

Practicum 2: FM Synthese

Inleiding

De onderstaande opdrachten dienen te worden gemaakt in koppels van twee personen. De antwoorden op de opgaven dienen te worden ingeleverd in PDF-formaat. Inleveren kan door het PDF- bestand te mailen naar *practicumSenS@gmail.com*.

Vergeet niet om in je uitwerking de gebruikte Matlab broncode toe te voegen en grafieken te voorzien van labels. Leg ook duidelijk uit hoe je aan je verkregen antwoorden komt.

Let op: de deadline voor een practicum is altijd het begin van de eerstvolgende practicumssessie. Voor iedere dag dat een verslag te laat ingeleverd is zal een halve punt aftrek worden gerekend.

Opgaven

In dit practicum gaan we geluiden produceren met behulp van frequentiemodulatie (FM). Een geluid dat gemaakt wordt met FM synthese kan beschreven worden als een functie van de volgende vorm:

$$x(t) = A(t) \cos(2\pi f_c t + I(t) \cos(2\pi f_m t + \phi_m) + \phi_c)$$

Hierbij is $A(t)$ de amplitude van het signaal. Dit is een functie van de tijd zodat het geluidssignaal langzaam uit kan doven. Een dergelijke functie wordt ook wel een envelope genoemd. De constante parameter f_c is de carrier-frequentie en f_m de modulatiefrequentie. De functie $I(t)$ is de zogenaamde modulation index envelope, een functie waarmee de sterkte van de frequentiemodulatie over de tijd geschaald kan worden. Hierdoor is het mogelijk om de samenstelling van boventonen te laten variëren.

Voor dit practicum gaan we $A(t)$ en $I(t)$ beschouwen als dalende exponentiële functies. Dit betekent dat deze functies van de volgende vorm zijn:

$$y(t) = \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right)$$

Hierbij is τ een parameter die de snelheid van de daling bepaalt. Merk op dat $y(0) = 1$ en $y(\tau) = e^{-1}$, dus τ is de tijd die het signaal nodig heeft om uit te doven naar $e^{-1} = 36.79\%$ van de oorspronkelijke sterkte.

1. Schrijf een Matlab functie die de afnemende exponentiële functie genereert. Laat de functie van de volgende vorm zijn:

```
function [tt, yy] = bellenv(tau, dur, fsamp);
%BELLENV produces envelope function for bell sounds
%
% usage: [tt,yy] = bellenv(tau, dur, fsamp);
%
% input:
%         tau = time constant
%         dur = duration of the envelope
%         fsamp = sampling frequency
% output:
%         tt = time axis
%         yy = decaying exponential envelope
%
% note: produces exponential decay for positive tau
```

De amplitude envelope $A(t)$ en modulatie index envelope $I(t)$ zijn gelijk op een schalende factor na:

$$\begin{aligned} A(t) &= A_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \\ I(t) &= I_0 \exp\left(\frac{-t}{\tau}\right) \end{aligned}$$

Hierdoor is het mogelijk om de functie `bellenv` te gebruiken voor beide envelopes.

2. Nu de beide envelopes te berekenen zijn kunnen we het daadwerkelijke geluid maken door de FM functie in te vullen. De frequenties f_c en f_m moeten voorzien worden van numerieke waarden. De verhouding tussen deze twee waarden is zeer bepalend voor de uiteindelijke klank van het geluid. Voor een bell-geluid is een verhouding van 1 : 2 (bijvoorbeeld $f_c = 110$ Hz, $f_m = 220$ Hz) een goede keuze.

Schrijf een Matlab functie die de FM formule berekent om een bell-geluid te genereren. Deze functie moet gebruik maken van de `bellenv` functie om de juiste envelopes te kunnen gebruiken. Gebruik de functie `soundsc` om het geluid af te spelen. Om te testen kun je de volgende waarden gebruiken: $f_c = 110$ Hz, $f_m = 220$ Hz, $I_0 = 10$, $\tau = 2$ sec, $T_{dur} = 6$ sec, $f_s = 11025$ Hz.

Zorg dat deze waarden makkelijk aan te passen zijn. Leg in je verslag ook even kort uit wat er gebeurt met het geluid als je I_0 verandert.

3. Het frequentiespectrum van een bell-geluid ziet er ingewikkeld uit, maar er zijn wel een aantal belangrijke lijnen aanwezig. Deze kun je zien door een spectrogram te maken (zie hiervoor de help van de functie `spectrogram`). In dit spectrogram is er altijd één frequentie die bepalend is voor de toonhoogte waarop wij het geluid horen. Deze frequentie wordt de fundamentele frequentie genoemd.

Hieronder staat een tabel met vijf verschillende cases. Kies één case uit de set {1, 2, 3} en één case uit de set {4, 5}. Voer nu voor beide gekozen cases de onderstaande deelopdrachten uit.

CASE	f_c (Hz)	f_m (Hz)	I_0	τ (sec)	T_{dur} (sec)	f_s (Hz)
1	220	440	5	2	6	11025
2	110	220	10	12	3	11025
3	110	220	10	0.3	3	11025
4	250	350	5	2	5	11025
5	250	350	3	1	5	11025

- (a) Bereken de fundamentele frequentie van het geluid. Leg uit hoe je kunt verifiëren dat dit daadwerkelijk de goede frequentie is.
- (b) Maak een spectrogram van het geluid en beschrijf het verschil in de frequentiespectra voor verschillende waarden van $I(t)$. Geef ook aan hoe dit verschil te horen is.
- (c) Plot het gehele signaal en vergelijk dit met de waarden afkomstig uit de envelope $A(t)$ van de `bellenv` functie.
- (d) Plot ongeveer 100-200 samples uit het midden van het signaal en beschrijf wat je ziet. Wat kun je zeggen over de variatie in de frequentie van het signaal?