Laborationsrapport i TSKS10 *Signaler, Information och Kommunikation*

Herman Lundkvist
herlu184, 930911-2770

23 maj 2015

1 Inledning

Denna rapport beskriver en lösningsgång för en laborationsuppgift som gavs i kursen *TSKS10* vårterminen 2015 på Tekniska högskolan vid Linköpings universitet.

Uppgiften gick ut på att extrahera en specifik I/Q-modulerad signal, $x_t(t)$, från en sänd signal, $x(t)$, som gas av:

$$x(t) = x_i(t)\cos(2\pi f_c t) - x_q(t)\sin(2\pi f_c t) + z(t) \quad (1)$$

där $x_i(t)$ och $x_q(t)$ utgör $x_t(t)$ och $z(t)$ betecknar summan av två ointressanta signaler.

Signalen $x_t(t)$ hade följande kända egenskaper: dess bärfrekvens, f_c, var en multipel av 19 kHz; och dess komponenter, x_i respektive x_q, var båda uppdelade i tre delar. De tre delarna innehöll: en melodi, ett ordspråk och vitt brus, där melodierna och ordpråken skiljde sig åt i innehåll och längd mellan x_i och x_q.

Den signal som faktiskt mottogs och kunde studeras, y, såg på grund av ekoeffekter ut på följande vis:

$$y(t) = x(t-\tau_1) + 0{,}9x(t-\tau_2) \quad (2)$$

där τ_1 och τ_2 är två tidskonstanter.

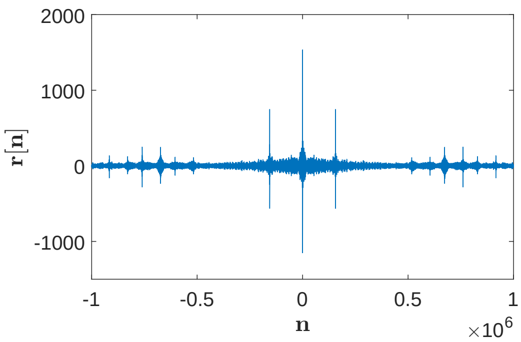
För att kunna utföra beräkningar med hjälp av dator, filterades y med ett idealt lågpassfilter och samplades med frekvensen 400 kHz. Den samplade signalen, $\hat{y}[n]$ sparades sedan i wav-format.

De uppgifter som skulle lösas var:

1. att bestämma f_c;
2. att bestämma tidsfördröjningen $\tau_1 - \tau_2$, under förutsättningen att $\tau_2 > \tau_1$;
3. att identifiera ordpråken.

2 Metod

För att lösa uppgiterna, användes ett Matlab-skript som laddade in wav-filen, och utförde ett antal beräkningar.



Figur 1: Korrelationen $r[n]$

2.1 Filtrering av eko

Det första som gjordes var att bestämma τ_1 - τ_2, för att därmed kunna filtrera bort ekot från $\hat{y}[n]$. Detta gjordes genom att studera mångtydighetsfunktionen av y:

$$\begin{aligned} r(\tau) = \int_{-\infty}^{\infty} y(t)y(t+\tau)\,\mathrm{d}t \\ = 1{,}86\,\{x(t) * x(-t)\}\,(\tau) \\ + 0{,}9\,\{x(-t) * x(t+\tau_1-\tau_2))\}\,(\tau) \\ + 0{,}9\,\{x(-t) * x(t+\tau_2-\tau_1))\}\,(\tau) \end{aligned} \quad (3)$$

Här utnyttjades att integralen hade $\pm\infty$ som integrationsgränser, vilket gjorde att integralens värde ej påverkades om integranden tidsförskjöts med τ_1.

Från (3) kan man dra slutsatsen att $r(\tau)$ innehåller tre kraftiga pikar: en stor pik vid $\tau = 0$, mitt emellan två mindre pikar på avstånden $\pm(\tau_2 - \tau_1)$ från den större. Dessa pikar uppstår de båda komponeterna i respekive faltning överlappar som mest. Ett liknade resonemang kan göras för den diskreta $\hat{y}[n]$.

mångtydighetsfunktionen av $\hat{y}[n]$ plottades, se figur 1, och utifrån denna beräknades $\tau_2 - \tau_1$ genom att först beräkna n_Δ, antalet sampel mellan den mittersta och den högra av ovannämnda pikar. Detta räknades sedan om till en tidsdifferens genom att multiplicera resultatet sampeltiden.

