

**SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB**

ZVONIMIR BUŽANIĆ

**PULSNO KODNO MODULACIJSKI
SUSTAV**

SEMINARSKI RAD

Zagreb, 2015

SVEUČILIŠTE U ZAGREBU
FAKULTET PROMETNIH ZNANOSTI
ZAGREB

PULSNO KODNO MODULACIJSKI SUSTAV

SEMINARSKI RAD

Kolegij: Informacije i komunikacije

Mentor: Prof. dr. sc. Dragan Peraković

Student: Zvonimir Bužanić, II godina studija

Matični broj: 1192 010 413

Zagreb, 2015

Sadržaj

1. Uvod	3
2. Pulsno kodna modulacija	4
2.1. Uzorkovanje	5
2.2. Kvantizacija	6
2.3. Kodiranje	10
2.4. Demodulacija.....	11
3. Primjena PCM sustava	12
4. Zaključak	13
5. Literatura	14

1. Uvod

Da bi informaciju mogli prenositi medijem, informaciju moramo pripremiti za prijenos medijem. Na odašiljačkoj strani informaciju je potrebno pretvoriti u oblik prikladan za prijenos. A na prijemnoj strani obrađenu informaciju vraćamo u izvorni oblik, izvor [11].

U elektroničkoj komunikaciji prijenos informacija se obavlja preko električnog signala, a postupak transformacije električnog signala koji nosi informaciju radi prilagodbe za prijenos nazivamo modulacija. Obrnuti postupak modulacije naziva se demodulacija.

Najranija upotreba uzorkovanja signala korištena je za ispreplitanje uzoraka različitih telegrafskih izvora i prenošenje istih preko jedne telegrafske žice.

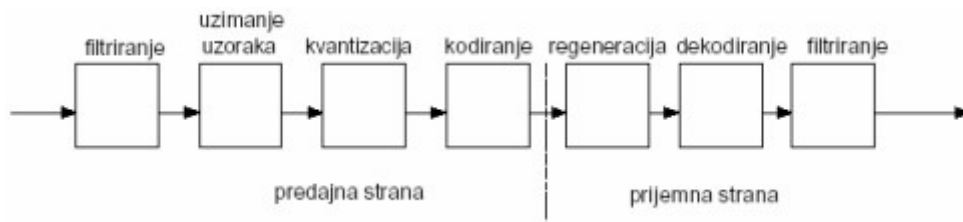
Britanski inženjer Alec Reeves 1937. izmišlja korištenje PCM-a za govornu komunikaciju 1937. godine radeći za "Internacionalni Telefon i Telegraf" u Francuskoj te opisuje teoriju i prednosti, no to nije polučilo praktične rezultate. 1938. godine prijavljuje patent u francuskom patentnom uredu, izvor [2].

Prvi prijenos govora digitalnom tehnikom je koristila SIGSALY enkripcijska oprema korištena tijekom drugog svjetskog rata 1943. godine koju su napravili Bell Labs istraživači, izvor [2].

Američki izumitelj Moses G. Farmer prvi je koristio vremenski multipleks (TDM - Time Division Multiplexing) u telegrafiji 1953. godine, izvor [2].

2. Pulsno kodna modulacija

Pulsno kodna modulacija (PCM) je metoda diskretne modulacije s kojom se analogni izvorni signal pretvara u digitalni (Slika 1.) i obratno te je prilagođena karakteristikama govornog kanala, izvor [4]. Prednost ovakve vrste modulacije je velika otpornost na smetnje te mogućnost potpune regeneracije u slučaju utjecaja smetnji i koristi se na kratkim udaljenostima, a za veće udaljenosti koristi se grupiranje PCM-a.



Slika 1. Blok shema dobivanja i prijenosa PCM signala, izvor [8]

PCM sustav se dijeli na tri osnovna koraka:

- uzorkovanje (Sampling).
- kvantiziranje (Quantization).
- kodiranje (Coding).

Postoji i varijacija PCM-a koja omogućuje kompresiju bez gubitka kvalitete, tj. diferencijalno pulsno kodna modulacija (DPCM).

