Laborationsrapport i TSKS10 *Signaler, Information och Kommunikation*

Matti Lundgren
matlu703, xxyyzz-åååä

9 juni 2017

1 Inledning

Laborationen går ut på att demodulera en smalbandig I/Q-modulerad signal där respektive I/Q-komponent bär en melodi följt av ett talspråk i form av hörbart ljud.

Det är givet att den utsända signalen har utseendet $x(t) = x_I(t)\cos(2\pi f_c t) - x_Q(t)\sin(2\pi f_c t) + w(t) + z(t)$ där $w(t) = 0{,}001(\cos(2\pi f_1 t) + \cos(2\pi f_2 t))$ och $z(t)$ är en summa av signaler som sänds på andra bärfrekvenser. På grund av ekoeffekter blir den mottagna signalen $y(t) = x(t-\tau_1) + 0{,}9x(t-\tau_2)$.

Annan relevant information som är given av laborationshandledningen listas nedan:

- Bärfrekvensen f_c är någon av följande frekvenser: 18, 37, 56, 75, 94, 113, 132, 151 kHz.
- f_1 och f_2 är multiplar av 1 Hz och överlappar inte med någon av de burna signalerna.
- $\tau_2 > \tau_1$, $\tau_2 - \tau_1 < 500$ ms och $\tau_2 - \tau_1$ är en multipel av 1 ms.

2 Metod

För att genomföra laborationen används, utöver laborationshandledningen, kursboken *Signals, Informations and Communications* (utkast 14273) och Matlab. Programkoden bifogas på sida 4 och de plottade figurerna på sida 3.

$y(t)$s amplitudspektrum plottas i figur 1. Ur spektrumet identifieras tre möjliga bärfrekvenser; 56, 94 och 151 kHz. De burna signalerna benämns hädanefter som $y_1(t)$, $y_2(t)$ respektive $y_3(t)$. Signalerna erhålls genom att bandpassfiltrera $y(t)$ runt respektive bärfrekvens. Då den sökta signalen består av hörbart ljud sätts den intressanta bandbredden till $B = 20$ kHz. Signalerna plottas i figur 2. Av figuren att döma ser $y_1(t)$ ut att vara den sökta nyttosignalen i och med att den består av två tydliga delar som skiljs åt av en paus. $y_2(t)$ ser ut som brus och den senare delen av $y_3(t)$ ser för periodisk ut för att vara ett talat ordspråk.

$w(t)$ ser ut att existera runt 46,5 kHz. $y(t)$s amplitudspektrum plottas därför runt denna frekvens i figur 3. Då det är känt att f_1 och f_2 är multiplar av 1 Hz går det med figuren att dra slutsatsen att $f_1 = 46500$ Hz och att $f_2 = 46501$ Hz.

För att ta reda på tidsfördröjningen $\tau_0 = \tau_2 - \tau_1$ används tidsestimering med autokorrelation. Autokorrelationen definieras av $z(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)y(t+\tau)\,dt$. I och med att $z(\tau)$ blir större desto mer $y(t)$ liknar $y(t+\tau)$ förväntas en topp i $\tau = 0$. Tidsfördröjningen förväntas vara given av det positiva τ som bortsett från toppen vid $\tau = 0$ ger $z(\tau)$ sin största topp. Detta på grund av att vid detta τ är $x(t)$ i fas med sin tidsfördröjda kopia. $z(\tau)$ plottas i figur 4 och med hjälp av figuren går det att dra slutsatsen att ekots tidsfördröjning är $\tau_0 = 0{,}430$ ms. Detta är rimligt då det är känt att $\tau_0 < 500$ ms och att τ_0 är en multipel av 1 ms.

Ekot filtreras bort med hjälp av ekvationen $x(\hat{t}) = y(\hat{t}) - 0{,}9x(\hat{t} - \tau_0)$ för $\hat{t} > \tau_0$. Ekvationen härleds från ekvationen för $y(t)$ genom att sätta $\hat{t} = t + \tau_1$. Notera att $x(t)$ är den ekofria signalen och att $y(t)$ är fri från eko då $t < \tau_0$ vilket gör det möjligt att rekursivt filtrera bort ekot. Då den sökta signalen tros vara $y_1(t)$ behandlas endast den. Den ekofria varianten av $y_1(t)$ benämns hädanefter som $x_1(t)$.