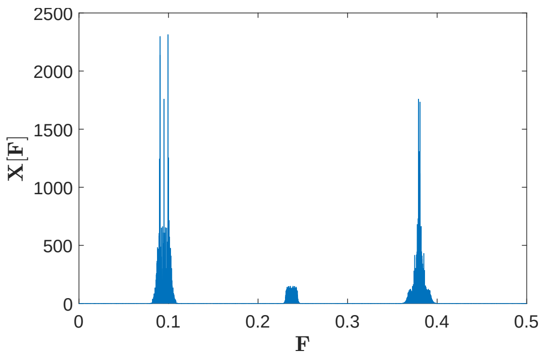
Tidsdifferensen användes sedan för att filtrera ut ekot. Detta gjordes i tidsdomänen genom att gå igenom varje sampelvärde från n_Δ till det sista, och för varje sampelvärde, n_i sätta

$$x[n_i] := x[n_i] - 0,9x[n_i - n_\Delta] \tag{4}$$

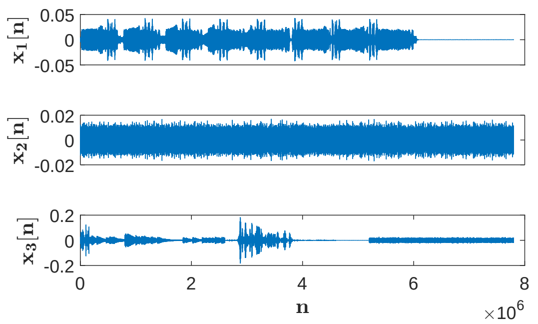
där $x[n] := \hat{y}[n]$ från början.

Operationen (4) fungerar, eftersom att ekot börjar (bortsett från noll-värden i början av signalen som ej påverkar resultatet) n_Δ sampel efter själva signalen. Det finns alltså ett fönster av n_Δ sampel i början av signalen som saknar eko. Genom att värden från detta fönster subtraheras från värden n_Δ samples senare, kancelleras ekot. Eftersom att man tilldelar x det ekofria värdet samtidigt som det används i uträkningen, flyttar man detta fönster framför sig tills man nått slutet av signalen.

2.2 Bestämning av f_c



Figur 2: Den diskreta fouriertransformen av $x[n]$



Figur 3: Samtliga frekvensband från $X[F]$ bandpassfiltrerade och inverstransformerade.

Genom att plotta $X[F]$, den diskreta fouriertransformen av $x[n]$, kunde tre tydliga frekvensband med centra kring F, som motsvarade 38 kHz, 95 kHz, och 152 kHz ($f = Ff_s$) observeras, se figur 2. Banden undersöktes var för sig i tidsdomänen. Först filtrerades banden med ett idealt lågpassfilter, med en bandbredd sådan att majoriteten av signalenergin för varje band rymdes. Sedan inverstransformerades resultaten vilket gav signalerna $x_1[n]$, $x_2[n]$ och $x_3[n]$, se figur 3. Från samma figur blev det tydligt att x_3 var den eftersökta signalen, eftersom att den var den enda med tre distinkta områden där det sista området påminde om vitt brus. Frekvensen, 152 kHz, som var i centrum för frekvensbandet hos detta område noterades, och antogs vara f_c.

2.3 Identifiering av ordspråken

För att identifiera ordspråket genomfördes en I/Q-demodulering av $x[n]$, enligt:

$$x_i[n] = \mathcal{H}^{LP}_{B/2}\{2x[n]\cos[2\pi f_c n]\}$$
$$x_q[n] = \mathcal{H}^{LP}_{B/2}\{-2x[n]\sin[2\pi f_c n]\} \tag{5}$$

där B valdes till ett värde som var tillräckligt stort för att rymma en majoritet av signalenergin.

Det uppstod dock ett problem i och med att $x[n]$ innehöll en tidsförskjutning n_{τ_1}, vilket medförde att de komponenter man fick ut från (5) innehöll linjärkombinationer av $x_i[n]$ och $x_q[n]$. Detta kan inses genom att sätta $n := n - n_{\tau_1}$ i (5) och använda subtraktionsatsen för sinus och cosinus.