Kod DPCM-a kodne riječi ne kodiraju same uzorke (kao kod PCM-a), već razlike između uzoraka. Na primjer, ako digitaliziramo jednu liniju slike pomoću DPCM-a, kodna riječ će predstavljati razliku u svjetlini između trenutnog piksela i njegovog lijevog susjeda. Poanta je u činjenici da postoji mnogo vrsta signala kod kojih se uglavnom pojavljuju male razlike između susjednih uzoraka. Kad na takav signal primijenimo DPCM, kodne riječi koje označavaju male razlike bit će naglašeno zastupljenije od ostalih. Korištenjem nejednolikog kodiranja te kodne riječi bit će vrlo kratke i dobit ćemo prilično dobar stupanj kompresije.

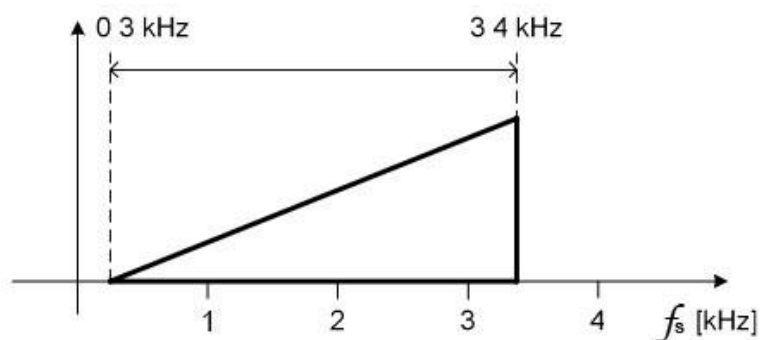
Kodiranje DPCM-om spada u grupu kodova s predviđanjem. Predviđa se da će sljedeća vrijednost biti slična trenutnoj i ako je predviđanje bilo ispravno, dobivamo kratki kod potreban za prikaz sljedeće veličine, a u slučaju pogreške, dulji kod nego da je primijenjeno jednoliko kodiranje. Vrijednost koja služi za predviđanje sljedećeg uzorka zove se prediktor, izvor [14].

2.1. Uzorkovanje

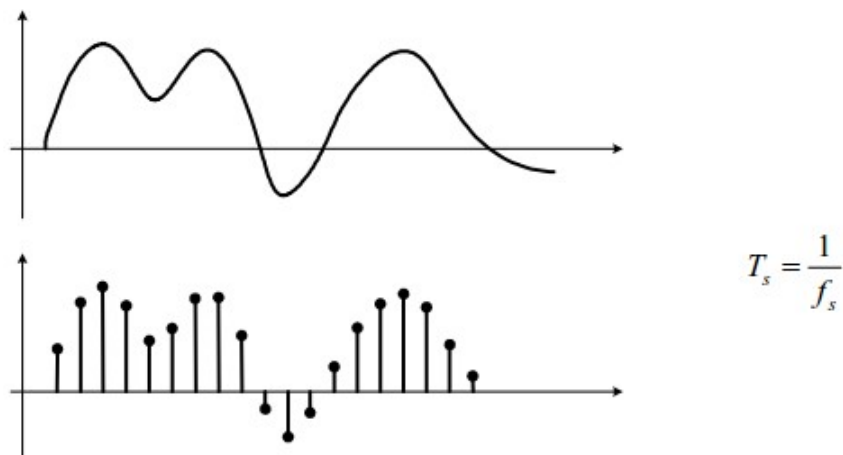
Analogni signal iz izvora se šalje na uzorkovanje (diskretiziranje signala po vremenskoj bazi), koje se vrši u pravilnim vremenskim razmacima. Rezultantni signal se naziva PAM (Pulse Amplitude Modulation), izvor [12]. Kako se većina govornog signala nalazi između 300 Hz i 3400 Hz (Slika 2.) spektar govornog kanala frekvencija uzorkovanja mora biti prema Nyquist-Shannon-ovom teoremu, izvor [2]: $f_s \geq 2 \cdot f_{\max}$

f_s – frekvencija uzimanja uzorka (sampling rate)

f_{\max} – gornja granična frekvencija signala (bandwidth)



