

Semestrální práce z předmětu KIV/AZS

Filtrování zvukového signálu pomocí FIR a IIR filtrů

Jan Bařtipán, A03043

bartipan@students.zcu.cz

Zadání

- provnat FIR a IIR filtry na příkladu filtrování zvukového signálu
- jednotlivé výsledky porovnat pomocí Fourierovy transformace

Zvuk a jeho vlastnosti

Zvuk je každé podélné mechanické vlnění v prostředí, které je schopno vyvolat sluchový vjem. Lidské ucho je schopno vnímat zvuky o frekvenci 20 Hz až 20 kHz. Zvuky pod 20 Hz se nazývají infrazvuk a nad 20 kHz se nazývají ultrazvuk.

V závislosti na vnímání zvuku lidským uchem, můžeme u jednotlivých zvuků rozlišovat tři základní vlastnosti:

- hlasitost zvuku – velikost amplitud jednotlivých vln, udávána v decibelech (dB, logaritmická stupnice)
- výška zvuku – frekvence vlnění, udávána v Hz
- barva zvuku – tvar vln (sinusoidy, čtvercové, trojúhelníkové, atp.)

Záznam zvukové stopy se nejčastěji provádí se vzorkovací frekvencí 44100 Hz. Pro kvantizaci se používá nejčastěji 16bitový integer¹. Takto zaznamenaný signál může reprodukovat signál, který obsahuje frekvence až do 22050 Hz².

Je spousta důvodů proč filtrovat zaznamenaný zvuk. Například pro reprodukci se používají speciální reproduktory pro jednotlivá frekvenční pásma. Je zřejmé, že před vstupem signálu do reproduktoru je třeba horní, dolní, či pásmovou propustí odstranit ze signálu frekvence, které nejsou pro daný reproduktor určené.

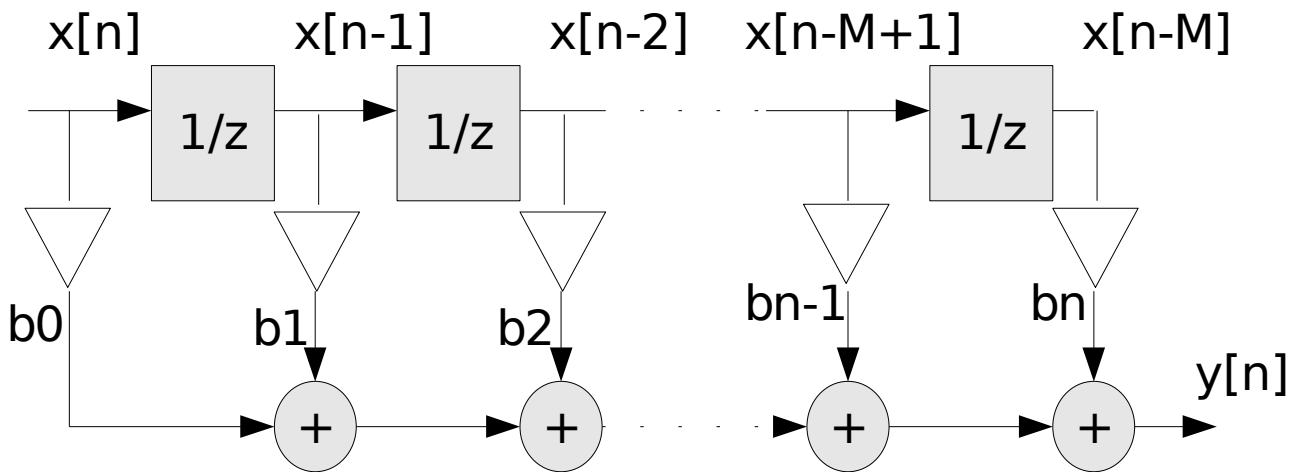
Filtry

Návrh filtrů vychází z požadovaného průběhu frekvenčních charakteristik, zejména sledujeme chování filtrů v oblastech propustného pásma, přechodného pásma a potlačeného pásma. Cílem návrhu je minimalizovat šířku přechodného pásma a překrmy v propustném pásmu a v potlačeném pásmu.

