

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



Katedra za elektroniku

Digitalna obrada signala (13E043DOS)

Prvi domaći zadatak 2019/20.

Cilj prvog domaćeg zadatka je da studenti samostalno probaju osnovne metode frekvencijske analize signala korišćenjem diskretne Furijeove transformacije i da na realnim primerima uoče prednosti brzih algoritama za izračunavanje diskretne Furijeove transformacije u primeni izračunavanja konvolucije dva signala, kao i da ovladaju elementarnim korišćenjem programskog paketa *MATLAB* u digitalnoj obradi signala.

Domaći zadatak se sastoji iz tri dela. Prvi deo domaćeg zadatka daje uvid u osnovne probleme koji mogu nastati usled lošeg odabiranja, uvodi diskretnu Furijeovu transformaciju, kao i primene prozorskih funkcija. Drugi deo domaćeg zadatka predstavlja primenu diskretne Furijeove transformacije za izračunavanje konvolucije dugačkog signala sa impulsnim odzivom sistema sa konačnim impulsnim odzivom. Treći deo podrazumeva korišćenje frekvencijske analize signala u sonarima sa ciljem detekcije objekata i njihove udaljenosti.

Deo 1: Odabiranje, frekvencijska analiza signala, prozorske funkcije i preklapanje u spektru

(7 poena)

Dat je analogni signal $x(t) = \cos(2\pi f_1 t) + 0,5 \cos(2\pi f_2 t) + 3 \cos(2\pi f_3 t)$, $f_1 = 1$ Hz, $f_2 = 3$ Hz, $f_3 = 7$ Hz. Signal se diskretizuje učestanošću $f_s = 100$ Hz.

1. U *MATLAB*-u proceniti Furijeovu transformaciju u dovoljnom broju tačaka i nacrtati amplitudsku karakteristiku digitalnih signala $x_1[n]$, $x_2[n]$ i $x_3[n]$ koji su dobijeni odabiranjem signala $x(t)$ u $N_1 = 32$, $N_2 = 128$ i $N_3 = 1024$ tačaka respektivno.
2. Korišćenjem funkcije *findpeaks* (pogledati *help* za uputstva) pronaći tri najveće frekvencijske komponente svakog od signala $x_1[n]$, $x_2[n]$ i $x_3[n]$ i odrediti da li se iz spektara mogu tačno proceniti učestanosti f_1 , f_2 i f_3 i sa kojom greškom. Program treba da izračuna tri dominantne učestanosti u spektru sva tri signala, a u izveštaju prokomentarisati dobijene rezultate i greške.

3. Na signale iz tačke 1. primeniti neku prozorsku funkciju čiji odbirci opadaju do nule ka krajevima. Trajanje te prozorske funkcije je jednako trajanju signala $N_1 = 32$, $N_2 = 128$ ili $N_3 = 1024$. Nacrtati Furijeovu transformaciju modifikovanog signala u istom broju tačaka kao i u tački 1.
4. Kao u tački 2. korišćenjem funkcije *findpeaks* pronaći tri najveće frekvencijske komponente svakog od signala $x_1[n]$, $x_2[n]$ i $x_3[n]$ i odrediti da li se iz spektara mogu tačno proceniti učestanosti f_1 , f_2 i f_3 i sa kojom greškom. Prokomentarisati dobijene rezultate i greške.
5. Da li se korišćenjem neke druge prozorske funkcije mogu popraviti rezultati i zašto?

MATLAB skriptu u kojoj su realizovane funkcionalnosti iz ovog dela nazvati *dz1_deo1_1_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka.

Sve vremenske ose u ovom delu treba da budu u sekundama. Frekvencijske karakteristike crtati tako da je frekvencijska osa u hercima od 0 do $f_s/5$. Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

Naredni deo zadatka se odnosi na probleme preklapanja u spektru:

6. Izgenerisati sinusoidalni signal $x_{chi}[n]$ trajanja 5 s kome se relativna učestanost menja linearno sa vremenom od 0 do $1/2$, pri čemu je $f_s = 8$ kHz (*chirp*¹ signal). Korišćenjem objekta *audioplayer* pustiti ovaj signal na zvučnicima.
7. Uzimanjem svakog drugog odbirka iz signala $x_{chirp}[n]$ izgenerisati signal $x_{chirp,d2}[n]$, a zatim i uzimanjem svakog petog odbirka, izgenerisati signal $x_{chirp,d5}[n]$. Korišćenjem objekta *audioplayer* pustiti novodobijene signale na zvučnicima. Ne zaboraviti da je sada učestanost odabiranja promenjena.
8. Jedan ispod drugog, nacrtati spektrograme izgenerisanog *chirp* signala i njegovih decimiranih verzija. Efekte koji se dobijaju u ovoj i prethodnoj tački objasniti u izveštaju.