Slika 2. Spektar govornog kanala, izvor [4]



Slika 3. Uzorkovanje signala, izvor [4]

U analognom kontinuiranom signalu ne smije biti viših frekvencija nego što je polovica frekvencije uzorkovanja f_s , kako bi pretvorba iz kontinuiranog signala u niz diskretnih impulsa (i obrnuto: pretvorba iz niza diskretnih impulsa u kontinuirani signal) bila moguća bez ikakvog gubitka informacije, izvor [12].

2.2. Kvantizacija

Prilikom kreiranja PCM signala nakon uzorkovanja potrebno je podatke kvantizirati (diskretiziranje signala po trenutnoj vrijednosti amplitude) tj. zaokružiti vrijednosti uzoraka na najbližu kvantizacijsku razinu. Spektar mogućih amplituda se podijeli na određeni broj kvantizacijskih intervala, a sredina kvantizacijskog intervala naziva se kvantizacijska razina ili stepenica (Slika 4). Kvantizacijom ne možemo dobiti stvarnu amplitudu vrijednosti uzorka već ispitujemo i dajemo najbliže stanje, izvor [12].

Pošto se svaki uzorak analognog govornog signala kodira s 8 bita, broj mogućih kodnih kombinacija je $2^8 = 256$. Ove kodne kombinacije se zovu kvantizirane vrijednosti.

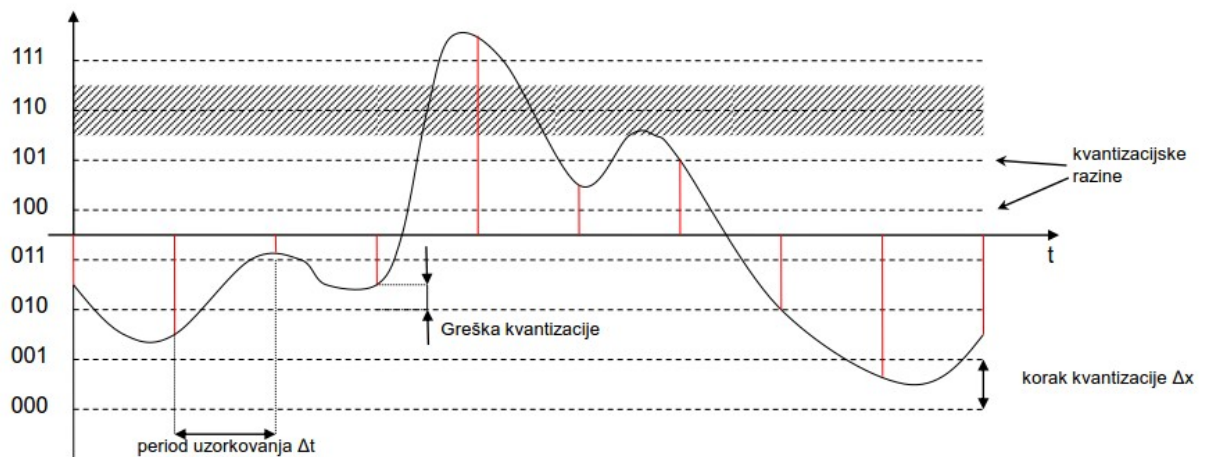
Kvantizirane vrijednosti su cijeli brojevi od -127 do 127 ili od 0 do 256 ovisno o načinu modulacije. U postupku kvantizacije svakom uzorku analognog signala se pridružuje jedna od 256 kvantiziranih vrijednosti. Time se unosi greška tzv. šum kvantizacije, jer po vrijednostima malo različiti uzorci mogu imati istu kvantiziranu vrijednost, izvor [5].

