

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



Katedra za elektroniku

Digitalna obrada signala (13E043DOS)

Projekat 2018/19.

Deo 1: Promena učestanosti odabiranja

(14 poena)

U drugom domaćem zadatku projektovan je jedan višebrzinski sistem obrade signala gde se jedan filter koristio na različitim učestanostima odabiranja. Ovaj sistem je potrebno proširiti sopstvenim funkcijama za interpolaciju i decimaciju.

1. Napisati funkciju `[h] = lowpass_filter_kaiser(Wc, Bt, Aa, Ap)` kojom se projektuje FIR filter propusnik niskih učestanosti. Funkcija kao argumente prima idealnu graničnu učestanost Ω_c , širinu prelazne zone B_t i odgovarajuća slabljenja u nepropusnom (α_a) i propusnom (α_p) opsegu. Kao povratnu vrednost, funkcija vraća impulsni odziv FIR filtra projektovanog odsecanjem idealnog impulsnog odziva Kajzerovim prozorom. Ukoliko gabariti digitalnog filtra nisu zadovoljeni, funkcija treba da podešava parametre analognog prototipa dok oni ne postanu zadovoljeni. Računati frekvencijske karakteristike u dovoljno velikom broju tačaka prilikom provere, npr. više od 10000.
2. Napisati funkciju `[y] = dos_resample(x, up_down, r)` kojom se menja učestanost odabiranja ulaznog signala x , za celobrojni faktor r . Učestanost odbiranja se povećava, ako je parametar `up_down` na vrednosti `false`, a smanjuje ako je na vrednosti `true`. Filter potreban za decimaciju ili interpolaciju ima idealnu graničnu učestanost $\Omega_c = \pi/r$ i prelaznu zonu širine $B_t = 0,4\pi/r$. Filter se projektuje korišćenjem funkcije iz prethodne tačke. Slabljenje u nepropusnom opsegu treba da bude minimalno 70 dB, a varijacija amplitude u propusnom opsegu ne sme da pređe 0,05 dB. Primetiti da impulsni odzivi decimacionih/interpolacionih filtera za ovaj slučaj imaju vrednost 0 na indeksima koji su umnožak faktora r . Obratiti pažnju da

se filtriranjem i umetanjem nula menja snaga signala, pa je izlaz ili koeficijente filtra potrebno skalirati. Kako bi se uradila ispravna ekvalizacija potrebno je iskompenzovati fazno kašnjenje koje unosi filter za decimaciju/interpolaciju tako da izlazni signal bude u fazi sa ulaznim signalom.

3. Modifikovati funkciju `[y] = IIR_equalizer(x, fs, style)` iz drugog domaćeg zadatka tako da koristi funkciju `dos_resample` umesto MATLAB-ove ugrađene funkcije.
4. Dovođenjem impulsa za ulaz, nacrtati impulsni odziv ekvalizatora.
5. DFT-om impulsnog odziva nacrtati približnu frekvencijsku karakteristiku ekvalizatora. Frekvencijsku osu crtati u logaritamskoj razmeri.
6. Snimiti nekoliko sekundi proizvoljne pesme i uraditi ekvalizaciju tog signala proizvoljnim stilom ('POP', 'ROCK', 'DANCE' ili 'CUSTOM'), a rezultat snimiti u fajl *equalized_sound.wav*. Ulazni signal poslati uz izveštaj. Učestanost odabiranja podesiti na 44100 Hz.
7. U izveštaju prikazati reprezentativne amplitudske karakteristike projektovanih filtera za decimaciju i interpolaciju i crtanjem odgovarajućih linija za gabarite pokazati da filteri zadovoljavaju zadate specifikacije, kao i sve druge relevantne dijagrame.

Glavnu MATLAB skriptu nazvati *equalization_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka. Obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

8. Napisati funkciju `[y] = dos_resample_rat(x, p, q)` kojom se menja učestanost odabiranja ulaznog signala x , za racionalni faktor p/q . Proceniti granične učestanosti filtra potrebnog za decimaciju ili interpolaciju. Filter se projektuje korišćenjem Parks-MekKlelanovog optimizacionog postupka. Slabljenje u nepropusnom opsegu treba da bude minimalno 70 dB, a varijacija amplitude u propusnom opsegu ne sme da pređe 0,05 dB. Potrebno je iskompenzovati fazno kašnjenje koje unosi filter za decimaciju/interpolaciju tako da izlazni signal bude u fazi sa ulaznim signalom.
9. Izgenerisati reprezentativan signal dovoljne dužine od nekoliko sinusoidalnih komponenti i testirati ispravnost funkcije iz prethodne tačke. Testirati funkciju za nekoliko različitih vrednosti uzajamno prostih parametara p i q ($p < q$, $p > q$). Prikazati rezultate na vremenskim dijagramima, tako što će se na istom grafiku prikazati originalni signal x i izlazni signal y , kao na slici 5 u tekstu drugog domaćeg zadatka.