Mali dodatak, za zainteresovane: U prilogu ovog fajla, u direktorijumu *dz1_signali*, nalazi se fajl *chopin.wav* u kome se nalaze odbirci snimljenog muzičkog signala (Frederik Šopen - Nokturno broj 9, opus 2).

9. Korišćenjem naredbe *audioread* učitati signal iz fajla *chopin.wav* i nacrtati spektrogram tog signala. Na osnovu spektrograma proceniti kolika je minimalna učestanost odabiranja ovog signala, a da se prilikom puštanja na zvučnike korišćenjem naredbe *audioplayer* ne pokvari značajno kvalitet zvuka.
10. Izbacivanjem određenog broja odbiraka iz učitanoog signala, smanjiti učestanost odabiranja na onu kod koje se čuje značajna degradacija zvučnog signala. Nacrtati spektrogram degradiranog signala.

MATLAB skriptu u kojoj su realizovane funkcionalnosti iz ovog dela nazvati *dz1_deo1_2_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka.

Sve vremenske ose u ovom delu treba da budu u sekundama. Frekvencijske karakteristike crtati tako da je frekvencijska osa u hercima od 0 do $f_s/2$. Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

¹ Linearno frekvencijski modulisani kontinualni *chirp* signal ima sledeći oblik: $x(t) = \sin\left(\theta_0 + 2\pi\left(f_0 t + \frac{\beta}{2} t^2\right)\right)$, gde je θ_0 početna faza, f_0 učestanost u početnom trenutku, a β nagib lineane funkcije po kojoj učestanost raste.

Deo 2: Implementacija konvolucije dugačkog signala sa kratkim impulsnim odzivom (7 poena)

U prilogu ovog fajla u direktorijumu *dz1_signali* nalazi se fajl *birds_airplane.wav* u kome je snimljen cvrkut ptica. Međutim, ptice koje su snimane se nalaze u blizini aerodroma, pa je pored cvrkuta snimljen i zvuk aviona koji poleće sa piste. Za uklanjanje zvuka aviona koristi se sistem čiji impulsni odziv je dat u fajlu *impulse_response_birds.mat* (pozivom naredbe `load('impulse_response_birds.mat')` u *workspace*-u će se pojaviti vektor *impulse_response* koji predstavlja impulsni odziv sistema).

Potrebno je uraditi konvoluciju signala iz fajla *birds_airplane.wav* sa impulsnim odzivom korišćenjem metoda "preklopi i sačuvaj" (*Overlap and Save*). Pojedinačne konvolucije se računaju primenom diskretne Furijeove transformacije.

1. Napisati funkciju `y = block_convolution(x, h, block_length)` koja kao ulazne argumente ima vektor odbiraka signala koji se obrađuje, vektor odbiraka impulsnog odziva i dužinu blokova na koje se deli ulazni signal. Kao izlazni argument funkcija vraća vektor obrađenog signala.
2. Korišćenjem funkcije `block_convolution` izračunati konvoluciju signala iz fajla *pticice_avion.wav* i pomenutog impulsnog odziva.
3. Na istoj slici jedan pored druge, nacrtati spektrograme ulaznog i očišćenog signala. Na osnovu spektrograma, zaključiti kakav je filter sistem čiji je impulsni odziv *impulse_response*.
4. Korišćenjem naredbe `audiowrite` sačuvati filtrirani signal u fajl *pticice.wav*. Nakon toga sačuvati signal pojačan 10000 puta. U bilo kom programu za puštanje muzike pustiti prvi, a zatim i drugi signal. Zaključiti koji problem je nastao kod pojačanog signala. Upis u fajlove treba da bude na kraju skripte koja predstavlja rešenje ovog zadatka.

MATLAB skriptu u kojoj su realizovane funkcionalnosti iz ovog dela nazvati *dz1_deo2_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka.

Sve vremenske ose u ovoj tački treba da budu u sekundama. Frekvencijske karakteristike crtati tako da je frekvencijska osa u hercima od 0 do $f_s/2$. Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

Deo 3: Određivanje daljine objekata iz signala sonara (6 poena)

Sonari rade tako što emituju zvučni ili ultrazvučni signal ka potencijalnim metama i na osnovu reflektovanog signala koji primaju dobijaju informacije o tome da li postoji meta i koliko je udaljena. Najjednostavniji sonari šalju signal jedne učestanosti koji traje ograničeno vreme i očekuju reflektovani talas. Na osnovu vremena Δt koje je prošlo od početka emitovanja signala do prijema reflektovanog signala se može zaključiti na kojoj se udaljenosti nalazi objekat. Za to vreme talas pređe put $2d$, gde je d udaljenost do objekta, pa se udaljenost može izračunati iz izraza:

$$d = \frac{c\Delta t}{2},$$

gde je c brzina zvuka.