FIR filtry

Filtry FIR (finite duration impulse response) jsou někdy též nazývané filtry KIO (s konečnou impulsovou odezvou). Základní struktura tohoto typu filtru je uvedena na obrázku. Významným rysem této soustavy je fakt, že neobsahuje žádnou vazbu z výstupu zpět na vstup.

-
- 1 Pro vzorkování zvuků se používají různé frekvence v závislosti na potřebě aplikace. Pro přenos hlasu se může použít nižší vzorkovací frekvence (např. 8 nebo 11 kHz), a přesto je řečníkovy dobře rozumět. Podobně pro hudbu se používá vyšší vzorkovací frekvence např. 48 nebo 96 kHz. Podobně pro kvantizaci se kromě 16 bitového integeru používá i 24bitový integer, nebo 32bitový float.
 - 2 Podle Nyquist-Shanonova vzorkovacího teorému je maximální zaznamenaná frekvence signálu rovna polovině vzorkovací frekvence.



Obrázek 1: Struktura FIR filtru

Tento systém lze vyjádřit jako diferenční rovnici:

$$y[n] = b_0 \cdot x[n] + b_1 \cdot x[n-1] + \dots + b_{n-1} \cdot x[n-M] + b_n$$

Obraz této funkce v Z-transformaci pak vypadá takto:

$$Y[z] = b_0 X[z] + b_1 X[z]z^{-1} + b_2 X[z]z^{-2} + \dots + b_M X[z]z^{-M}$$

Přenosovou funkcí systému můžeme pak vyjádřit takto:

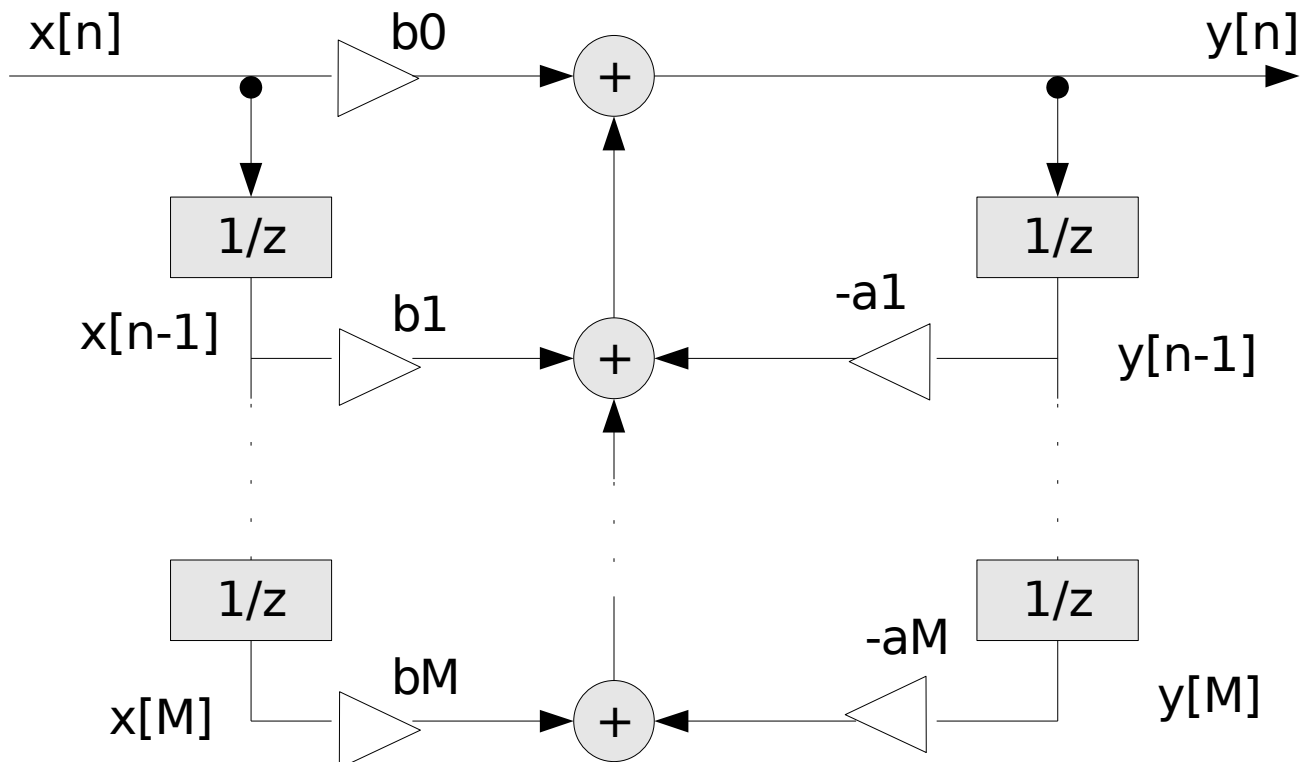
$$H[z] = \frac{Y[z]}{X[z]} = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_M z^{-M}$$

