**Case 3 - Audio filter**

**Gruppe 2**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Studienummer** | **Navn** | **Studieretning** |
| 202310755 | Peter Thule Kirketerp Linstad | E |
| 202004347 | Otto Sejrskild Santesson | E |
| 202001087 | Mudar Issam | E |

Contents

**No table of contents entries found.**

# Opgave 1 -Analyse af inputsignal

## Formål

Formålet med opgaven er at analysere et optaget lydsignal, som indeholder både tale og en uønsket tone. Analysen skal vise signalets karakteristika i tids- og frekvensdomænet samt visualisere de tidsvarierende frekvenser via spektrogrammet. På baggrund af denne analyse identificeres den forstyrrende tones omtrentlige frekvens, som senere anvendes til filtrering i de efterfølgende opgaver.

## Fremgangsmåde

Der er i MATLAB indlæst lydfilen ”tale\_tone\_48000.wav”.  
Signalet blev analyseret i både tids- og frekvensdomænet ved hjælp af FFT og ved hjælp af funktionen spectrogram() til at fremstille et spektrogram.

Den anvendte kode er vist herunder:

|  |
| --- |
| [x, fs] = audioread("tale\_tone\_48000.wav");  % Plot the time domain signal  t = (0:length(x)-1)/fs; % Time vector  figure;  plot(t, x);  title('Time Domain Signal');  xlabel('Time (s)');  ylabel('Amplitude');  % Compute and plot the amplitude spectrum  n = length(x);  f = (0:n-1)\*(fs/n); % Frequency vector  xfft = abs(fft(x));  figure;  subplot(2,1,1); % full scale amplitude spectrum  plot(f, xfft);  xlim([0 fs/2]); % Limit x-axis to Nyquist frequency  title('Amplitude Spectrum');  xlabel('Frequency (Hz)');  ylabel('Magnitude');  subplot(2,1,2); % limited amplitude spectrum  plot(f, xfft);  xlim([0 3000]); % Limit x-axis to 3000Hz  title('Amplitude Spectrum');  xlabel('Frequency (Hz)');  ylabel('Magnitude');  % Plot the spectrogram  figure;  subplot(2,1,1);  spectrogram(x, 256, 250, 256, fs, 'yaxis');  title('Spectrogram');  xlabel('Time (s)');  ylabel('Frequency (kHz)');  colorbar;  % Compute and plot the second spectrogram with the same window size but  % limited y-axis  subplot(2,1,2);  spectrogram(x, 256, 250, 256, fs, 'yaxis');  title('Spectrogram with zoom on y-axis');  xlabel('Time (s)');  ylabel('Frequency (kHz)');  ylim([0 5]); % Limit y-axis to 5 kHz  colorbar; |

## Resultater

Tidsdomæne:

|  |
| --- |
| Figur 1 - Plot af signalet i tids-domænet |

Signalet viser tydelige variationer i amplitude, som svarer til tale på Figur 1. Der ses også en mindre periodisk komponent, der tyder på tilstedeværelsen af en ren tone oven på talesignalet. Dette ses som den ”tykke streg” omkring 0 på y-aksen. Vi ser derudover at signalet ikke har noget DC-offset.

Amplitudespektrum:

|  |
| --- |
| Figur 2 - Subplot af amplitude spektrum. Øverst i fuld skala og nederst fra 0-3kHz. |

I frekvensdomænet på Figur 2 fremtræder et markant peak, som indikerer en dominerende sinuskomponent. Denne peak-frekvens aflæses til ca. 785 Hz, hvilket umiddelbart stemmer overens med den hørbare tone i signalet. Resten af spektret består af bredbåndet energi fra tale-komponenterne.

Spektrogram:

|  |
| --- |
| Figur 3 - Spektogram af signalet, med frekvenser op ad y-aksen og tid i sekunder ud ad x-aksen. Øverst ses spektogrammet i fuld skala (0-fs/2) og nederst er den begrænset til kune at vise fra 0-5 kHz. |

Spektrogrammet viser, at den dominerende tone ligger konstant over hele optagelsen, som vandret gul/orange linje omkring 750 Hz, mens taleelementerne fremstår som kortvarige energiudladninger i forskellige frekvensbånd. Dette bekræfter, at den uønskede tone er stationær i tid, og dermed kan fjernes med et smalt notch-filter i næste opgave.