$$S = b^m$$

S – broj razina kvantizacije

b – broj stanja

m – broj elemenata



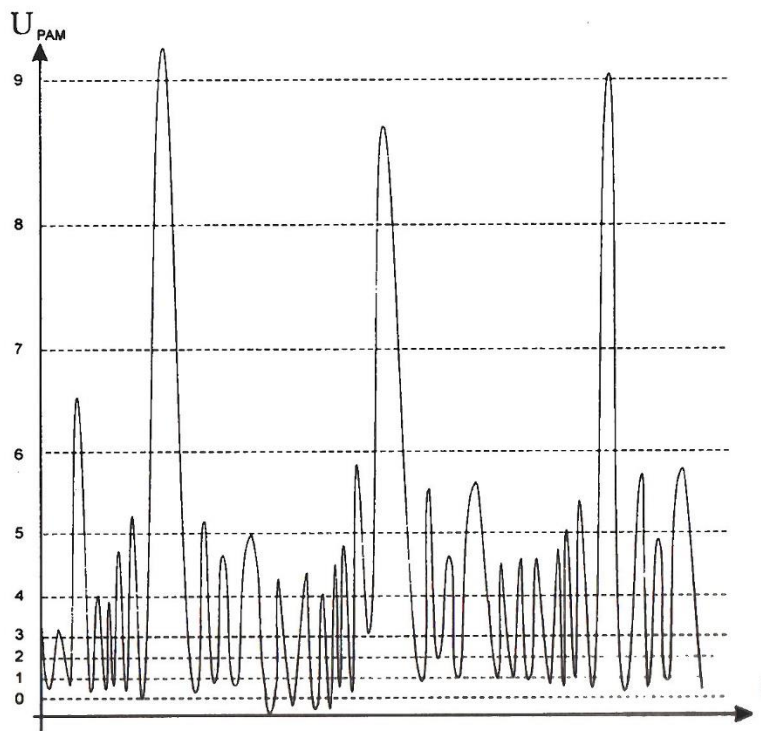
Digitalni signal:

011 010 011 010 111 101 101 010 001 010

Slika 4. Postupak linearne kvantizacije, izvor [9]

Kvantizacijska izobličenja mogu stvoriti nelinearna preslušavanja između pojedinih govornih signala, a da bi takve efekte smanjili potrebno je odabrati veliki broj stupnjeva razine S u slučaju linearne raspodjele razina, izvor[5].

Za ljudsko uho potrebno je uvesti nelinearno stupnjevanje razina amplitude tj. nelinearnu kvantizaciju (Slika 5.) kako bi se smanjile velike kvantizacijske pogreške, izvor [1].



Slika 5. Primjer nelinearne kvantizacije, izvor [1]

U slučaju da primarni signal prvo komprimiramo, a zatim provedemo linearnu kvantizaciju, efekt će biti identičan nelinearnoj kvantizaciji.

Postoje tri postupka nelinearnog stupnjevanja, izvor [1]:

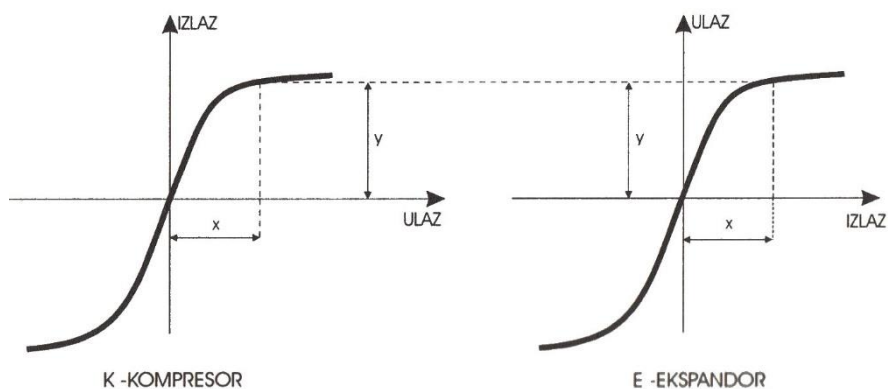
- komprimiranje PAM uzoraka kompresorom trenutanih vrijednosti, te se zatim linearno kvantizira,
- kvantizacija i kodiranje amplitudnih vrijednosti PAM signala se izvode istodobno,
- komprimiranje primarnog signala kompendorom, te se zatim linearno kvantizira.

