

PROJEKTNII ZADATAK

Projektovanje i realizacija sistema za tonsko biranje

Potrebno predznanje

- Poznavanje programskog jezika C
- Uspešno urađene Vežbe 1-9 iz predmeta PNRSuOS
- Generisanje elementarnih signala
- Upotreba Diskretne Furijeove transformacije za spektralnu analizu signala

Šta će biti naučeno tokom izrade vežbe

U okviru ove vežbe naučićete:

- Kako pristupati problemu projektovanja digitalnih sistema.
- Kako projektovati i realizovati praktični sistem sastavljen od blokova za digitalno procesiranje signala.
- Na koji način se vrši primena do sada naučenih algoritama digitalnog procesiranja signala (generatori diskretnih signala diskretnog vremena, algoritmi brze Furijeove transformacije, digitalni filtri) za realizaciju realnog sistema i kako se testira njihova funkcionalnost.
- Kako projektovati i realizovati algoritme digitalnog procesiranja signala u slučaju rada u realnom vremenu.
- Kako vršiti pretraživanje literature i nalaziti relevantne podatke za definisano polje naučnog interesa.

Motivacija

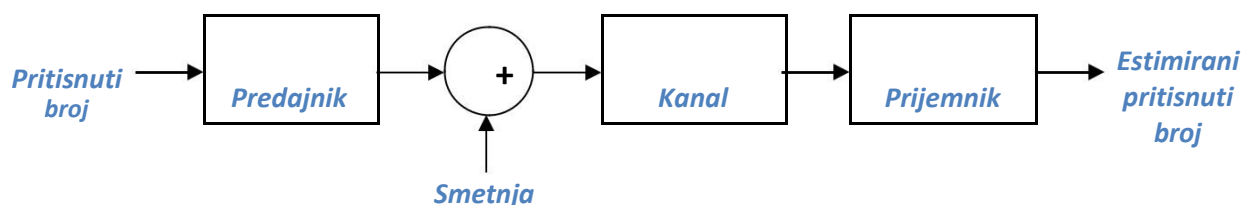
Digitalni sistemi uglavnom ne postoje kao izolovane celine, te postoji potreba razmene podataka među njima. U opštem slučaju digitalni podaci se prenose spoljnim medijumom korišćenjem kontinualnih signala. Najjednostavniji slučaj je prenos podataka korišćenjem dva naponska nivoa signala (ekvivalent binarnim vrednostima „0“ i „1“). Ograničenje ovakvog načina prenosa je udaljenost između digitalnih sistema (sa porastom udaljenosti potrebno je povećavati napon) i brzina prenosa (potrebno sačekati stabilizaciju naponskog nivoa). Slična ograničenja postoje u slučaju da se umesto naponskih nivoa koriste različite vrednosti jačine struje. Jedno rešenje je da se za prenos podataka koriste prostoperiodični signali (sinus/kosinus). Time se umanjuje problem udaljenosti digitalnih sistema koji učestvuju u razmeni podataka (bitna je frekvencija prostoperiodičnog signala a ne amplituda). Takođe se povećava brzina prenosa (na nju utiče frekvencija prostoperiodičnog signala). Dodatno povećanje brzine prenosa možemo dobiti kombinovanjem prostoperiodičnih signala različitih frekvencija (npr. izborom jednog od četiri tona različitih frekvencija možemo prenositi dva bita (4 moguća stanja) istovremeno). Dodatna

prednost prenošenja podataka izborom određene kombinacije tonova je povećanje otpornosti na greške – na prijemnoj strani odbacuju se sve kombinacije tonova koje ne pripadaju unapred zadanom skupu. Komunikaciju digitalnih sistema demonstriraćemo na primeru sistema za prenos izabrane cifre na telefonskom aparatu. Kombinacijom dva tona iz izabranog skupa tonova prenosi se jedna od 16 kombinacija (cifre 0-9, slova A-D i specijalni znaci „*“ i „#“). Za realizaciju pomenutog komunikacionog sistema koristićemo poznavanje nekih osnovnih algoritama za obradu signala koje smo izučavali u ovom kursu (generisanje signala, A/D konverzija, kvantizacija, spektralna analiza, filtriranje, rad u realnom vremenu).

1 TEORIJSKE OSNOVE

DTMF (Dual Tone Multi Frequency) tonksi signali se koriste za signalizaciju preko telefonske linije u govornom frekventnom području sa telefonskom centralom. DTMF signalizacija je zamena za impulsnu signalizaciju u telefonskim mrežama. Pošto DTMF signalizacija omogućava veliku brzinu biranja, ona je primenjena u slučajevima koji zahtevaju interaktivnu kontrolu kao što je elektronska pošta, bankarske telefonske usluge i uređaje koji rade u sistemima sa asinhronim prenosom signala (ATM).