Eftersom att det inte fanns något enkelt sätt att bestämma n_{τ_1}, togs denna fram genom att experimentera med olika värden mellan 0 och 2π. Efter att några värden provats kunde man dra slutsatsen att en av melodierna var kortare en den andra och följdes av några sekunders tystnad. Värdet på n_{τ_1} finjusterades därför tills överhörningen från den längre signalen var minimal under denna period av tystnad.

Sist av allt nedsamplades x_i respektive x_q med en faktor 10 och spelades upp varpå ordspråken kunde höras.

3 Resultat

Laborationen gav följande resultat:

1. Bärfrekvensen f_c var 152 KHz.
2. Tidsdifferensen $\tau_2 - \tau_1$ var 0.39 s.
3. Ordspråken löd dels "inget ont som inte har något gott med sig", dels "väck inte den björn som sover".

Min Matlab-kod:

```
%%Initialize
N = 7.8*10^6;
[y,Fs] = wavread('signal-herlu184.wav');
f = Fs*linspace(0,1/2,N/2);
t = 0:1/Fs:(N-1)*1/Fs;

%%
% Determine the tau2-tau1 by studying the
% correlation of y with itself. The Peak
% values are derived from the plot in
% this section
%
y_c = xcorr(y, y);
plot(y_c);

lpeak = 7.644*10^6;
mpeak = 7.800*10^6;
rpeak = 7.956*10^6;

%tau2 - tau1 in # of samples
n_delta = rpeak-mpeak;
tau_diff = n_delta*1/Fs;

%%
% Filter out echo in the time domain.
% x is the signal with the echo removed
%
x = y;
for i = n_delta+1:length(x)
    x(i) = x(i) - 0.9*x(i-n_delta);
end

x_c1 = xcorr(x, x);
%The correlation shows that the left and
%right peaks have been removed
plot(x_c1)

%%
% Determine fc
X = fft(x);
%The plot shows three distinct bands at
%frequencies with multiples of 19 kHz
plot(f, abs(X(1:end/2)))

%Filtering out each band and inverse
%transforming it shows that the
%heighest band matches the signal
%description (three distinctive parts,
%the last one being white noise)
ze = zeros(1, N);
X_target1 = ze;
X_target2 = ze;
X_target3 = ze;
X_target1(0.2/2*N/2:0.6/2*N/2) =
X(0.2/2*N/2:0.6/2*N/2);
X_target2(0.7/2*N/2:1.1/2*N/2) =
X(0.7/2*N/2:1.1/2*N/2);
X_target3(1.3/2*N/2:1.7/2*N/2) =
X(1.3/2*N/2:1.7/2*N/2);
X_target = X_target3;
x_target = ifft(X_target, 'symmetric');

plot(x_target)

%fc i determined by looking at the
%centrum of the heighest band of X
fc = 152*10^3;

%%
% Demodulate
%
% The delay of x(t) results in a phase
% shift in the xi, and xq components.
% This value lies somewhere between
% zero and pi/2. The phase shift below
% was derived by testing different
% values until the message could be heard.
%
phase_shift = 0.8;
xi_mixer = cos(2*pi*fc*t+phase_shift);
xq_mixer = sin(2*pi*fc*t+phase_shift);
xi_ = 2*xi_mixer.*x_target;
xq_ = -2*xq_mixer.*x_target;
Xi_ = fft( xi_ );
Xq_ = fft( xq_ );

%lowpass filter
Xi = zeros(1,N);
Xq = zeros(1,N);
Xi(1:0.4/2*N/2) = Xi_(1:0.4/2*N/2);
Xq(1:0.4/2*N/2) = Xq_(1:0.4/2*N/2);
xi = ifft(Xi, 'symmetric');
xq = ifft(Xq, 'symmetric');

plot(f, abs(Xq(1:end/2)));

Fs_ = Fs/10

soundsc(xi(1:20:end), Fs/20)
pause
soundsc(xq(1:20:end), Fs/20)

%Xi "Inget ont som inte har något gott med
%sig."
%Xq "Väck inte den björn som sover."
```