Name:	
ID number:	LiU-ID:
Passed:	Date:

TSBB16 Datorövning A
Samplade signaler
Tidsdiskreta filter

Utvecklad av Klas Nordberg

Computer Vision Laboratory, Linköping University, Sweden

9 september 2016

Introduktion

Denna övning tar upp grundläggande metoder som används för att bearbeta signaler i form av ljud och bild. Ljud som du hör är funktioner av en kontinuerlig tidsvariabel t, men de signaler som en dator (eller digitala system generellt) kan bearbeta är funktioner av en diskret tidsvariabel k. Överföringen av en tidskontinuerlig (samplad) signal till en tidsdiskret signal kallas *sampling* och den motsatta processen kallas *rekonstruktion*.

I den första delen av övningen kommer du att titta både på sampling och rekonstruktion, samt omsampling vilket överför en samplad signal till en annan tidsdiskret signal där samplingen av tidsvariabeln är gjort på ett annat sätt.

I den andra delen undersöks hur signaler kan bearbetas med filter, som förstärker olika frekvenskomponenter på olika sätt.

I slutet av respektive del finns *mästarprov*, uppgifter som (kanske) ser svårare ut än de är. De kräver att du har förberett övningen ordentligt och bygger till stor del på att du har gjort och förstått uppgifterna innan.

Laborationen *använder* Matlab som ett verktyg för att utföra vissa beräkningar och presentera resultatet av dessa. Laborationen är inte avsedd att lära ut hur Matlab fungerar eller varför vissa Matlab-funktioner används som de gör. Däremot krävs det att du har en rimlig förståelse av de beräkningssteg som förekommer, du kommer att behöva ändra vissa parametrar och lägga till några rader med egen Matlab-kod.

1 Förberedelseuppgifter

Innan du kommer till datorövningen är det viktigt att du har en klar uppfattning om det tillhörande kursmaterialet.

Nedan finns ett antal förberedelseuppgifter som ska besvaras innan du deltar i datorövningen. Förutom föreläsningar och lektioner behöver du läsa och sätta dig in i de olika övningarna i denna guide för att kunna besvara en del av uppgifterna.

1.1 Samplade signaler

1. Vad är det för fysikalisk storhet som en ljudsignal representerar? Ledning: se kompendiet, avsnitt 1.1.1.
SVAR:

2. Vilket frekvensintervall brukar normalt anges som hörbart för det mänskliga örat? Ledning: se kompendiet, avsnitt 7.2.1.
SVAR:

3. Hur många sampel per period måste en tidsdiskret signal ha enligt samplingsteoremet för att väl kunna beskriva en tidskontinuerlig cosinus-signal? Ledning: se kompendiet, avsnitt 5.6.1.
SVAR:

4. Om en signal samplas med för låg samplingsfrekvens kan det uppstå vikningsdistorsion när den rekonstrueras. Vad innebär det? Ledning: se kompendiet, avsnitt 8.3.2.
SVAR:

5. Med vilken samplingsfrekvens och antal bitar lagras ljud på CD-skivor (per ljudkanal)? Vad innebär det i bitar/sekund som måste läsas från CD:n för att kunna spela upp ljudet? Ledning: se exemplet i kompendiet, avsnitt 10.2.1.

SVAR:

6. Hur höga frekvenser kan då representeras i musiken utan att vikningsdistorsion uppstår?

SVAR:

7. Hur många kvantiseringsnivåer har en signal som representeras med b bitar? Hår många nivåer blir det för 16 bitar?

SVAR:

8. En digital bild kan ses som en matris med pixlar, bildelement. Detta är en diskret funktion, men inte av en diskret tidsvariabel k. Hur många och vad för typ av variabler handlar det om i detta fall?

SVAR:

9. Vad innebär kvantiseringsbrus? Ledning: se kompendiet, avsnitt 8.1.6.

SVAR:

10. Hur borde kvantiseringsbrusets standardavvikelse σ beror av antalet bitar, b, som används för varje sampel? Ledning: se kompendiet, observation 8.1 på sidan 130.

SVAR:

11. Vad är fördelen med närmsta-granne-interpolation jämförd med bilinjär interpolation? Ledning: se kompendiet, avsnitt 8.2.1.

SVAR:

1.2 Faltning och filter

12. En tidsdiskret signal faltas med ett filter som har 2 koefficienter $= [0.5\ 0.5]$. Vad blir amplitudkarakteristiken $D(f) = |H(f)|$ för detta system? Rita en kurva på $D(f)$ för f upp till 22050 kHz när $T_s = 1/44100$ (dvs. 44100 sampel per sekund). Vilken typ av filter är detta? Ledning: se exemplen i kompendiet, avsnitt 9.2.2.

SVAR:

13. Varför spelar det ingen roll hur amplitudkarakteristiken ser ur över 22,05 kHz i detta fall?

SVAR:

14. Ett tidsdiskret system faltar med ett filter som har 2 koefficienter $= [0.5 \ \ -0.5]$. Vad blir amplitudkarakteristiken $D(f)$ för detta system? Rita en kurva på $D(f)$. Vilken typ av filter är detta?