Međutim, ako se šalje signal samo jedne učestanosti i ako postoji više meta na različitim udaljenostima, teško je razdvojiti koji reflektovani talas dolazi od koje mete. Zbog toga se, kada je potrebna dobra rezolucija razdvajanja objekata, umesto jedne sinusoidalne komponente šalje signal kome se učestanost menja linearno u toku vremena (*chirp*² signal). Reflektovani signal je i u ovom slučaju zakašnjen za Δt

$$x_{RX}(t) = \sin\left(\theta_0 + 2\pi\left(f_0(t - \Delta t) + \frac{\beta}{2}(t - \Delta t)^2\right)\right).$$

Na prijemu se reflektovani signal množi sa poslatim, sa ciljem demodulacije informacije o kašnjenju Δt :

$$\begin{aligned} x_{TX}(t)x_{RX}(t) &= \sin\left(\theta_0 + 2\pi\left(f_0t + \frac{\beta}{2}t^2\right)\right)\sin\left(\theta_0 + 2\pi\left(f_0(t - \Delta t) + \frac{\beta}{2}(t - \Delta t)^2\right)\right) = \\ &= \frac{1}{2}\cos\left(2\pi\left(\beta\Delta t \cdot t + f_0\Delta t - \frac{\beta}{2}\Delta t^2\right)\right) - \frac{1}{2}\cos\left(2\theta_0 + 2\pi\left(f_0(2t - \Delta t) + \frac{\beta}{2}(t^2 + (t - \Delta t)^2)\right)\right), \end{aligned}$$

gde je prvi član zbira signal konstantne učestanosti $f_{target} = \beta\Delta t$, a drugi član je *chirp* signal duplo većeg nagiba nego originalni *chirp* signal pri čemu su njegove učestanosti na značajno većim vrednostima nego prvog člana. Zbog toga se nakon množenja, rezultujući signal filtrira filtrom propusnikom niskih učestanosti, pa je signal iz koga se može zaključiti na kojoj je udaljenosti objekat:

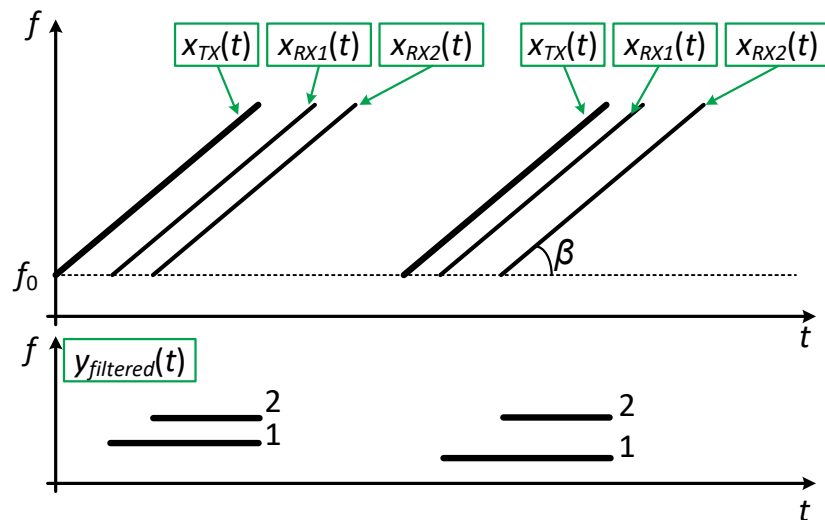
$$y_{filtered}(t) \approx \frac{1}{2}\cos\left(2\pi\left(\beta\Delta t \cdot t + f_0\Delta t - \frac{\beta}{2}\Delta t^2\right)\right).$$

Ovo se sve može raditi u digitalnom domenu, tj. mogu se množiti odbirci predajnog (TX) i primljenog signala (RX) signala i dobiti isti zaključci. Ako postoji više objekata od jednog, rezultujući signal će biti zbir doprinosa od svakog pojedinačno, tj:

$$y_{filtered}(t) \approx \frac{1}{2}\cos\left(2\pi\left(\beta\Delta t_1 \cdot t + f_0\Delta t_1 - \frac{\beta}{2}\Delta t_1^2\right)\right) + \frac{1}{2}\cos\left(2\pi\left(\beta\Delta t_2 \cdot t + f_0\Delta t_2 - \frac{\beta}{2}\Delta t_2^2\right)\right) + \dots$$

Iz spektra ovog signala se može odrediti koje sve učestanosti postoje i iz njih dobiti podatak od udaljenosti pojedinačnih objekata. Praćenje promena udaljenosti i detekcija objekata se postiže periodičnim slanjem *chirp* signala i analizom spektrograma filtriranog proizvoda poslatog i primljenog signala. Primer spektrograma dobijen sa sonara kod koga su detektovane dve mete od kojih se prva pomera je prikazan na slici 1.

