

Digitalna obrada audio signala

Uvod

Uobičajen način za predstavljanje diskretnih sistema (filtara) je korištenjem jednačina diferencija. Često korištena klasa diskretnih filtara su linearni vremenski nepromjenljivi filtri. Oni se mogu opisati linearnim jednačinama diferencija sa konstantnim koeficijentima, kao u jednačini:

$$\sum_{k=0}^N a_k y(n-k) = \sum_{l=0}^M b_l x(n-l). \quad (1)$$

U ovoj jednačini, ulazni signal u filter je označen sa $x(n)$, a izlazni sa $y(n)$. Koeficijenti jednačine diferencija su a_k i b_l . U MATLAB-u jednačina diferencija se može predstaviti korištenjem dva vektora: jedan vektor sadrži koeficijente u direktnoj sprezi b_l , a drugi koeficijente u povratnoj sprezi a_k . Obično se smatra da je koeficijent $a_0 \neq 0$ pa se može pisati:

$$y(n) = -\frac{1}{a_0} \sum_{k=1}^N a_k y(n-k) + \frac{1}{a_0} \sum_{l=0}^M b_l x(n-l). \quad (2)$$

U MATLAB-u je gornja jednačina implementirana funkcijom `filter` čija je sintaksa:

```
y = filter(b, a, x);
```

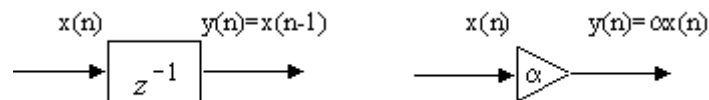
U vektorima `b` i `a` su odgovarajući koeficijenti jednačine diferencija filtra, a u vektoru `x` nalazi se ulazni signal. Vrijednosti odmjerača izlaznog signala nalaze se u vektoru `y`.

Ipak, u ovoj vježbi ćemo napisati i sopstvenu implementaciju funkcije kojom se realizuje filtriranje, kako bismo se pripremili za rad sa opštijim slučajem vremenski promjenljivih i nelinearnih filtara.

Diskretni sistemi se opisuju blok-dijagramima. Osnovni elementi koji se koriste na blok-dijagramima su:

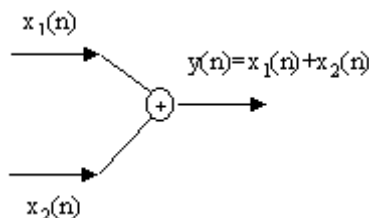
- elementi za kašnjenje (memorisanje prethodnih stanja),
- množači (operacija množenja konstantom),
- sabirači (operacija sabiranja).

Koriste se sljedeći simboli:



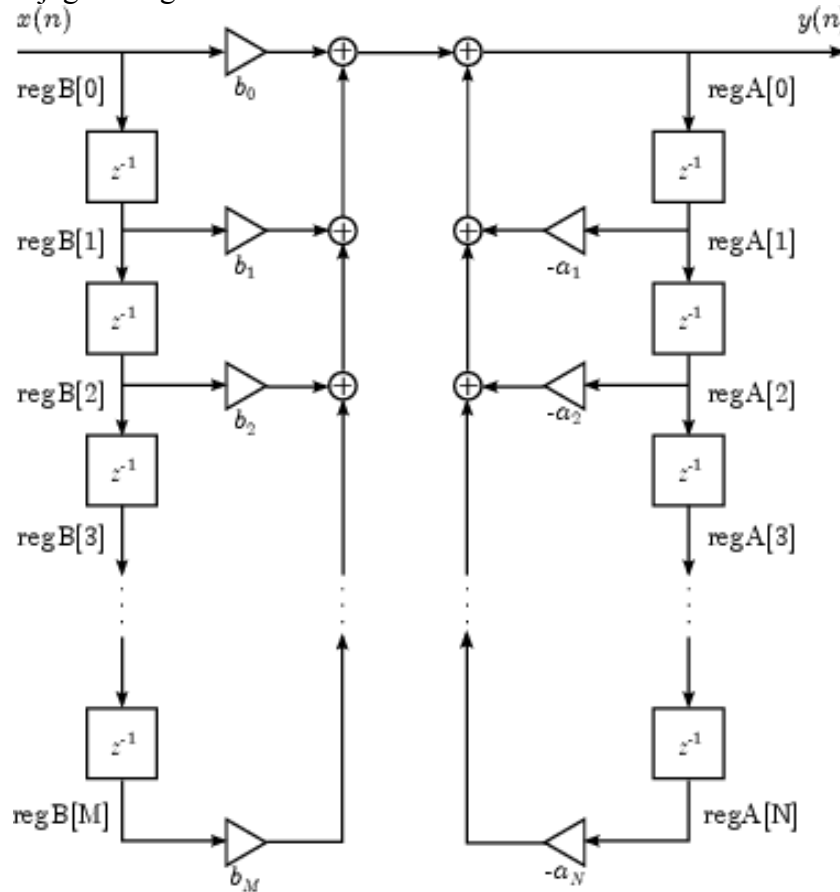
a) element za kašnjenje

b) množač



c) sabirač

Ako diskretni filter ima beskonačan impulsni odziv (Infinite Impulse Response – IIR) njegov blok dijagram izgleda kao na slici:



Koeficijenti IIR filtera se u MATLAB-u mogu odrediti korištenjem funkcije `butter` iz Signal Processing Toolboxa. Sintaksa ove funkcije je

`[B,A] = BUTTER(N,Wn,'tip')`

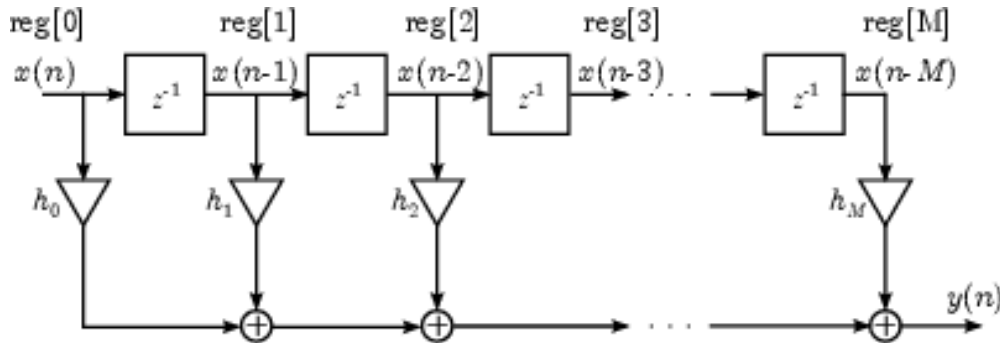
gdje je N red filtera, W_n normalizovana granična frekvencija, a `tip` označava tip filtera (niskopropusni, visokopropusni, itd). Pogledati dokumentaciju za više informacija. Normalizovana frekvencija se izračunava prema sledećoj jednačini:

$$W_n = \frac{2F_c}{F_s},$$

gdje je F_c granična frekvencija filtera (u Hz), a F_s frekvencija odmjerkavanja (u Hz). Ako diskretni filter ima konačan impulsni odziv njegova, njegova jednačina diferencija se može svesti na oblik:

$$y(n) = \sum_{k=0}^M h_k x(n-k), \quad (3)$$

a odgovarajući blok dijagram je dat na sledećoj slici:



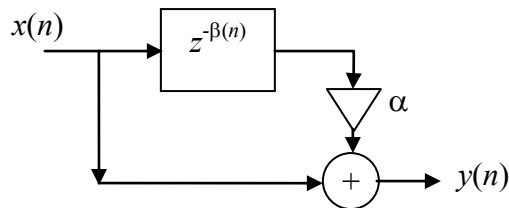
Linearni, vremenski nepromjenljivi filtri se u obradi audio signala najčešće koriste za implementaciju ekvilajzera (bass/treble kontrole ili grafički ekvilajzer), što je oblik frekvencijski selektivnog filtriranja, kao i za dodavanje eha ili reverberacija u audio signal čime se dobija signal čije je zvučanje prirodnije.

Za određivanje frekvencijske karakteristike filtra koristi se funkcija `freqz` čija je sintaksa:

```
[h, f] = freqz(b, a, N, Fs);
```

gdje su `b` i `a` koeficijenti jednačine diferencija prema konvenciji korištenoj u (1) i u funkciji `filter`, `N` je broj tačaka u kojima se izračunava frekvencijska karakteristika, a `Fs` je frekvencija odmjerenja. U vektoru `h` nalaze se vrijednosti frekvencijske karakteristike u frekvencijama koje se nalaze u vektoru `f`. I ovdje se pozivom funkcije bez izlaznih parametara dobijaju grafici amplitudne i fazne karakteristike sistema.

U digitalnim audio efektima često se koriste i vremenski promjenljivi kao i nelinearni filtri. Jedan od takvih efekata je *flanging*. Originalno, ovaj efekat se pomoću analogne opreme proizvodio tako što je kombinovan isti signal sa dva magnetofona, ali uz variranje vremenske razlike Δt između njih. Promjenljiva vremenska razlika se postiže tako što operator ručno mijenja brzinu reprodukcije magnetofona. U digitalnom obliku flanging se može postići pomoću vremenski promjenljivog FIR filtra prikazanog na slici:



Jednačina diferencija koja opisuje ovaj filter je data sa

$$y(n) = x(n) + \alpha x(n - \beta(n)).$$

Ako se želi generisanje kašnjenja koje iznosi do R odmjeraka onda se flanging efekat može postići periodičnim variranjem kašnjenja $\beta(n)$

$$\beta(n) = \frac{R}{2} \left(1 - \cos \left(2\pi \frac{F_0}{F_s} n \right) \right),$$

gdje je F_0 frekvencija sa kojom se mijenja kašnjenje, a F_s frekvencija odmjerenja signala. Na sličan način se mogu postići i drugi audio efekti.