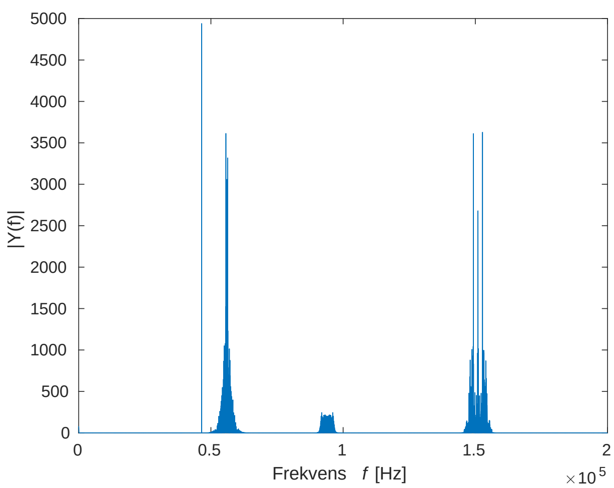
Nu återstår demodulering. Ur kursbokens andra kapitel härleds uttrycken $x_{1I}(t) = \mathcal{H}_{B/2}^{LP}\{2x_1(\hat{t})\cos(2\pi f_c t + \delta)\}$ och $x_{1Q}(t) = \mathcal{H}_{B/2}^{LP}\{-2x_1(\hat{t})\sin(2\pi f_c t + \delta)\}$. Notera att $x_1(\hat{t})$ är tidsförskjuten eftersom $\hat{t} = t + \tau_1$. Tidsförskjutningen orsakar en fasvridning som i sin tur orsakar en blandning av I- och Q-komponenterna. Denna fasvridning behöver därför kompenseras för och representeras av δ i demoduleringsekvationerna. Som tidigare känt är $f_c = 56$ kHz. Efter prövning sätts $\delta = 1{,}1$ rad vilket verkar minimera talets överlapp i respektive komponent.

3 Resultat

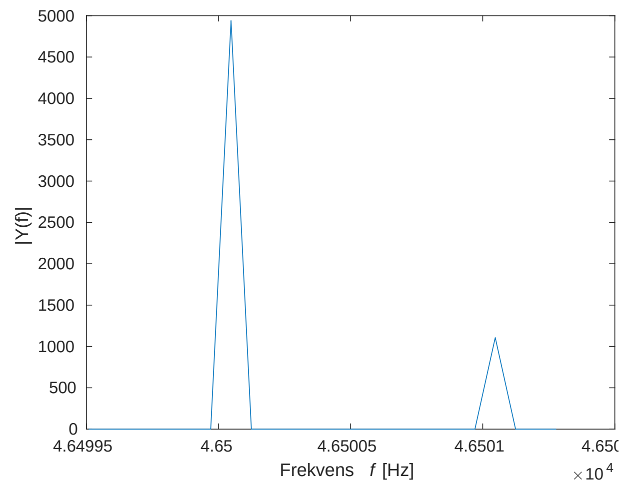
Den sökta informationen är:

- Bärfrekvensen för nyttosignalen är $f_c = 56$ kHz.
- Sinusoidernas frekvenser i $w(t)$ är $f_1 = 46500$ Hz och $f_2 = 46501$ Hz.
- Ekots bidrag till tidsfördröjningen är $\tau_2 - \tau_1 = 430$ ms.
- Ordspråket i $x_I(t)$ är “Inget ont som inte har något gott med sig”.
- Ordspråket i $x_Q(t)$ är “Även den mest skröpliga mussla kan innehålla en pärla”.