Komunikacioni sistem dvotonskog prenosa kojim se prenose ovi dvotonski signali sastoji se iz tri dela: predajnika smeštenog u telefonskom aparatu korisnika, kanala prenosa i prijemnika koji se nalazi u telefonskoj centrali, što je pojednostavljeno prikazano blok šemom na slici 1.



Slika 1 - Komunikacioni sistem dvotonskog prenosa

Dvotonski signal generisan u telefonskom aparatu sastoji se od dva tonska signala (koji se zajednički zovu simbol) koji imaju definisane frekvencije uzete iz dva uzajamno isključiva skupa unapred definisanih frekvencija. Ova dva tona, ili simbol koji formiraju, predstavljaju biranu cifru prema matrici prikazanoj u tabeli ispod (samo primer).

	$f_{h1} = 1209 \text{ Hz}$	$f_{h2} = 1336 \text{ Hz}$	$f_{h3} = 1477 \text{ Hz}$	$f_{h4} = 1633 \text{ Hz}$
$f_{l1} = 697 \text{ Hz}$	1	2	3	A
$f_{l2} = 770 \text{ Hz}$	4	5	6	B
$f_{l3} = 852 \text{ Hz}$	7	8	9	C
$f_{l4} = 941 \text{ Hz}$	*	0	#	D

Tabela 1

Da bi se kodirale cifre od 0 do 9 i simboli označeni sa '*' i '#' koristi se skup niskih frekvencija f_{l1} do f_{l4} i skup visokih frekvencija f_{h1} do f_{h3} .

Dodatna frekvencija f_{h4} se koristi za specijalne svrhe, koje za sada nisu standardizovane. Stoga, uloga tipki A, B, C, i D na ovakvim telefonskim aparatima još uvek nisu specificirane.

Ove signalizacione frekvencije nalaze se u govornom opsegu frekvencija definisanom za telefonski kanal.

Dakle, kaže se da je ovo signalizacioni sistem **u govornom opsegu** frekvencija.

Preneseni simbol prima prijemnik koji se nalazi u telefonskoj centrali. Simbol se procesira da bi se odredio (ocenio ili estimirao) poslati simbol (dvotonski signal), koji je element konačnog skupa mogućih simbola, tako što se identifikuju frekvencije simbola, ili, bolje rečeno, detektuje i estimira birana cifra.

Funkcije procesiranja signala u predajniku i prijemniku se uobičajeno realizuju koristeći blokove za procesiranje analognih signala. Međutim, ove funkcije se mogu realizovati koristeći digitalno

procesiranje signala. Ovakva realizacija prevazilazi u performansama odgovarajuća analogna rešenja. Naime, ona daje veću preciznost i stabilnost, kao i mogućnost reprogramiranja radi zadovoljenja ostalih standarda vezanih za signalizaciju.

1.1 Predajnik

U osnovi, digitalni predajnik se sastoji od jednog sabirača i dva generatora sinusoidalnih signala koji su konačnog trajanja. Zavisno od toga koja tipka na telefonskom aparatu je pritisnuta predajnik generiše odbirke diskretnog signala koji se sastoji od dve sinusoide čija frekvencija je definisana za datu tipku (kao u tabeli 1). Signal se generiše dokle god je taster pritisnut.

1.2 Prijemnik

U prijemniku se računaju odbirci DFT primljenog signala koji su frekvencijski najbliži frekvencijama 8 mogućih tonova. Pri proračunu DFT-a potrebno je da se dužina transformacije N odabere tako da se napravi kompromis između lokacije pojedinih DFT vrednosti i vremena potrebnog da se izračuna jedna DFT vrednost. Što je veći N to je veća rezolucija i veće vreme računanja, ali je manji razmak DFT komponentata. Frekvencija f_k , koja odgovara indeksu k DFT-a, dobija se sledećim izrazom:

$$f_k = \frac{k f_s}{N}, \quad \text{za } k = 0, 1, \dots, N - 1$$

gde je f_s frekvencija odabiranja. U slučaju kada ulazni sinusni signal ima frekvenciju $f_{k'}$ koja se razlikuje od frekvencije definisane prethodnom formulom, njegova DFT će sadržati značajne odbirke na poziciji k koje su blizu vrednosti

$$k' = \frac{N f_{k'}}{f_s}$$

ali nenulte vrednosti (komponente) za ostale k vrednosti zbog preklapanja komponenti spektra.