SVAR:

15. Denna typ av filter kan approximativt ses som ett deriverare. Varför? Hur syns det av kurvan för $D(f)$? Ledning: se kompendiet, avsnitt 7.2.2.

SVAR:

16. Vad blir amplitudkarakteristiken $D(f)$ för ett filter med 4 koefficienter $[a \ \ b \ \ c \ \ d]$?

SVAR:

2 Matlab

En lista med Matlab-funktioner som används i laborationen:

- `clear`: Raderar värdet av variabler. `clear all` raderar alla variabler.
- `close`: Tar bort ett fönster som används för plottar och bilder.
- `zeros`: Skapar en vektor eller matris med alla element $= 0$.
- `ones`: Skapar en vektor eller matris med alla element $= 1$.
- `figure`: Skapa ett nytt fönster att rita figurer i.
- `plot`: Rita upp en signal eller funktion. Använd zoom-funktionen (+) för att titta närmare på detaljer i signalen.
- `subplot`: Delar upp ett fönster i flera underfönster som var och en kan användas i `plot`-funktionen.
- `hold`: Lås uppritad figur i ett fönster så att ny ritning kan ske “ovanpå”, utan att radera.
- `title`: Skriv ut en rubrik på en figur.
- `sound`: Spela upp ljud i högtalaren.
- `conv`: Faltning mellan två funktioner.
- `pause`: Väntar på att en tangent trycks ned innan programmet fortsätter. Alternativ väntar en specifik tid innan programmet fortsätter.
- `sprintf`: Formatera textsträngar för utskrift.
- `axis`: Styr mer i detalj hur en kurva eller bild ritas ut
- `min` och `max`: Beräknar min eller max av värden.

Den Matlab-kod som förkommer i laborationen ligger i färdiga script-filer, med filtypen ".m". **Du behöver alltså inte skriva in alla den kod du ser i denna guide.** Däremot kan du behöva göra vissa ändringar i dessa filer.

Det betyder att du egentligen inte behöver skriva in kommandon i Matlabs kommandofönster, all körning av kod sker i editorn genom att olika avsnitt (sections) körs separat.

Del I

Samplade signaler

I denna del av laborationen ska du undersöka olika fenomen som uppstår i samband med att tidskontinuerliga signaler samplas, eller samplas om. Signalerna kan vara antingen syntetiska, skapade i datorn, eller riktiga ljudsignaler.

Du kommer att spela upp signaler i form av ljud. För att inte störa andra laboranter, koppla in ett headset datorns högtalarutgång. Använd ett förgreningsuttag om ni är två studenter som jobbar tillsammans. Eventuellt kan datorns ljudvolym behöva justeras så att ljudstyrkan blir lagom.

Börja med att se till att alla variabler är raderade och alla fönster är stängda:

```
clear all;close all
```

3 Stationära signaler

Matlab-koden som används i denna del av övningen finns i en fil som heter `stat.m`.

Börja med att skapa en stationär signal, en cosinus-signal med frekvensen 1000 Hz, som du sedan kan spela upp. Det blir en tidsdiskret signal, som är samplad med 44.100 Hz och som är 2 sekunder lång.

```
f = 1000;                  % Signalens frekvens
omega = 2*pi*f;            % Signalens vinkelfrekvens
fs = 44100;                % Sampelfrekvens
Ts = 1/fs;                 % Sampelintervall
k = 0:1:(2*fs);            % Diskret tidsvariabel över 2 sek
s1 = cos(omega*k*Ts);      % Signalen skapas
figure(1);                 % Skapa ett fönster
plot(s1(1:100),'o-');      % Rita upp början av signalen
```

1. Hur många sampel per period har denna signal? Hur bra stämmer det överens med samplingsteoremet?
SVAR: Drygt 40 sampel per period, bra mycket fler än vad samplingsteoremet kräver.

Spela upp signalen i datorns högtalare. Observera att du måste ange samplingsfrekvensen f_s för att datorn ska kunna spela upp ljudet på korrekt sätt.

```
sound(s1,fs);
```

Kör om avsnittet med denna rad om du vill höra ljudet flera gånger.

Justera högtalarens och/eller datorns volymkontroll så att du kan höra ljudet bra (utan att störa dina grannar). Om det inte hörs någonting, kontroller högtalarens anslutningskablar och strömförsörjning. Åtgärda eventuella problem innan du fortsätter.

Skapa ytterligare en signal som har frekvensen 1000 Hz men som en sinus-funktion istället för cosinus. Rita upp både den gamla och nya signalen och spela upp båda med en liten paus mellan:

```
s2=sin(omega*k*Ts);
figure(1);subplot(2,1,1);plot(s1(1:200),'o-');title('s1')
subplot(2,1,2);plot(s2(1:200),'o-');title('s2')
sound(s1,fs);pause(3);sound(s2,fs);
```

2. Hör du någon skillnad mellan de två ljuden? Förklara varför.
SVAR: Nej, de låter likadant eftersom den ena är lika med den andra efter ett tidsskift.