## Konklusion

Ud fra analysen ses, at:

* Den uønskede tone har en frekvens på ca. 785 Hz.
* Tonen er stationær/konstant i tid, mens taleindholdet er ikke-stationært.
* Der kan derfor med fordel anvendes et notch-filter centreret omkring 785 Hz i opgave 2 for at fjerne tonen uden at påvirke talen væsentligt.

# Opgave 2 – IIR notch filter design

## Formål

I opgave 1 blev der identificeret en dominerende, uønsket tone i lydsignalet - en konstant hyletone omkring 785 Hz. Formålet med denne opgave er at designe et digitalt notch-filter, der dæmper netop denne frekvens uden at fjerne den resterende tale.

## Teori

### IIR-filter, poler og nulpunkter

Et lineært tidsinvariant digitalt IIR-filter kan beskrives ved sin overføringsfunktion i z-domænet:

hvor er tællerkoefficienter og er nævnerkoefficienter. For et 2.-ordens system svarer de komplekse konjugerede nulpunkter til rødderne i tælleren, og polerne til rødderne i nævneren. Et notch-filter konstrueres ved at placere et par nulpunkter præcis på enhedscirklen ved den frekvens, der skal fjernes og placere tilsvarende poler meget tæt på (men indenfor) enhedscirklen ved samme vinkel [1]. Ved at gøre det på denne måde sikrer vi at vi dæmper den specifikke frekvens, fordi nulpunktet ligger netop på enhedscirklen og nabofrekvenserne kun påvirkes/dæmpes en smule, fordi polerne ligger tæt på nulpunkterne. På denne måde dræber vi dermed ikke et for bredt frekvensbånd. Vi kan dog ikke helt undgå at påvirke nabofrekvenserne en smule.

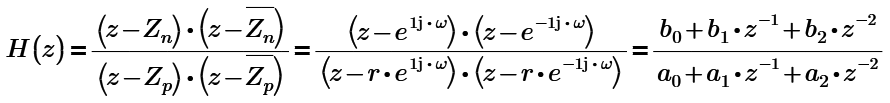
### Vinkelfrekvens

Den diskrete vinkelfrekvens for tonen er givet ved

Hvor er den uønskede tonefrekvens i Hz (785 Hz i vores beregninger) og er samplingsfrekvensen (her Hz). Denne bestemmer, hvor i z-planen vi placerer poler og nulpunkter.

### Overføringsfunktion

Vi ved fra [1] at vi kan opstille vores overføringsfunktion for et 2. ordens IIR-filter som:



Vi ønsker at dæmpe frekvensen ved netop . Det opnås ved at lægge to konjugerede nulpunkter på enhedscirklen:

Tælleren i bliver dermed:

Vi genkender koefficienterne:

For at notch’en bliver smal (altså kun dæmper lige omkring ), placerer vi et par tilsvarende poler ikke på enhedscirklen, men med radius :

Dvs. samme vinkel , men lidt inde i cirklen. Jo tættere er på 1, jo smallere og dybere notch, men også jo “ringigere” bliver systemet, fordi polerne ligger tæt på enhedscirklen og dermed har lang efterklang.

Nævneren bliver da:

Her kan vi aflæse

### Samlet overføringsfunktion

Sætter vi tæller og nævner sammen, får vi følgende overføringsfunktion:

Hvor:

### Differensligning

|  |
| --- |
| Figur 4 - Plot af pol-nulpunkts diagram for notch-filter til dæmpning af 785 Hz tone |

# Referencer

[1] Poler og nulpunkter slide fra brightspace

<https://brightspace.au.dk/content/enforced/183504-LR50157/csfiles/home_dir/PolerNulpunkter/PolerNulpunkter_Slides.pdf?ou=183504>