Kada se izračunaju vrednosti DFT, potrebno je uvesti prag vrednosti snage signala. Sve vrednosti manje od definisanog praga se smatraju šumom, i nuliraju se. Za oba skupa od 4 definisane frekvencije (f_{1-4} i f_{h1-4}) samo jedan spektralni koeficijent sme biti veći od praga, kako bi signal bio proglašen validnim. Prag može biti apsolutan, relativan u odnosu na snagu druge najveće komponente od značaja ili relativan u odnosu na srednju vrednost snage 4 komponente od značaja.

Nakon određenih prisutnih frekvencija od važnosti u primljenom signalu, vrši se dekodovanje na osnovu tabele 1.

Za signal definisano je minimalno trajanje Δ [ms]. Da bi signal bio detektovan kao uspešno primljen karakter on mora da traje minimum Δ . Između bilo koja dva karaktera mora postojati pauza u minimalnom trajanju Δ .

Prijemnik DTMF signala u realnim sistemima obično sadrži i filter kroz koji ulazni signal prolazi pre početka opisane obrade. Ovaj filter služi za potiskivanje šuma nastalog prilikom generisanja ili tokom

transporta signala. Filtar mora biti projektovan tako da eliminiše spektralne komponente ulaznog signala van korisnih opsega f_{1-4} i fh_{1-4} .

2 ZADATAK

Potrebno je realizovati opisani sistem za generisanje i prijem DTMF signala na TMS320C55x platformi. Projektni zadatak radi se u redovnom terminu vežbi. Projekat je izdelfen na četiri celine. Od studenta se očekuje da na kraju svakog termina za laboratorijske vežbe ima uradjen deo projekta predviđen za izradu u tom terminu, a najkasnije do početka prvog narednog termina vežbi.

Projektni zadatak se radi i boduje **individualno**. Svakom studentu će se dodeliti jedinstveni problem. Saradnja medju studentima nije dopuštena.

Nakon uspešno implementiranog rešenja zadatog problema, potrebno je napisati kratak izveštaj. Izveštaj se sastoji od najviše 7 strana uključujući naslovnu stranu i sadržaj. Prilikom izrade izveštaja studentima se ne dozvoljava da medjusobno saradjuju ni u kom pogledu.

Za pisanje izveštaja poželjno je koristiti šablon za ispitne zadatke sa sajta Katedre za računarsku tehniku i računarske komunikacije.

Naslovna stranica treba da sadrži: naziv fakulteta, ime usmerenja-katedre, naziv predmeta, naslov projekta, prezime i ime studenta, broj indeksa i datum podnošenja izveštaja. Nakon ove stranice sledi stranica sadržaja (spisak tabela, slika i skraćenica nisu obavezni i ne računaju se u pomenutih 7 strana).

Glavni deo izveštaja treba da počne postavkom problema koji se rešava, a zatim, u grubim crtama, sledi: opis arhitekture za koju je rešenje implementirano, opis pojedinih blokova, korišćeni algoritmi procesiranja signala, karakteristike procesiranih signala u vremenskom i frekvencijskom domenu i dobijeni rezultati. Poželjno je da rezultati ispitivanja uspešnosti slanja, dobijeni u okviru četvrtog zadatka, budu prikazani upotrebom tabela i grafika. Student određuje sadržaj po svom nahodjenju.

2.1 Zadatak 1

1. Realizovati generisanje DTMF signala sa zadatim parametrima (specifirani u dodatku).
 - Potrebno je realizovati sistem koji na osnovu trenutno zadatog karaktera i parametara sistema određuje frekvencije f_1 i f_2
 - Zatim za zadate vrednosti f_1 i f_2 generiše signal koji predstavlja DTMF signal sa komponentama na frekvencijama f_1 i f_2 . Amplitude sinusnih komponenti zadate su sa a .
 - Za generisanje signala koristiti generatore sinusnih signala upotrebom tabele pretraživanja. Generisani odbirci su celobrojne 16-bitne vrednosti. Tabela pretraživanja je zadata u zadatku i sadrži vrednosti sinusnog signala samo u prvom kvadrantu.
2. Ispravnost sistema ispitati pokretanjem sistema za sve moguće vrednosti aktivnog karaktera, i prikazom signala u vremenskom i frekventnom domenu upotrebom ugrađenih alata CCS-a. Proveriti da li komponente generisanog signala odgovaraju zadatoj tabeli u dodatku.