Kompandor je uređaj koji se sastoji od kompresora na predajnoj strani i ekspandora na prijamnoj strani komunikacijskog sustava (Slika 6.).



Slika 6. Blok shema kompresora i ekspandora, izvor [1]

Kompresor male signale poveća, a velike smanji tj. smanji dinamiku signala, dok ekspandor ima invertnu zadaću od kompresora (Slika 7.). Značajke kompresora i ekspandora moraju biti komplementarne tj. ako bi se vezale onda komparator ne stvara izobličenja jer je ulazni signal u kompresor jednak izlaznom signalu iz ekspandora, izvor [1].

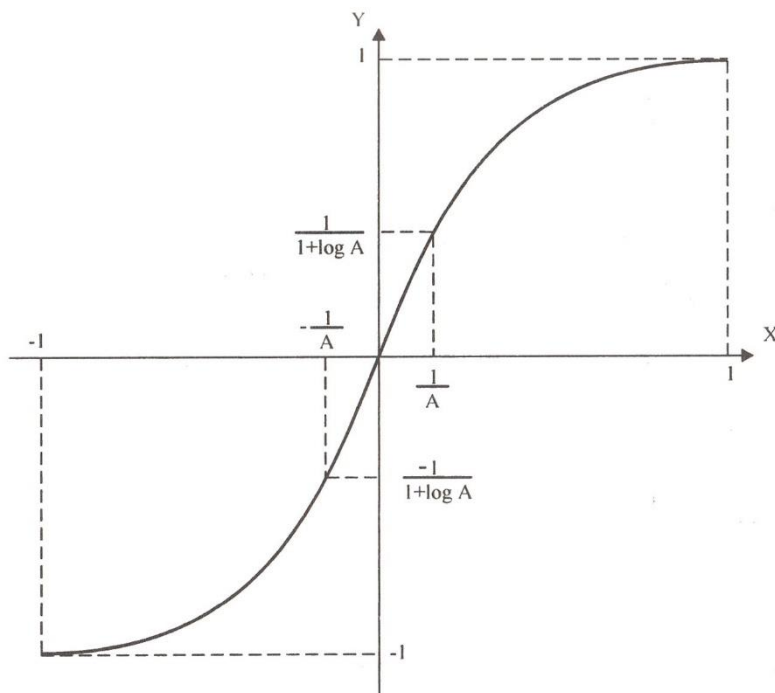


Slika 7. Značajke kompresora, izvor [1]

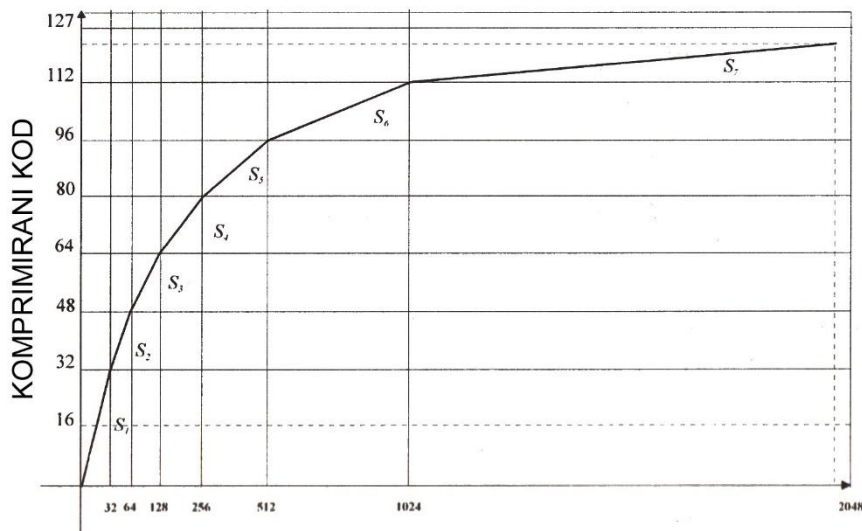
Logaritamska A karakteristika (A-law algorithm) sastoji se od 13 linearnih segmenata (Slika 8 i 9) i koristi se u Europskoj 8-bitnoj digitalnoj PCM komunikaciji za optimiziranje tj. modificiranje dinamičkog obujma analognog signala za digitalizaciju. Svaki segment je veličine amplitude od jedne razine, osim segmenta koji prolazi kroz ishodište i ima veličinu amplitude od 4 razine, izvor [1]. Faktor kompresije iznosi $A = 87,6$.