Vlastnosti FIR filtrů

- jsou vždy stabilní, protože neobsahují zpětnou vazbu, nebo-li všechny póly leží v nule
- možnost přesné fázové charakteristiky
- relativně snadná hardwarová realizace
- pro dosažení strmých charakteristik je třeba použít vyšší stupeň filtru (konstanta M) než u IIR filtrů
- s rostoucím řádem roste skupinové zpoždění

IIR filtry

Základní struktura Filtru IIR (infinite duration impuls response) je uvedena na obrázku. Obsahuje zpětnou vazbu z výstupu zpět na vstup.



Obrázek 2: Struktura IIR filtru

Systém je popsán touto diferenční rovnicí:

$$y[n] = \sum_{k=0}^Q b_k x[n-k] - \sum_{k=1}^P a_k y[n-k]$$

Obraz přenosové funkce v Z-transformaci je následující:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{\sum_{k=0}^Q b_k z^{-k}}{1 + \sum_{k=1}^P a_k z^{-k}}$$

Vlastnosti IIR filtrů:

- S filtry IIR lze dosáhnout velmi strmé přechody mezi propustným a nepropustným pásmem, a to i při malém řádu filtru.
- Poměrně složitý a méně intuitivní návrh
- Filtr je rekurzivní (se zpětnými vazbami), může být nestabilní (pro amplitudově omezený vstupní signál by generoval signál s neustále rostoucími amplitudami). Filtr IIR bude stabilní, pokud všechny jeho póly leží uvnitř jednotkové kružnice.
- Filtry IIR nemají lineární průběh fázové charakteristiky.

Návrhy parametrů IIR filtrů

Protože není snadné stanovit jednotlivé parametry filtrů (a_i, b_j), existují metodiky jak na základě

požadovaného frekvenčního pásma a paramterů útlumu vypočítá parametry filtru. Nyní si tedy jednotlivé metodiky návrhu parametrů filtru představíme:

- *Butterworthův filtrování*
 - má maximálně ploché propustné i nepropustné pásmo.
- *Čebyševův filtr I.*
 - má zvlnění v propustném pásmu.
- *Čebyševův filtr II.*
 - má zvlnění v nepropustném pásmu. Čebyševovy filtry mají ostřejší přechod než Butherworthovy filtry.
- *Eliptický filtr*
 - má zvlnění v propustném i nepropustném pásmu. Pro daný řád má nejostřejší přechod (nejužší přechodové pásmo) ze všech filtrů.