3. Drugi stepen provere ispravnosti izvršiti na sledeći način:

- Pokrenuti sistem za sve moguće vrednosti aktivnog karaktera i reprodukovati generisani signal na oba izlazna audio kanala
- Povezati audio izlaz na razvojnoj ploči sa mikrofonskim ulazom na računaru (obavezno na podešavanjima uređaja za snimanje zvuka na računaru odabrati *Line in* opciju).
- Snimiti generisani signal upotrebom programskog alata Audacity. Za snimanje koristiti istu frekvenciju odabiranja kao i prilikom generisanja signala.
- Obeležiti snimljeni signal, i odabrati opciju *Analyze -> Plot Spectrum*. Analizom spektra snimljenog signala izvršiti proveru da li komponente generisanog signala predstavljaju zadati karakter.
- Ponoviti proceduru za sve karaktere.
- Sačuvati izlaznu datoteku za svaki karakter.

Napomena: Prilikom generisanja signala neophodno je voditi računa i o faznom pomeraju signala. Ukoliko se generiše jedan blok veličine N , naredni blok mora biti generisan sa faznim pomerajem koji odgovara broju odbiraka N .

$$\varphi = \left(N \cdot 2\pi \frac{f}{f_s} \right) \% 2\pi$$

2.2 Zadatak 2

1. Realizovati prijmnik DTMF signala

- Izračunati indekse spektralnih koeficijanata komponenti signala koje su od značaja (fh_{1-4} i fl_{1-4})
- Nakon svakog primljenog bloka odbiraka, izračunati DFT signala. Za računanje DFT-a koristiti ugrađenu funkciju *rfft*. Pre računanja DFT primeniti zadatu prozorsku funkciju na signal.
- Izračunati snagu spektralnih koeficijenata za komponente od značaja. Za računanje snage koristiti $P^2(x) = \text{Re}^2(x) + \text{Im}^2(x)$
- Primeniti prag na izračunate vrednosti snage. Vrednost praga odrediti empirijski.
- Ukoliko prag ne prelazi tačno jedna signalna komponenta iz grupe četiri niže frekvencije fl_{1-4} i tačno jedna signalna komponenta iz grupe četiri više frekvencije fh_{1-4} , trenutnu vrednost signala prijaviti kao neispravnu.
- Na osnovu vrednosti komponenti primljenog signala $f1$ i $f2$ odrediti primljeni karakter
- Ispisati u konzolu vrednost izračunatog karaktera na osnovu detektovanih prisutnih spektralnih komponenti.
- Dodati proveru dužine trajanja primljenog karaktera. Na osnovu parametra odrediti koliko blokova je minimalno trajanje signala. Nakon uspešno dekodovanog karaktera ukoliko je različit od prethodnog postaviti vrednost brojača na 0. Ukoliko je jednak prethodnom uvećati vrednost brojača. Kada vrednost brojača pređe zadatu vrednost ispisati primljeni karakter.

2. Ispravnost sistema ispitati na sledeći način:

- Povezati *Line out* izlaz iz računara i *Line In* ulaz na razvojnoj ploči. Pokrenuti program.

- Upotrebom programa Audacity reprodukovati jednu po jednu, sve datoteke generisane u poslednjem koraku prethodnog zadatka.
- Proveriti da li ispisana vrednost detektovanog karaktera odgovara reprodukovanoj datoteci.

2.3 Zadatak 3

U okviru ovog zadatka potrebno je izvršiti spajanje dva ili više prijemnika i predajnika. Potrebno je:

1. Realizovati korisničku spregu u okviru predajnika
 - Realizovati podršku za slanje karaktera uz pomoć tastera na razvojnoj ploči.
 - Taster SW1 predstavlja taster za odabir karaktera, svakim pritiskom na dugme SW1 postaviti vrednost aktivnog karaktera na sledeći.
 - Pritiskom na taster SW2 vrši se slanje aktivnog karaktera (generisanje i slanje DTMF signala) u trajanju od N odbiraka. Generisanje vršiti dokle god je pritisnut taster SW2.
 - Za proveru stanja pritisnutog dugmeta koristiti funkciju:
 - `Uint16 EZDSP5535_SAR_getKey(void);`

Funkcija vraća vrednost SW1 ukoliko je pritisnut taster 1, SW2 ukoliko je pritisnut taster 2, SW12 ukoliko su pritisnuta oba i *NoKey* ukoliko nije pritisnut nijedan.

