

Univerzitet u Beogradu – Elektrotehnički fakultet



Katedra za elektroniku

Digitalni procesori signala (13M041DPS)

Projekat 2025/26.

Deo 1: Određivanje daljine objekata iz signala sonara na DSP platformi

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*¹ signal). Reflektovani signal je i u ovom slučaju zakašnjen za Δt

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

¹ 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). Linearno frekvencijski modulirani 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.

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

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

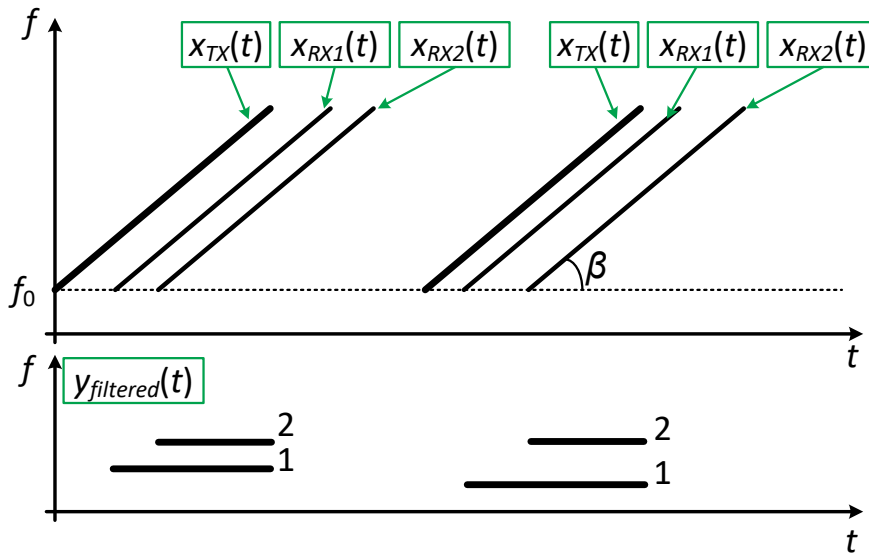
gde je prvi član zbira signal konstantne učestanosti $f_{target} = \beta\Delta t$, a drugi član je *chirp* signal duplo većeg nagiba nego originalni *chirp* signal pri čemu su njegove učestanosti na značajno većim vrednostima nego prvog člana. Zbog toga se nakon množenja, rezultujući signal filtrira 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.



Slika 1 – Primer spektrograma signala sonara

U prilogu ovog fajla nalazi se fajl *sonar_signals.mat* u kome se nalaze odbirci signala koji se šalje na DA konveror sonara i odbirci signala na izlazu AD konvertora jednog sonara namenjenog za pretragu okoline podmornice za studentsko takmičenje.

Predajni signal predstavlja jedan *chirp* trajanja 0.01 s, a njegova učestanost se menja linearno od 20 kHz do 60 kHz. Učestanost odabiranja je 200 kHz. *Chirp* signal je pomnožen prozorskom funkcijom kako bi se ublažili eventualni nagli prelazi na krajevima.

Primljeni signal je dobijen snimanjem reflektovanih talasa iz vode. Na osnovu primljenog signala, potrebno je odrediti na kojoj udaljenosti se nalaze objekti u vodi. Brzina zvuka u vodi je približno 1500 m/s.

1.1 MATLAB/Pajton (10 poena)

1. Projektovati NF filter kojim se radi promena učestanosti odabiranja signala dva puta, a zatim koeficijente tog filtra iskoristiti za polifazni filter za promenu učestanosti odabiranja 2. Napisati funkciju u MATLAB-u ili Pajtonu koja predstavlja realizaciju ovog polifaznog filtra.
2. U MATLAB-u ili Pajtonu učitati signale sa sonara, decimirati njihov proizvod polifaznim filtrom tako da se učestanost odabiranja smanji 2 puta.
3. Nacrtati spektar originalnog i decimiranog signala, pri čemu na osi za učestanost treba da bude daljina u metrima.

Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

1.2. Implementacija na DSP platformi (15 poena)

1. Napisati asemblersku funkciju koja implementira polifazni filter za smanjenje učestanosti odabiranja 2 puta. Koristiti pogodnosti specijalnih instrukcija na DSP platformi. Funkcija treba da podrži proizvoljne koeficijente filtra (ne samo half-band filter). Dozvoljeno je uvesti ograničenje vezani za red filtra, ako ono pojednostavljuje realizaciju, samo voditi računa da se i u tački 1.1. ispoštuje isto ograničenje. Funkcija za promenu učestanosti odabiranja treba da bude napisana cela u assembleru i da radi blokovski.
2. Kvantizovani signal proizvoda poslatog i primljenih *chirp* signala kroz korisnički interfejs u debug modu rada poslati na DSP platformu i na njoj uraditi promenu učestanosti odabiranja korišćenjem napisane asemblerske funkcije.
3. Korišćenjem ugrađenog FFT bloka na DSP platformi odrediti na kojoj se udaljenosti nalaze objekti i podatke o metama ispisati korišćenjem korisničkog interfejsa u debug modu. Uporediti rezultate sa MATLAB/Pajton implementacijom.

Deo 2: Implementacija polifaznog filtra u VHDL-u

2.1 MATLAB/Pajton (10 poena)

1. Napisati funkciju koja implementira *fixed point* model polifaznog filtra za promenu učestanosti odabiranja dva puta i usvojiti bitske širine tako da greška bude prihvatljiva (usvojiti razumnu pretpostavku).
2. Izgenerisati reprezentativan signal i promeniti mu učestanost odabiranja korišćenjem fixed point implementacije polifaznog filtra.
3. Izgenerisati potrebne fajlove za simulaciju realizacije filtra u VHDL-u.

Neophodno je obeležiti sve ose odgovarajućim oznakama/tekstom.

2.1. Implementacija u VHDL-u (15 poena)

1. Realizovati polifazni filter u VHDL-u i *gate level* simulacijom potvrditi ispravnost rada. Za realizaciju pojedinačnih FIR filtera realizaciji polifaznog filtra ne treba koristiti DSP blokove, već je sva množenja potrebno uraditi korišćenjem stabla sabirača projektovanog nekim Multiple Constant Multiplication (MCM) metodom (npr. Reduced Adder Graph (RAG)). Sa ciljem povećanja maksimalne učestanosti rada, potrebno je u stablo sabirača ubaciti minimalno jedan stepen protočne obrade (jedan stepen *pipeline* registara).

Implementacija tri algoritma koja generišu stablo sabirača je dostupna na sledećem linku <http://spiral.ece.cmu.edu/mcm/gen.html>.

2. Rezultat decimacije učitati u fajl i uporediti dobijene rezultate sa fixed point modelom u MATLAB-u ili Pajtonu (rezultati treba da budu isti).
3. Uporediti maksimalne učestanosti rada filtra kod koga je stablo sabirača bez *pipeline* registara i maksimalnu učestanost rada filtra kod koga je stablo sabirača sa *pipeline* registrima. U izveštaju dati i uporedne rezultate zauzeća resursa ove dve implementacije.
4. U izveštaj priložiti blok šemu sistema, reprezentativne simulacione dijagrame, eventualne dijagrame mašina stanja i poređenje sa MATLAB/Pajton fixed point modelom.

Uputstvo za slanje rešenja

Izveštaj i sve relevantne fajlove sačuvati u folderu sa imenom *DPS_GGGG_BBBB_ime_prezime*, gde je GGGG_BBBB broj indeksa u format godina/broj (primer 2025_3299). Folder u vidu archive poslati mejlom sa naslovom **DPS projekat GGGG/BBBB**, na mejl adrese petrovicv@etf.rs i rajo@etf.rs.

Rok za slanje rešenja projekta je, po pravilu, prvi dan ispitnog roka u kome se polaže ispit. Izuzetno u januarskom i februarskom roku 2026. rok za slanje je poslednji dan ispitnog roka.

Projekti se rade samostalno.