² CHIRP je akronim od *Compressed High Intensity Radar Pulse* jer se ista vrsta signala samo na većim učestanostima koristi i u radarskim sistemima, konkretno kod FMCW radara (*Frequency Modulated Continuous Wave* radara).



Slika 1 – Primer spektrograma signala sonara

U prilogu ovog fajla u direktorijumu *dz1_signali* nalazi se fajl *sonar_signals.mat* u kome se nalaze odbirci signala koji se šalje na DA konveror sonara i odbrici signala na izlazu AD konvertora jednog sonara namenjenog za pretragu dna jezera i traženje riba za ribolov.

Predajni signal predstavlja niz od 1000 uzastopno poslatih *chirp* signala. Jedan *chirp* signal traje 0.1 s, a njegova učestanost se menja linearno od 20 kHz do 60 kHz. Između svaka dva *chirp* signala postoji 0.01 s pauze. Učestanost odabiranja je 200 kHz. Pojedinačni *chirp* signali su pomnoženi prozorskom funkcijom kako bi se ublažili eventualni nagli prelazi na krajevima.

Primljeni signal je dobijen snimanjem reflektovanih talasa iz vode. Ribar je seo u čamac i prešao sa jednog kraja jezera na drugi za nešto manje od 2 minuta. Sve vreme vožnje bio je uključen sonar usmeren ka dnu jezera. Na osnovu primljenih signala, potrebno je odrediti gde je jezero najdublje i koja je njegova dubina, ali i detektovati jata riba koja su se našla u vodi. Brzina zvuka u vodi je približno 1500 m/s.

1. Učitati signale sa sonara i, korišćenjem funkcije **block_convolution** iz 2. dela domaćeg zadatka, isfiltrirati njihov proizvod sa filtrom čiji su koeficijenti impulsnog odziva dati u fajlu *lp_filter.mat*.
2. Nacrtati spektrogram isfiltriranog signala, pri čemu na osi za učestanost treba da bude dubina u metrima.
3. Sa spektrograma odrediti i u izveštaju popuniti u kojim vremenskim trenucima se detektuju jata riba, približan broj riba u jatu, dubinu na kojoj se jata nalaze, kao i najveću dubinu jezera.

MATLAB skriptu u kojoj su realizovane funkcionalnosti iz ovog dela nazvati *dz1_deo3_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka.

Sve vremenske ose u ovoj tački treba da budu u sekundama. Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

Uputstvo za slanje rešenja domaćeg zadatka

Fajlovi koje je uz izveštaj potrebno dostaviti su:

1. *dz1_deo1_1_godinaupisa_brojindeksa.m*
2. *dz1_deo1_2_godinaupisa_brojindeksa.m*
3. *dz1_deo2_godinaupisa_brojindeksa.m*
4. *block_convolution.m*
5. *dz1_deo3_godinaupisa_brojindeksa.m*
6. Sve eventualne dodatne funkcije koje su pisane u odvojenim fajlovima.
7. Izveštaj sa imenom *13e043dos_dz1_izvestaj_godinaupisa-bojindeksa.docx*.
8. **NE slati fajlove koji su dati kao prilog zadatku jer oni samo povećavaju veličinu fajla i postoji mogućnost da će u tom slučaju mejl biti isfiltriran.**

Smatrati da su svi ulazni signali na putanji "*..\dz1_signali*", tako da ako pozovete naredbe

```
[x,fs] = audioread('..\dz1_signali\chopin.wav'); ili  
load ..\dz1_signali\lp_filter.mat
```

možete smatrati da će signal biti ispravno učitano prilikom pregledanja domaćeg zadatka.

Sve direktorijume i izveštaj upakovati u jedan ZIP ili RAR fajl pod nazivom *13e043dos_dz1_godinaupisa-bojindeksa.zip/.rar*. Tako upakovano rešenje zadatka poslati asistentu na mejl petrovicv@etf.rs najkasnije **do utorka 10.12. u 23:59**. Naslov mejla treba da bude **13E043DOS – Prvi domaci zadatak GGGG/BBBB**, gde je GGGG godina upisa, a BBBB broj indeksa. Vrlo je važno da mejl bude naslovljen kako je napisano, u suprotnom će biti isfiltriran. Obaveštenja o odbrani domaćeg zadatka će biti naknadno postavljena na sajtu predmeta.

Opšte: Trudite se da napisani kod bude pregledan i detaljno komentaran. To će vam uštedeti vreme. Nemojte pisati komentare samo da biste zadovoljili zahtev domaćeg zadatka, pokušajte da izvučete prednosti iz preglednog i lepo komentaranog koda. **Domaći zadaci se rade samostalno.**