- Za prikaz primljenih karaktera koristiti LCD ekran na razvojnoj ploči. Štampanje se može izvršiti upotrebom funkcije:
 - `void printChar (char x)`
2. Realizovati korisničku spregu u okviru prijemnika
 - Umesto u konzoli prikazati primljeni karakter na LCD ekranu na razvojnoj ploči.
 3. Izvršiti povezivanje prijemnika i predajnika koristeći PC i Audacity kao posrednik
 - Povezati audio izlaz na razvojnoj ploči sa mikrofonskim ulazom na računaru (obavezno na podešavanjima uređaja za snimanje zvuka na računaru odabrati *Line in* opciju).
 - Pokrenuti predajnik, generisati sekvencu od nekoliko različitih karaktera, snimiti generisani signal.
 - Povezati *Line In* ulaz na razvojnoj ploči sa *Line Out* ulazom na računaru.
 - Pokrenuti prijemnik, reprodukovati snimljenu sekvencu na računaru i proveriti da li sekvenca ispisanih karaktera odgovara snimljenoj sekvenci.
 4. Izvršiti povezivanje dve makete
 - U saradnji sa kolegom, povežite dve razvojne ploče (*Line out* na jednoj i *Line In* na drugoj). Prva ploča predstavlja predajnik, druga prijemnik. Isprobati generisanje različitih tonova i prepoznavanje na drugoj strani.

2.4 Zadatak 4

U okviru poslednjeg zadatka potrebno je ispitati uticaj šuma u prenosnom kanalu na ispravnost realizovanog signala.

JEDNA GRUPA:

1. U okviru predajnika realizovati generisanje i dodavanje belog šuma. Za generisanje šuma koristiti funkciju:

- `void rand16init(void);`
- `ushort rand16(DATA *r, ushort nr);`

Ova funkcija generiše sekvencu od *nr* odbiraka nasumičnih vrednosti sa Gausovom raspodelom. Odbirci su celobrojne 16-bitne vrednosti. Nivo šuma postaviti skaliranjem vrednosti signala.

2. Izračunati vrednost odnosa Signal – Šum (SNR)
3. Izvršiti ispitivanje uspešnosti slanja signala uz prisustvo belog šuma za različite vrednosti SNR. Rezultat predstaviti u dokumentaciji kao zavisnost procenta uspešnosti slanja od SNR.

DRUGA GRUPA:

1. U okviru predajnika realizovati sabiranje govornog signala učitano sa AD konvertora sa generisanim signalom. U slučaju da nijedan karakter nije odabran za slanje potrebno je proslediti samo učitani signal na izlaz.
2. Izračunati vrednost odnosa Signal – Šum (SNR) generisanog signala i govornog signala.
3. Izvršiti ispitivanje uspešnosti slanja signala uz prisustvo belog šuma za različite vrednosti SNR. Rezultat predstaviti u dokumentaciji kao zavisnost procenta uspešnosti slanja od SNR.
4. Za potrebe ispitivanja povezati *Line Out* izlaz na računaru na *Stereo In* izlaz na prijemniku. Reprodukovati datoteku *Test1.wav*. Nivo govornog signala regulisati pojačavanjem odnosno smanjivanjem na računaru.

3 Dodatak – parametri zadatka:

	$f_{h1} = f_{l1} + 440$	$f_{h2} = f_{h1} + 600$	$f_{h3} = f_{h1} + 760$	$f_{h4} = f_{h1} + 920$
f_{l1}	1	2	3	A
$f_{l2} = f_{l1} + 80$	4	5	6	B
$f_{l3} = f_{l1} + 160$	7	8	9	C
$f_{l4} = f_{l1} + 240$	*	0	#	D

Broj indeksa	f_{l1}	Δ [ms]	Prag	Šum
EE 84(145) / 2013	400	128	Rel. srednja vred.	Beli šum
EE 154 / 2013	480	192	Rel. srednja vred.	Beli šum
EE 29 / 2014	560	160	Rel. srednja vred.	Beli šum
EE 50 / 2014	640	224	Rel. srednja vred.	Govor
EE 59 / 2014	720	128	Rel. srednja vred.	Govor
EE 70 / 2014	800	192	Rel. srednja vred.	Govor
EE 71 / 2014	880	160	Rel. druga najveća	Beli šum
EE 72 / 2014	960	224	Rel. druga najveća	Beli šum
EE 84 / 2014	1040	128	Rel. druga najveća	Beli šum
EE 95 / 2014	1120	192	Rel. druga najveća	Govor
EE 101 / 2014	1200	160	Rel. druga najveća	Govor
EE 154 / 2014	1280	224	Rel. druga najveća	Govor