{-6}$  smatra prihvatljivom vrednošću *BER*-a, što znači da ako od 1 000 000 bita koji su preneseni, 1 bit bude pogrešan, signal će i dalje zvučati zadovoljavajuće. Iz Tabele 3.2.1. je moguće zaključiti da je posmatrani signal govora otporan na vrednosti *BER*-a  $10^{-5}$  i  $10^{-6}$ , tako da se, u datoj simulaciji digitalizacije govornog signala, prihvatljivom vrednošću *BER*-a smatra ne samo  $10^{-6}$  nego i  $10^{-5}$ .

## 4. ZAKLJUČAK

U ovom radu je izvršena simulacija digitalizacije govornog signala korišćenjem MatLab alata, pri čemu je govorni signal komprimovan po A-zakonu kompresije za različite vrednosti *BER*-a. Nakon dekompresije govornog signala, signal koji je prošao kroz proces kompresije/dekompresije je upoređivan sa početnim koji je uziman sa mikrofona. Analizom je utvrđeno da smanjivanjem vrednosti *BER*-a, govorni signal zvuči sve bolje. Pri tome je u tihoj sredini ocena kvaliteta za govorne signale veća u odnosu na govorne signale u bučnoj sredini, ali je ta razlika primetna samo za veće vrednosti *BER*-a. Zaključeno je da je posmatrani signal govora, u datoj simulaciji, otporan na vrednosti *BER*-a  $10^{-5}$  i  $10^{-6}$ .

Neke od mogućnosti za dalje unapređenje ovog rada su ista analiza korišćenjem drugih audio kodeka, npr. G.726, G.728 ili G.729, zatim primenjivanjem PLC algoritma kako bi se ublažili efekti gubitka paketa u paketizovanoj mreži, i slično.



## **LITERATURA**

- [1] Fundamentals of Voice-Quality Engineering in Wireless Networks, Avi Perry, 2007.
- [2] CCNA Voice Study Guide: Exam 640 - 460, Andrew Froehlich, 2010.
- [3] <http://what-when-how.com/ccnp-ont-exam-certification-guide/digitizing-and-packetizing-voice-cisco-voip-implementations/>
- [4] [http://www.informit.com/library/content.aspx?b=CCIE\\_Practical\\_Studies\\_I&seqNum=73](http://www.informit.com/library/content.aspx?b=CCIE_Practical_Studies_I&seqNum=73)
- [5] <https://www.cs.ucsb.edu/~mturk/Courses/CS290I-2012/misc/1Gto4G.pdf>
- [6] <http://www.ijcta.com/documents/volumes/vol5issue5/ijcta2014050534.pdf>
- [7] <http://telekomunikacije.etf.rs/predmeti/te4ks/ks.php>
- [8] <http://www.informatika.buzdo.com/pojmovi/mobile-1.htm>
- [9] <http://home.elka.pw.edu.pl/~mroj/h323/homepage/works/mroj/html/audio/g711-impl.htm>
- [10] <https://www.itu.int/rec/T-REC-G.711>
- [11] <http://www.w3tel.com/voip/g711.html>
- [12] <http://www.bdtic.com/download/ST/AN1881.pdf>

## A. KOD MATLAB PROGRAMA

Kod programa za datu simulaciju govornog signala u MatLab-u izgleda ovako:

```
BER = 0.1;

% snimanje zvuka tokom 5 sekundi
recObj = audiorecorder;
disp('Pocnite da govorite u mikrofoni.')
recordblocking(recObj, 5);
disp('Prestanite da govorite.');
```

```
% ton originala
play(recObj);
```

```
% uzimanje odmeraka govornog signala
rezultat = getaudiodata(recObj);
rezultat = rezultat';
```

```
% normalizovanje odmeraka govornog signala
normalizovan = ((rezultat-min(rezultat))./(max(rezultat)-min(rezultat)) - 0.5 )
*2;
rezultat = normalizovan;
```

```
% prvi deo grafickog prikaza - originalni govorni signal
subplot(2,1,1);
plot(rezultat);
xlabel('Vreme')
ylabel('Amplituda')
title('Ulaz')
```

```
for j=1:length(rezultat)
    i = 0;
    neg = 0;           % jedan bit koji definise predznak govornog odmerka
    gornja = 0;       % gornja i donja odredjuju gornju i donju granicu
    donja = 0;        % segmenta kome pripada doticni govorni signal
    bitil = 0;        % bitil su 3 bita koja definisu kojem segmentu
                    % pripada govorni odmerak

    if (rezultat(j) < 0) % odredjivanje znaka govornog odmerka
        neg = 1;
        rezultat(j) = abs(rezultat(j));
    end;

    while (i < 7)      % odredjivanje segmenta govornog odmerka
        gornja = 2^(-i);
        donja = 2^(-i-1);

        if (donja < rezultat(j) && rezultat(j) <= gornja)
```

```
        biti1 = 7-i;
        break;
    end;
    i = i+1;
end;

imenilac = 1/donja*16;
biti2 = 0;           % biti2 su 4 bita koji definisu kojoj celini
i = 16;             % doticnog segmenta pripada govorni odmerak
while (i <= 31)    % odredjivanje celine unutar segmenta govornog
                  % odmerka

    if (i/imenilac < rezultat(j) && rezultat(j) <= (i+1)/imenilac)
        biti2 = i-16;
        break;
    end;

    i = i+1;
end;

% formiranje kodirane osmобitne vrednosti odmerka siftovanjem bita
odmerak = neg*128 + biti1*16 + biti2;

disp(['Kodirani osmобitni odmerci = ', dec2bin(odmerak)]);

% BER
for k = 1:8
    if (rand() < BER)
        odmerak = bitxor(odmerak, 2^(k-1));
    end;
end;

% formiranje dekodirane osmобitne vrednosti odmerka
disp(['Dekodirani osmобitni odmerci = ', dec2bin(odmerak)]);

% odredjivanje vrednosti odbirka nakon procesa kompresije/dekompresije
neg = bitget(odmerak, 8);
biti1 = bitand(odmerak, 7*16) / 16;
biti2 = bitand(odmerak, 15);

donja = 2^(7-biti1+1);
rezultat(j) = 1/donja + (biti2+1)/(donja*16);
if (neg > 0)
    rezultat(j) = -rezultat(j);
end;

disp(rezultat(j));

end;

denormalizovan = (rezultat./2+0.5) * (max(rezultat)-min(rezultat)) +
min(rezultat);
rezultat = denormalizovan;

% drugi deo grafickog prikaza - izmenjeni govorni signal
subplot(2,1,2);
```

```
plot(rezultat);  
xlabel('Vreme')  
ylabel('Amplituda')  
title('Izlaz')  
sound(rezultat);      % ton izmenjenog signala
```