Zadaci

1. Napisati funkciju u MATLAB-u kojom će se realizovati diskretni filter drugog reda čija je jednačina diferencija data sa:

$$y(n) = b_0x(n) + b_1x(n-1) + b_2x(n-2) - a_1y(n-1) - a_2y(n-2).$$

Ulazni argumenti funkcije treba da budu vektori a i b sa koeficijentima jednačine diferencija, te vektor x u kojem su odmjerci ulaznog signala. Izlazni argument je vektor y u kojem su odmjerci izlaznog signala.

Napomena: Za način pisanja funkcija pogledati `help function`.

2. Učitati zvučni signal u fajlu [acoustic.wav](http://acoustic.way). Koristeći funkciju `butter` odrediti koeficijente niskopropusnih filtera drugog reda sa graničnim frekvencijama od 32, 125, 500, 1k, 2k i 5kHz. Nacrtati amplitudne i fazne karakteristike ovih filtera. Propustiti signal kroz ove filtre koristeći funkciju iz tačke 1. Prikazati i poslušati originalni i rezultujuće signale. Nacrtati spektrogram originalnog i filtriranog signala korištenjem Hemingovog prozora dužine 1024 i preklapanja od 256 odmjerača. Komentarisati rezultate.

Koristeći funkciju `butter` odrediti koeficijente visokopropusnih filtera drugog reda sa graničnim frekvencijama od 32, 125, 500, 1k, 2k i 5kHz. Nacrtati amplitudne i fazne karakteristike ovih filtera. Propustiti signal kroz ove filtre koristeći funkciju iz tačke 1. Prikazati i poslušati originalni i rezultujuće signale. Nacrtati spektrogram originalnog i filtriranog signala korištenjem Hemingovog prozora dužine 1024 i preklapanja od 256 odmjerača. Komentarisati rezultate.

Koristeći funkciju `butter` odrediti koeficijente filtera propusnika opsega drugog reda sa graničnim frekvencijama od 32, 125, 500, 1k, 2k i 5kHz. Pošto propusnik opsega ima dvije granične frekvencije izaberite po dvije iz prethodno ponuđene liste. Takođe, zbog načina projektovanja filtera propusnika opsega rezultujući filter će biti dvostruko višeg reda od specificiranog. Zato, da bi se dobio propusnik opsega drugog reda treba zadati $N = 1$. Nacrtati amplitudne i fazne karakteristike ovih filtera. Propustiti signal kroz ove filtre koristeći funkciju iz tačke 1. Prikazati i poslušati originalni i rezultujuće signale. Nacrtati spektrogram originalnog i filtriranog signala korištenjem Hemingovog prozora dužine 1024 i preklapanja od 256 odmjerača. Komentarisati rezultate.

3. Reverberacije su jedan od najčešće korištenih audio efekata u muzičkoj produkciji i nastaju kada se zvuk odbija od prepreka u prostoru i različitim putanjama stiže do slušaoca. Najčešće se javljaju u velikim zatvorenim prostorijama. Postoji više metoda za implementaciju reverberacija, a najjednostavniji je korištenjem FIR filtra. Da bi se generisali višestruki odjeci između kojih je kašnjenje od R odmjerača sa eksponencijalno opadajućim amplitudama moguće je koristiti FIR filter oblika:

$$y(n) = x(n) + \alpha x(n-R) + \alpha^2 x(n-2R) + \dots + \alpha^{N-1} x(n-(N-1)R)$$

- Napisati program u MATLAB-u koji će implementirati dodavanje reverberacija u audio signal korištenjem gornje jednačine. Program testirati na zvučnom primjeru korištenom u prethodnim tačkama sa parametrima: $\alpha = 0,8$, $N = 6$, $R = 4$.
4. Napisati program u MATLAB-u kojim će biti implementiran flanging efekat. Efekat demonstrirati na signalu korištenom u prethodnim tačkama, za $F_0 = 1\text{Hz}$ i $T_m = 10\text{ms}$, $\alpha = 1$. Da biste ovo postigli potrebno je izračunati maksimalno kašnjenje izraženo u broju odmjerača R i imati u vidu činjenicu da za implementaciju filtra $\beta(n)$ mora imati cjelobrojnu vrijednost. Reprodukovati dobijeni signal.