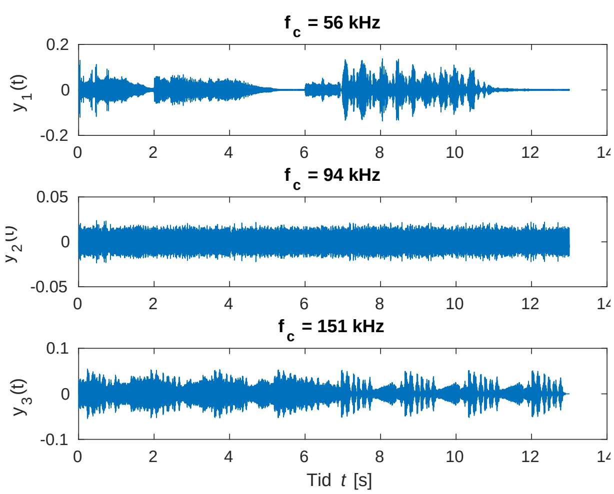
Figurer



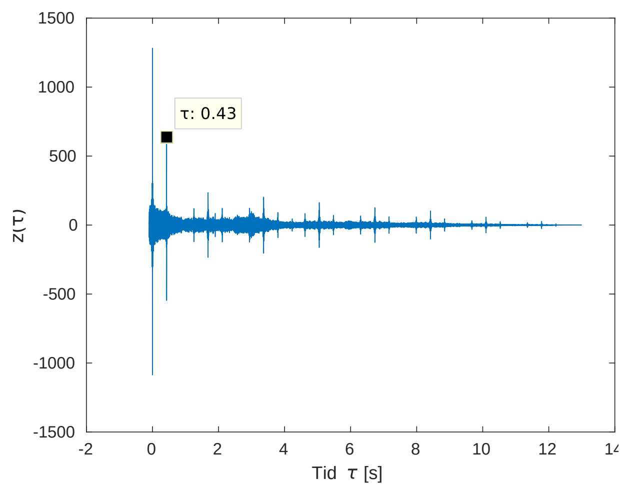
Figur 1: Amplitudspektrum för $y(t)$



Figur 3: Amplitudspektrum för $y(t)$ runt 46,5 kHz



Figur 2: De tre identifierade delsignalerna



Figur 4: Autokorrelation av $y(t)$

Matlab-kod

```
clear;

[y, Fs] = audioread('signal-extra012.wav');
T = 1/Fs;        % Sampling period
B = 20000;       % Bandwidth (hearable sound)
N = length(y);   % Number of samples

% 1. Identify fc
absY = abs(fftshift(fft(y)));
faxis = linspace(-0.5, 0.5, N)*Fs;
freqs = (faxis >= 0);
plot(faxis(freqs), absY(freqs));
xlabel('Frekvens {\itf} [Hz]')
ylabel('|Y(f)|')

Fc = [56000, 94000, 151000]; % From the plot

taxis = linspace(0, T*N, N);
[b, a] = butter(10, [Fc(1)-B, Fc(1)+B]/(Fs/2));
y_1 = filter(b, a, y);
[b, a] = butter(10, [Fc(2)-B, Fc(2)+B]/(Fs/2));
y_2 = filter(b, a, y);
[b, a] = butter(10, [Fc(3)-B, Fc(3)+B]/(Fs/2));
y_3 = filter(b, a, y);

figure;
subplot(3, 1, 1);
plot(taxis, y_1);
title('f_{c} = 56 kHz'); % Looks like the sought signal
ylabel('y_{1}(t)');
subplot(3, 1, 2);
plot(taxis, y_2);
title('f_{c} = 94 kHz');
ylabel('y_{2}(t)');
subplot(3, 1, 3);
plot(taxis, y_3);
title('f_{c} = 151 kHz');
ylabel('y_{3}(t)');
xlabel('Tid {\itt} [s]');

% 2. Identify f1 and f2 of w(t)
figure;
freqs = (faxis > 4.64995e4) & (faxis < 4.65013e4);
plot(faxis(freqs), absY(freqs));
ylabel('|Y(f)|');
xlabel('Frekvens {\itf} [Hz]');

% 3. Identify t2-t1
[z, lags] = xcorr(y);
lags = lags/Fs;
time = (lags >= -0.1);
figure;
plot(lags(time), z(time));
ylabel('z(\tau)');
xlabel('Tid {\it\tau} [s]');
tau = 0.430; % From the plot

% 4. Remove echo from y1
N_tau = uint32(tau / T); % Number of samples in time period tau
for i = N_tau + 1 : N
    y_1(i) = y_1(i) - 0.9 * y_1(i - N_tau);
end

% 5. Demodulate y1
[b, a] = butter(10, B/(Fs/2), 'low');
d = 1.1; % Deduced by trial and error listening to the sounds
I = 2*cos(2*pi*Fc(1)*taxis + d)';
Q = 2*sin(2*pi*Fc(1)*taxis + d)';
x_1I = filter(b, a, y_1.*I);
x_1Q = -1*filter(b, a, y_1.*Q);
x_1I = decimate(x_1I, 10);
x_1Q = decimate(x_1Q, 10);

pause;
close all;

% 6. Play each sound using the commands below
% soundsc(x_1I, Fs/10);
% soundsc(x_1Q, Fs/10);
```