Glavnu MATLAB skriptu nazvati *resampling_godinaupisa_brojindeksa.m*. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka. Obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

Deo 2: Implementacija direktne realizacije IIR filtra

(9 poena)

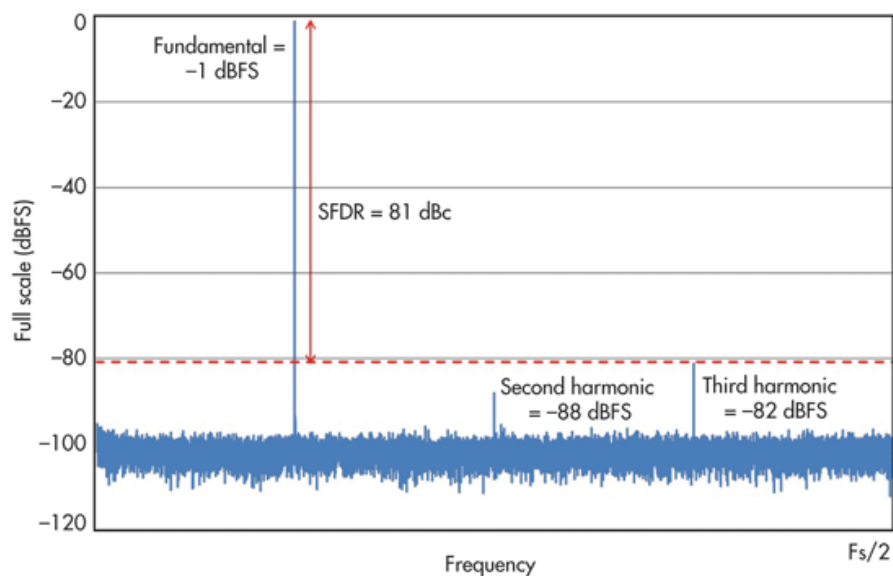
1. Napisati funkciju $y = \text{IIR_direct_I}(b, a, x)$ koja implementira direktnu I realizaciju IIR filtra čiji su koeficijenti ulazni argumenti b i a i filtrira signal x . Kao povratnu vrednost, funkcija vraća filtrirani signal y .
Funkciju napisati korišćenjem vektora za rezultate i međurezultate i što manje petlji.
2. Napisati funkciju $y = \text{FI_IIR_direct_I}(b, a, x)$ koja radi isto kao i funkcija iz prethodne tačke, samo što su tada svi koeficijenti i ulazni signal predstavljeni kao brojevi sa fiksnom tačkom, pa i sva izračunavanja treba da budu sa brojevima sa fiksnom tačkom. Takođe, svi međurezultati treba da imaju preciznost definisanu u opcijama ulaznih argumenata ili raditi zaokruživanje svakog međurezultata posebno.
3. Izgenerisati reprezentativan signal dovoljne dužine od nekoliko sinusoidalnih komponenti i testirati ispravnost funkcija iz prethodnih tačaka. Filtrirati signal filtrom iz tačke 1 i prikazati dobijene rezultate (amplitudske karakteristike ulaznog i izlaznog signala). Ulazni signal je poželjno da bude sinhrono odabiran, tj. da ne postoji curenje spektra. Filtar koji se koristi je filtarski propusnik opsega iz ekvalizatora.
4. Odrediti potreban broj bita za smeštanje koeficijenata filtra u imeniocu tako da filtarski i dalje ostane stabilan. Na osnovu vrednosti koje imaju odbirci impulsnog odziva odrediti koliko je bita potrebno za smeštanje celog, a koliko razlomljenog dela. Jedan pored drugog, nacrtati raspored nula i polova za ovaj slučaj i za slučaj kada je filtarski postao nestabilan zbog zaokruživanja koeficijenata. Odrediti minimalne bitske širine koeficijenata filtra tako da amplitudska karakteristika ne odstupa značajno od originalne amplitudske karakteristike. Prikazati originalnu i odabranu amplitudsku karakteristiku na istom grafiku.
5. Predstaviti ulazni signal iz tačke 3 kao vektor brojeva sa fiksnom tačkom. Na osnovu vrednosti koje ima ulazni signal x odrediti koliko je bita potrebno za smeštanje celog, a koliko razlomljenog dela. Filtrirati signal filtrom iz tačke 2 pri čemu su parametri određeni u tački 4. Na jednoj slici ali na 4 podslike prikazati originalni ulazni signal, signal dobijen filtriranjem sa *double* preciznošću, signal dobijen filtriranjem sa *fixed-point* preciznošću kao i signal koji predstavlja razliku dva izlazna signala.
Ponoviti ovu tačku za tri različita formata međurezultata i uporediti greške.
6. Ukratko objasniti dobijene rezultate za različita zaokruživanja, npr. kad je greška veća i zbog čega.
7. U izveštaju prikazati sve relevantne dijagrame.

Obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka.

Deo 3: Implementacija FFT-a korišćenjem konačne preciznosti

(7 poena)

1. Napisati funkciju `x = FI_FFT_radix_2(x, params)` koja implementira brzu Furijeovu transformaciju iz prvog domaćeg zadatka korišćenjem konačne preciznosti. Ulazni signal i svi rotacioni faktori predstavljeni su kao celi brojevi na broju bita definisanom u strukturi **params**. Rezultati množenja se odsecaju na istu preciznost kao i ulazni signal. Takođe, pretpostaviti da je broj bita za predstavu rotacionih faktora i ulaznog signala isti. Eventualno se mogu razlikovati pozicije fiksne tačke.
2. Izgenerisati jednu kompleksnu sinusoidu u 1024 tačke kod koje je odabiranje sinhrono i nacrtati njen spektr koriscenjem funkcije **fft**. Proveriti da li postoji curenje spektra.
3. Izracunati DFT ulaznog signala koriscenjem funkcije **FI_FFT_radix_2** za razlicite preciznosti izracunavanja. Nacrtati jednu reprezentativnu amplitudsku karakteristiku za opseg ucestanosti od $-\pi$ do π .
4. Nacrtati zavisnost dinamičkog opsega slobodnog od parazitnih komponenti (*Spurious-Free Dynamic Range* - *SFDR*) od bitske širine rotacionih faktora/ulaznog signala. *SFDR* je parametar koji se određuje kao na slici 1. Zavisnost nacrtati u do 10 reprezentativnih tačaka.



Slika 1 – Primer FFT-a jednog signala i određivanje parametra *SFDR*

Obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom. U kodu komentarima jasno naznačiti koji deo koda se odnosi na koji deo zadatka. Napomena: Ukoliko u prvom domaćem zadatku nije implementiran algoritam sa fiksnom geometrijom leptirova, nije potrebno naknadno implementirati taj algoritam, već studenti mogu zadržati svoju radix-2 implementaciju.

Uputstvo za slanje rešenja projekta

Fajlovi koje je potrebno dostaviti su:

1. Za sve delove projekta, korišćene *MATLAB* skripte i funkcijske fajlove.
2. Izveštaj po uzoru na prvi domaći zadatak u kome će biti prezentovani svi relevantni rezultati (frekvencijske karakteristike filtera, reprezentativni ulazni i izlazni signali, impulsni odzivi i drugi značajni grafici) kao i objašnjenja načina projektovanja i komentari rezultata.

Sve fajlove upakovati u jednu ZIP, RAR ili 7z arhivu pod nazivom *13e043dos_projekat_godinaupisa_bojindeksa.zip/.rar/.7z*. Tako upakovano rešenje zadatka poslati asistentu na mejl petrovicv@etf.rs. Naslov mejla treba da bude **13E043DOS – Projekat 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. Ukoliko slanje fajlova mejlom nije omogućeno, okačiti arhivu na OneDrive dostupan pri studentskom mejl nalogu i poslati deljeni link ka fajlu. Rešenje projekta se mora poslati najmanje 5 dana pre ispita u ispitnom roku u kome se polaže. Posebno, u januarskom ispitnom roku će ovaj rok biti relaksiraniji bar do termina ispita, o čemu će studenti biti naknadno obavešteni.

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. **Projekti se rade samostalno.**