Popis programu

Pro otestování návrhů filtru jsem napsal program v prostředí MatLab. Tento program načte zvukový soubor ve formátu wav. Tento zvuk pak filtruje přes jednotlivé filtry, které mají za úkol propustit jen stanovené frekvenční pásmo. Program provádí filtrování s těmito filtry:

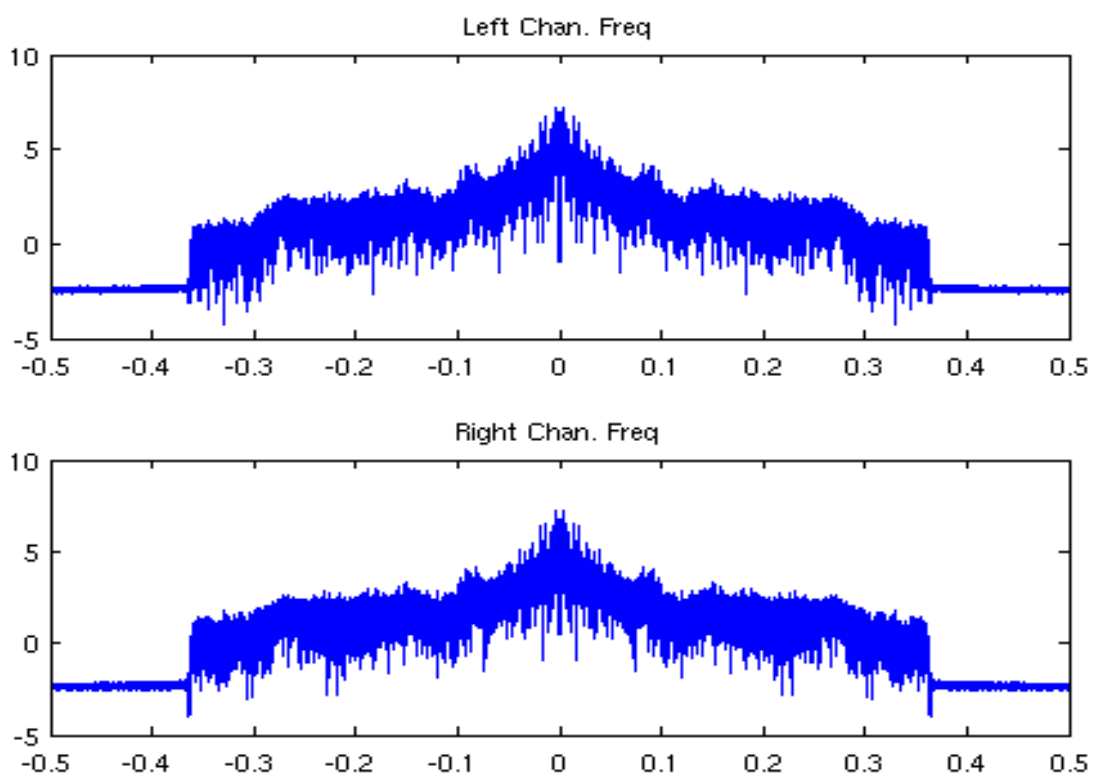
- FIR filtr pomocí *hanning window* funkce
- IIR filtry:
 - Butherworthův
 - Eliptický
 - Čebyševovy filtry I. a II.

Program požaduje tedy tři parametry:

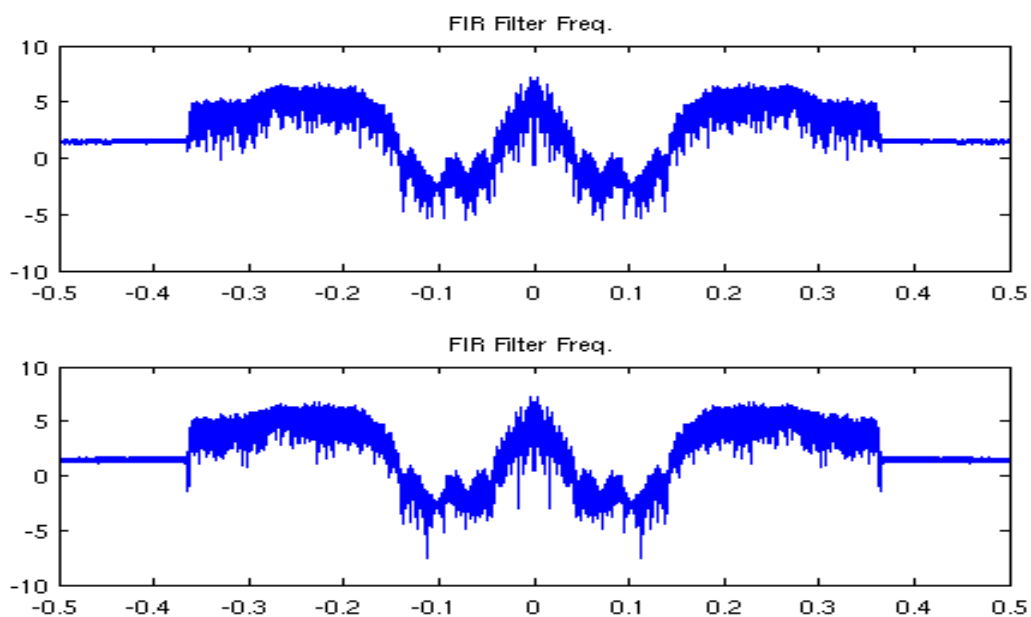
- cestu k wav souboru se zvukem
- minimalní a maximální frekvenci pásma

Po zpracování signálu uvedenými filtry, program zobrazí frekvenční spektrum původního signálu a pak frekvenční spektra signálů po aplikování jednotlivých filtrů. Na následujících grafech je vydět výstup programu při pásmové propusti v rozmezí 20 Hz až 8 kHz.

