

## VEŽBA 2 – Banke filtara

### Potrebno predznanje

- Poznavanje programskog jezika C
- FIR filtri
- Decimacija i interpolacija

### Šta će biti naučeno tokom izrade vežbe

Tokom izrade vežbe biće naučena realizacija banke filtara kod koje je broj podopsega stepen dvojke primenom half-band FIR filtara. Takođe će biti ilustrovana mogućnost korišćenja decimacije za prebacivanje signala sa ograničenim propusnim opsegom u osnovni opseg, kao i primena interpolacije u rekonstrukciji signala. Realizovana banka filtara biće testirana pomoću multiton signala.

### Motivacija

Banke filtara se često koriste za obradu digitalnih signala u frekvencijskom domenu, i kao takve predstavljaju alternativu korišćenju transformacija kao što su diskretna Furijeova transformacija ili diskretna kosinusna transformacija. U okviru vežbe će biti realizovana tzv. half-band banka filtara koja služi kao osnova za definisanje još jedne važne transformacije – digitalne wavelet transformacije.

### 1 Teorijske osnove

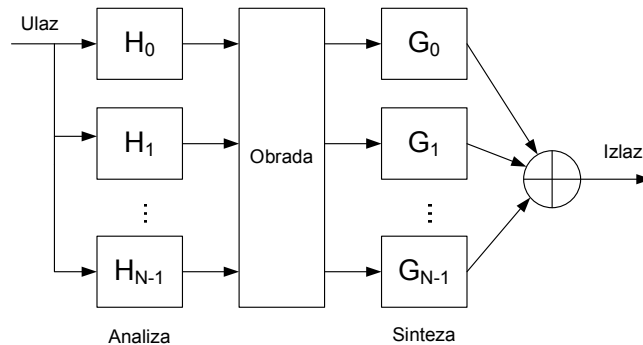
U digitalnoj obradi signala pojam banka filtara odnosi se na niz filtara koji razlažu ulazni signal na više komponenti od kojih svaka sadrži određeni podopseg frekvencija ulaznog signala. Ovo razlaganje ulaznog signala omogućava da svaka njegova komponenta bude posebno obrađena pre nego što se komponente ponovo rekombinuju u cilju rekonstrukcije obrađenog izlaznog signala.

Tipična primena banke filtara je implementacija grafičkog ekvilajzera koji služi za kontrolu boje zvuka u sistemima za reprodukciju audio signala primenjujući različit faktor pojačanja na različite komponente. Ekvilajzeri se obično sastoje iz tri filtra koji razlažu audio signal na basove, srednje i visoke tonove, ali postoje i realizacije sa većim brojem filtara. Još jedna česta primena je audio vokoder koji koristi banku filtara da analizira snagu pojedinih komponenti modulišućeg signala (obično ljudski glas), a zatim koristi tu informaciju da kontroliše nivoe komponenti ulaznog signala (obično zvuk muzičkog instrumenta), čime ulazni signal poprima karakteristike modulišućeg.

Svaka banka filtara sastoji se iz dva dela - **dela za analizu**, u kom se signal razlaže na komponente i **dela za sintezu**, u kom se komponente kombinuju dajući izlazni signal. Deo za sintezu

Priprema za vežbe iz predmeta Osnovi algoritama i struktura DSP 2  
Vežba 2 – Banke filtara

sastoji se od filtara koji imaju isti propusni opseg kao i filtri u delu za analizu, ali čiji su koeficijenti podešeni tako da kumulativni efekat analize i sinteze bude čisto kašnjenje. Između dela za analizu i dela za sintezu nalazi se blok za obradu (Slika 1).



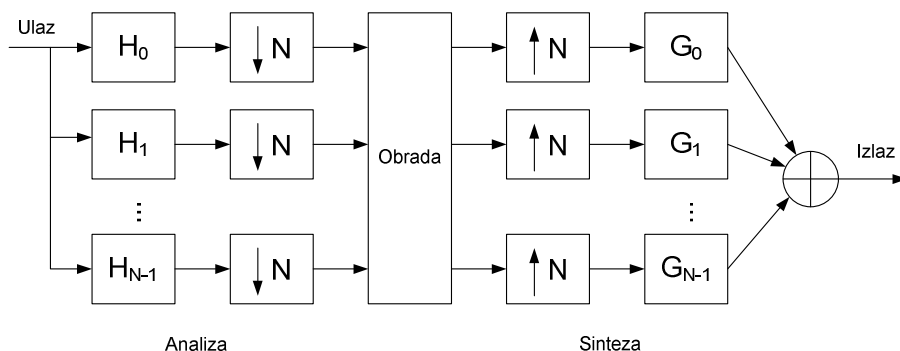
Slika 1 Blok dijagram banke filtara

Uobičajeno je podopsezi frekvencija koji odgovaraju komponentama budu tako definisani da među njima nema preklapanja i da pokrivaju ceo opseg frekvencija od 0 do  $f_s/2$ . Očigledno, svaka takva banka od  $N$  filtara sadrži po jedan niskopropusni i visokopropusni filter i  $N-2$  pojasna filtra. Prema širini podopsega, banke filtara se mogu podeliti na 2 kategorije:

- **Uniformne**, kod kojih su svi podopsezi iste širine  $f_s/2N$  i
- **Neuniformne**, kod kojih su podopsezi različitih širina.