Relacija linearnog dijela logaritamske A karakteristike:

$$y = \frac{Ax}{1 + \log A} \quad \text{vrijedi za } \left(-\frac{1}{A} \leq x \leq \frac{1}{A}\right)$$



Slika 8. Logaritamski A zakon kompresije, izvor [1]



Slika 9. Pozitivni dio karakteristike A zakona kompresije, izvor [1]

Relacija za pozitivni dio logaritamskog zakona kompresije, izvor [1]:

$$y = \frac{1 + \log(Ax)}{1 + \log A} \quad \text{vrijedi za } \left(\frac{1}{A} \leq x \leq 1\right)$$

Relacija za negativni dio logaritamskog zakona kompresije, izvor [1]:

$$y = \frac{1 + \log(-Ax)}{1 + \log A} \quad \text{vrijedi za } \left(-1 \leq x \leq \frac{1}{A}\right)$$

Dobitak kod kompresije kod A zakona iznosi, izvor [1]:

$$\frac{A}{1 + \log A}$$

Logaritamski μ zakon kompresije koji se koristi u SAD-u i Japanu ima faktor kompresije $\mu = 255$ i izražavamo ga u pozitivnom dijelu relacijom, izvor [1]:

$$y = \frac{\log(1 + \mu x)}{\log(1 + \mu)} \quad \text{vrijedi za } (0 \leq x \leq 1)$$

Relacija za pozitivni dio, izvor [1]:

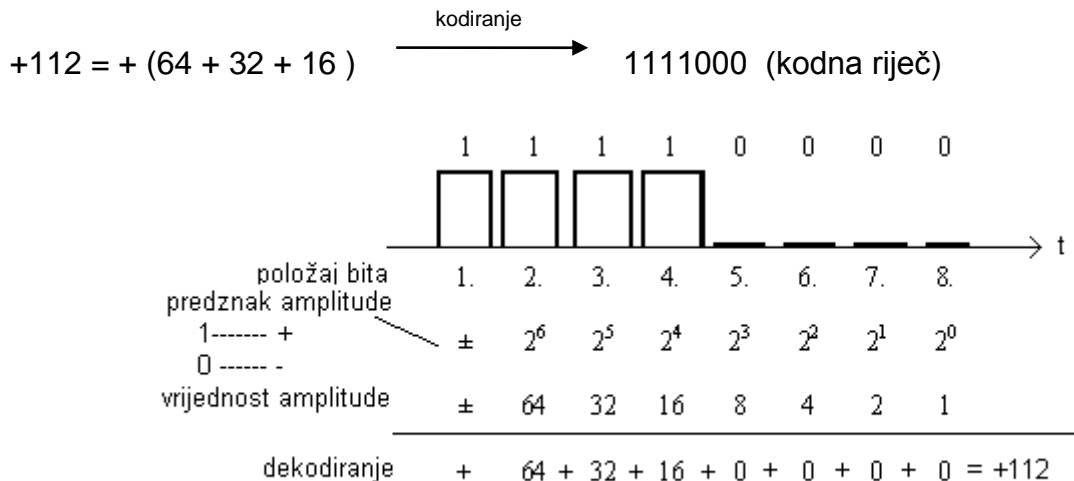
$$y = \frac{\log(1 - \mu x)}{\log(1 + \mu)} \quad \text{vrijedi za } (-1 \leq x \leq 0)$$

2.3. Kodiranje

Kvantizirane vrijednosti uzoraka analognog signala se kodiraju s 8 bita tj. pretvaraju u niz od osam 1 i 0 odnosno u niz strujnih i bestrujnih impulsa prepoznatljivih kao digitalni signal, izvor [5].