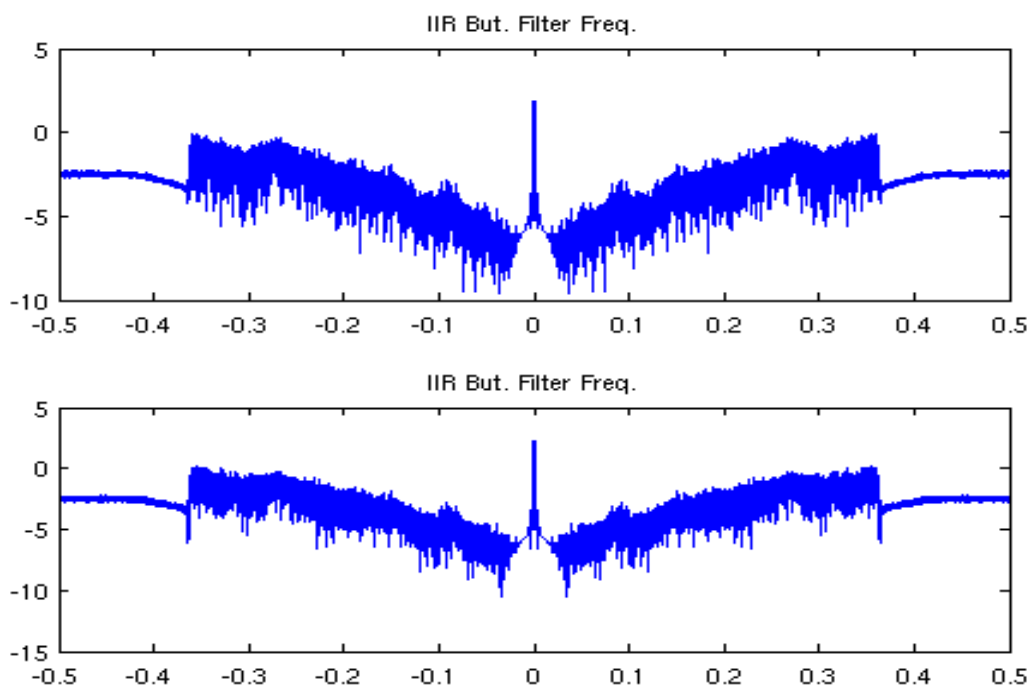
Výsledky programu



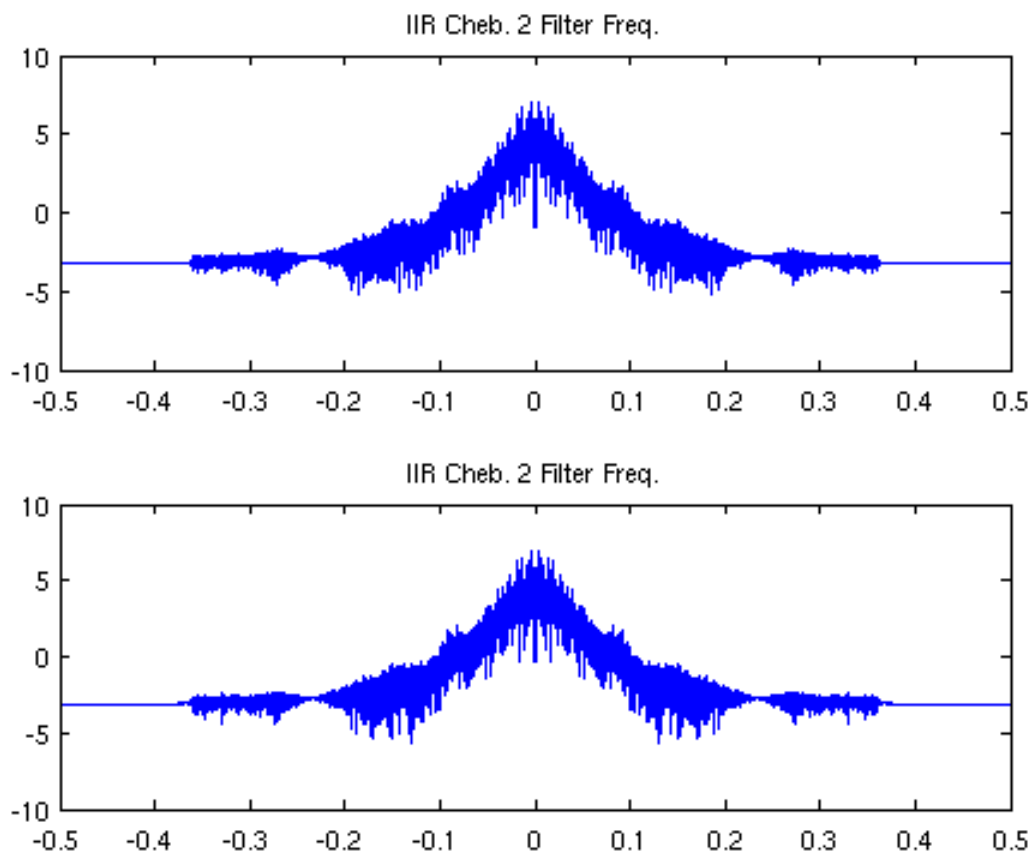
Obrázek 3: Frekvenční spektrum původního signálu



Obrázek 4: Frekvenční spektrum signálu po aplikování FIR filtru



Obrázek 5: Frekvenční spektrum po aplikování Butherworthova filtru



Obrázek 6: Frekvenční spektrum po aplikování Čebyševova filtru II.

Závěr

Složitost filtrů není v jejich realizaci, ale ve vhodném stanovení parametrů. Výpočet těchto parametrů volíme zvolením vhodného typu filtru a také nastavením vstupních paramterů funkce, která počítá parametry filtru. Tyto parametry jsou např. řád filtru, propustné, nepropustné a přechodvé pásmo, odstup pásma, zvlnění v propustném pásmu atp. Těmito parametry tedy můžeme také ovlivnit vlastnosti filtru.

Program v MatLabu, který jsem vytvořil jako součást semestrální práce je přístupný na adrese <http://home.zcu.cz/~bartipan/azs/azs.tar.bz2>