Neuniformne banke filtara se obično koriste u sistemima za obradu govornog signala, kao što su sistemi za potiskivanje eha (eng. echo canceler) i sistemima za potiskivanje šuma (eng. noise canceler), pošto omogućavaju razlaganje signala na komponente koje približno odgovaraju kritičnim podopsezima ljudskog čula sluha. Ovakve banke filtara imaju užu propusni opseg na nižim frekvencijama, a širi na višim frekvencijama.

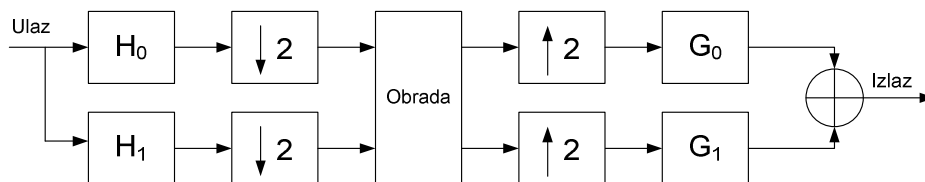
S druge strane, značaj uniformnih banaka filtara ogleda se u tome što one omogućavaju da se signal posle analize decimira za faktor  $N$ , čime se značajno smanjuje broj odbiraka koji ulaze u obradu, a samim tim se smanjuje i kompleksnost obrade (Slika 2).



Slika 2 Blok dijagram uniformne banke filtara sa decimacijom

Pošto svaki filter u uniformnoj banci filtera ima propusni opseg širine  $f_s/2N$ , posle decimacije za faktor  $N$  neće doći do izobličenja spektra, već će se samo propusni opseg filtra translirati u osnovni opseg od 0 do  $f_s/2N$ . Sinteza signala se vrši tako što se pojedinačne komponente signala prvo interpoliraju za faktor  $N$  (obično ubacivanjem nula-odbiraka), a zatim propuste kroz odgovarajući filter koji služi da eliminiše replike osnovnog spektra nastale interpolacijom. Izlazni signal se na kraju rekonstruiše sabiranjem pojedinačnih komponenti.

Kao što je već rečeno, koeficijenti filtera u delu za sintezu moraju biti podešeni tako da zadovoljavaju uslov savršene rekonstrukcije, odnosno da kombinacija filtera za analizu i filtera za sintezu kao rezultat daje čisto kašnjenje. Pošto u opštem slučaju ovaj uslov nije nedostavno zadovoljiti, u praksi se često koristi tzv. half-band banka filtera kod koje ovaj uslov ima jednostavnu formu. Kao što sam naziv kaže, half-band banka filtera deli propusni opseg na dve polovine, što znači da se sastoji od  $N = 2$  filtera (slika 3).



Slika 3 Half-band banka filtera

Ukoliko nam je poznata funkcija prenosa niskopropusnog filtera za analizu  $H_0(z)$ , tada se funkcije prenosa ostalih filtera moraju zadovoljavati sledeće jednačine:

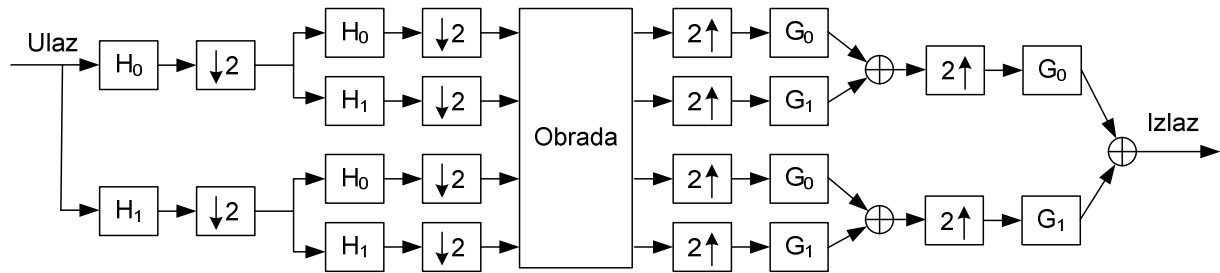
$$H_1(z) = z^{-N} H_0(-z^{-1})$$

$$G_0(z) = 2z^{-N} H_0(z^{-1})$$

$$G_1(z) = 2z^{-N} H_1(z^{-1})$$

Iz ovih jednačina sledi da ako se za  $H_0(z)$  uzme FIR filter sa linearnom faznom karakteristikom, odnosno FIR filter sa simetričnim koeficijentima, tada se u delu za sintezu i delu za analizu mogu koristiti isti filteri.

U slučaju da se broj podopsega banke filtera može izraziti kao stepen dvojke, tj. Ako je  $N = 2^k$ , tada se takva banka filtera može realizovati rekursivnom primenom više half-band banaka filtera. Ovakva ugnježdjena struktura banke filtera veoma podseća na diskretnu vejvlet transformaciju (eng. discrete wavelet transform, DWT), s tim što se kod vejvlet transformacije ne vrši decimacija u donjoj grani, odnosno ne vrši se decimacija signala propuštenih kroz visokopropusni filter.



Slika 4 Banka od 4 filtra realizovana pomoću half-band banaka filtara

## Zadaci

### Zadatak 1

- Implementirati banku filtara od  $N = 4$  filtra, primenom half-band banke filtara, kao što je prikazano na slici 4. Koeficijenti filtara dati su u projektu.
- Prikazati vremenski oblik decimiranih frekvencijskih komponenti koje ulaze u blok za obradu kada se na ulaz dovede multiton signal.
- U bloku za obradu omogućiti da se na izlaz šalje samo jedna od 4 ulazne komponente signala. Komponentu koja se šalje na izlaz birati pomoću tastera na pločici.