Brzina ovog signala iznosi 64 kbit/s ($8000 \text{ uzoraka/s} \cdot 8 \text{ bita} = 64000 \text{ bita/s}$) i predstavlja osnovnu brzinu na kojoj se grade digitalni sustavi većih brzina (Slika 10.).

Primjer: Kvantizirana vrijednost amplitude PAM signala ili uzorka je +112.

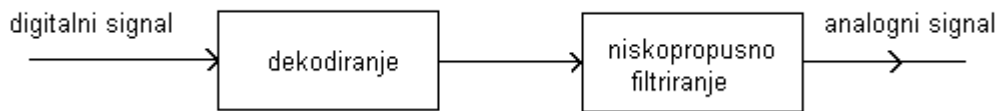


Slika 10. 8-bitni binarni kod, izvor [5]

U PCM modulaciji kvantizirane vrijednosti mogu biti i samo cijeli brojevi od 0 do 256, ali tada 1. bit (most significant bit) kao najznačajniji bit ima vrijednost $2^7 = 128$, a ne određuje predznak kvantizirane vrijednosti. Ali opet će svi uzorci negativnih vrijednosti (naponi negativnog polariteta) imati 1. bit 0, a oni pozitivnih vrijednosti (naponi pozitivnog polariteta) 1. Tada je 1. bit bit najvećeg značaja ili vrijednosti (MSB), a 8. bit je bit najmanjeg značaja ili vrijednosti (LSB – least significant bit), izvor [5].

2.4. Demodulacija

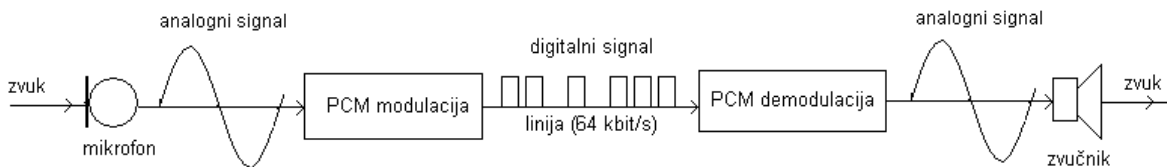
PCM demodulacijom pretvara se digitalni u analogni signal (Slika 11.).



Slika 11. Blok shema demodulacije, izvor [5]

Dekodiranjem digitalnog signala dobivaju se kvantizirane vrijednosti amplituda PAM signala (uzoraka analognog signala). Ovaj signal nije potpuno isti kao signal nakon uzorkovanja u modulaciji jer se u fazi kvantizacije svim uzorcima koji su upali u isti interval kvantizacije pridruživala ista kvantizirana vrijednost iako su oni po iznosu mogli biti malo različiti. Ova greška se naziva šum kvantizacije, a manja je što je više intervala kvantizacije tj. veći broj bita, izvor [5].

Nakon propuštanja PAM signala kroz niskopropusni filter (npr. RC filter) dobiva se analogni signal kao reprodukcija originalnog signala. Ovaj signal se pomoću izlaznog pretvarača reproducira u odaslanu informaciju (npr. preko zvučnika u zvuk) (Slika 12.).



Slika 12. Digitalni prijenos zvuka, izvor [5]

3. Primjena PCM sustava

Pulsko kodna modulacija je implementirana u slijedećim primjerima, izvor [2]:

- LPCM se koristi za uzorkovanje bez gubitaka zvučnog signala na kompaktnom disku, tj. Audio CD-u koji je predstavljen 1982. godine.
- Na računalima, PCM i LPCM označavaju format korišten u WAV (definiran 1991. godine) i AIFF zvučnim audio formatima (definiran 1988. godine).
- LPCM je definiran kao dio DVD (od 1995-te) i Blu-ray (od 2006-te godine) standarda. Također definiran je i kao dio raznih digitalnih video i audio formata poput DV-a i AVCHD-a.
- HDMI (definiran 2002. godine) koristi LPCM za prijenos nekomprimiranog digitalnog sadržaja, također LPCM koristi i DisplayPort (definiran 2008. godine).

Unatoč raznolikom korištenju PCM-a postoje i potencijalni problemi svakog sustava, izvor [2]:

- Izbor diskretne vrijednosti koja je blizu, ali nije identična jačini analognog signala za svaki uzorak može prouzročiti kvantizacijsku grešku.
- Nema izmjere signala između uzoraka. Teorem uzorkovanja garantira nedvosmislenu reprezentaciju i regeneriranje signala samo ako nema snage pri frekvenciji $f_s/2$ ili višoj. Generalno, više frekvencije nisu točno prezentirane ili regenerirane.
- Obzirom da su uzorci ovisni o vremenu, potrebno je imati točno vrijeme za točnu reprodukciju. Ukoliko vrijeme uzorkovanja ili dekodiranja nije stabilno, frekvencijski pomak će direktno utjecati na izlaznu kvalitetu iz uređaja.

4. Zaključak

Pulsno kodna modulacija je metoda koja se koristi za digitalni prikaz analognog signala te je standardna forma za digitalni audio na računalima, kompaktne diskove, digitalnu telefoniju i ostalu digitalno audio primjenu jer kao što se može vidjeti u upotrebi je preko četrdeset godina.

Koristi za uzorkovanje nekomprimiranog zvuka i praktički je nezamjenjiva i iako ova vrsta modulacije ima nedostataka, novim varijantama pokušava se postići puno veće stupnjeve kompresije od postojećih uz vrlo male gubitke kvalitete signala, čak i do 100:1, odnosno smanjenje izlaznog podatka na manje od 1% podatka kojeg imamo na ulazu.

Najvažniji kriterij pri takvim istraživanjima je percepcija zvuka kod ljudskog uha i vida kod ljudskog oka. Kao posljedica istraživanja kompresije nastao je JPEG format koji je danas praktički standard za komprimiranje slika na mobitelima, fotoaparata i računalima, te MPEG koji je zadužen za kompresiju video signala (DVD, BlueRay).

5. Literatura

1. Frane Jelušić: Informacije i komunikacije, Fakultet prometnih znanosti, Zagreb, 1999.
2. http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-code_modulation, (siječanj 2015.).
3. http://marjan.fesb.hr/~radic/ksip_0708/ksl_0708ch5.html (siječanj 2015.).
4. https://www.fer.unizg.hr/_download/repository/%5Blab01%5D_PDHLab_Script_-_prosirena.pdf (siječanj 2015.).
5. <http://www.ss-strukovna-vvlatkovic-zd.skole.hr/upload/ss-strukovna-vvlatkovic-zd/newsattach/65/predavanjaINFORMACIJE1.doc> (siječanj 2015.).
6. http://oldwww.rasip.fer.hr/research/compress/algorithms/fund/pcm/index_hr.html (siječanj 2015.).
7. http://hr.swewe.net/word_show.htm/?1395042_1&PCM (siječanj 2015.).
8. <http://www.fpz.unizg.hr/ztos/PRSUS/Modulacija.pdf> (siječanj 2015.).
9. http://e-student.fpz.hr/Predmeti/I/Informacije_i_komunikacije/Materijali/Multipleks_PCM.pdf (siječanj 2015.).
10. http://e-student.fpz.hr/Predmeti/I/Informacije_i_komunikacije/Materijali/9_Digitalni_komunikacijski_sustavi_2.pdf (siječanj 2015.).
11. <http://www.unidu.hr/unidu/rm/digitalni%20signali%20i%20modulacije.pdf> (siječanj 2015.).
12. <http://www.pfri.uniri.hr/~tudor/materijali/SIGNALI.htm> (siječanj 2015.).
13. http://act.rasip.fer.hr/materijali/17/CCS_VJ3Add.pdf (siječanj 2015.).
14. http://oldwww.rasip.fer.hr/research/compress/algorithms/fund/pcm/dpcm/index_hr.html (siječanj 2015.).