Skapa en tredje signal, en cosinus på 2000 Hz. Rita upp den första signalen och denna nya siganl och spela upp båda:

```
s3=cos(2*omega*k*Ts);
figure(1);subplot(2,1,1);plot(s1(1:200),'o-');title('s1')
subplot(2,1,2);plot(s3(1:200),'o-');title('s3')
sound(s1,fs);pause(3);sound(s3,fs);
```

3. Hör du någon skillnad mellan de två ljuden? Förklara varför.
SVAR: Ja, de har olika frekvens eller tonhöjd.

Skapa två nya signaler som summan av signal 1 och signal 3 respektive summan av signal 2 och signal 3. Rita upp och lyssna:

```
s4=s1+s3;
s5=s2+s3;
figure(1);subplot(2,1,1);plot(s4(1:200),'o-');title('s4')
subplot(2,1,2);plot(s5(1:200),'o-');title('s5')
sound(s4,fs);pause(3);sound(s5,fs);
```

4. Hör du någon skillnad mellan de två ljuden? Förklara varför.

SVAR: De låter lika eftersom den ena signalen är lika med den andra efter teckenbyte och tidsskift.

En sjätte signal skapas som en linjärkombination av signal 1 och signal 3. Även signal 4 är en linjärkombination av signal 1 och signal 3. Rita upp båda dessa linjärkombinationer och lyssna

```
s6=0.5*s1+1.5*s3;
figure(1);subplot(2,1,1);plot(s4(1:200),'o-');title('s4')
subplot(2,1,2);plot(s6(1:200),'o-');title('s6')
sound(s4,fs);pause(3);sound(s6,fs);
```

5. Hörs det någon skillnad mellan det första och andra ljudet? Kan du förklara varför?

SVAR: De låter lite olika. Båda innehåller samma frekvenskomponenter på 1000 Hz och 2000 Hz, men i olika proportioner.

6. Vilka frekvenskomponenter innehåller de 6 signalerna som du lyssnat på?

SVAR: Signal 1 och 2: 1000 Hz, signal 3: 2000 Hz, signal 4 och 6 innehåller både 1000 Hz och 2000 Hz, i lite olika proportioner.

3.1 Vikningsdistorsion

Enligt samplingsteoremet måste en stationär cosinus-signal samplas med minst 2 sampel per period, annars uppstår vikningsdistorsion. Du ska nu undersöka hur en cosinus-signal ser ut och låter vid olika frekvenser både under och över den som tillåts av samplingsteoremet. För att dina öron, datorns ljudkort och högtalare ska kunna hantera ljudet sänker vi tillfälligt samplingsfrekvensen till 10 kHz

```
fs2=10000;
Ts2=1/fs2;
k=0:1:(2*fs2);
for frek=1000:1000:10000,
  signal=cos(2*pi*frek*k*Ts2);
  figure(2);plot(signal(1:200),'o-');
  title(sprintf('Signalens frekvens = %d Hz', frek));
  sound(signal,fs2);
  pause;  %  ENTER på tangentbordet föra att fortsätta
end,
```

Använd zoom-funktionen för att titta närmare på en kortare del av signalen, och tryck sedan på en tangent för att gå till nästa ljud med en högre frekvens.

7. Vad är det du ser och hör? Rita en kurva som visar hur du uppfattar att ljudets frekvens f_{ljud} beror av frekvensen för den samplade signalen f.

SVAR:

.

8. Är ditt resultat i överensstämmelse med samplingsteoremet?

SVAR: Tidsdiskreta signaler som har en frekvens f över halva samplingsfrekvensen f_s kommer att speglas ned till en lägre frekvens; de både ser ut och låter som en cosinus med frekvensen $f - f_s$

.

4 Naturliga ljud

Matlab-koden för denna del av övningen finns i skript-filen `natural.m`.

Ett antal signaler som består av ord uttalade av olika personer finns lagrade i filen `Ljud.mat`. Ladda in filen i Matlab, rita upp signalerna och spela upp ljuden.

```
load Ljud
figure(3);
for p=1:10,
  subplot(10,1,p);plot(ljud{p});
  sound(ljud{p},fs);
  pause(1);
end,
```

Ljudklippen är inspelade med CD-kvalitet, dvs 16 bitar per sampel och 44100 sampel per sekund. Förstora fönstret som signalerna ritades upp i för att se dom tydligt. Du kan även använda zoom-verktyget för att titta på detaljer i signalerna.

4.1 Kvantisering och kvantiseringsbrus

Ändra kvantiseringen genom att "kasta bort" (eller sätta =0) de minst signifikanta bitarna i varje sampel, så att de b mest signifikanta bitarna återstår. Exempelvis, för $b = 15$ bitar:

```
b=15;r=1.0;
figure(4);
for p=1:10,
  kv_ljud=liu_quantize(ljud{p},r,b,'bipolar');
  subplot(10,1,p);plot(kv_ljud);title(sprintf('ljud %d',p));
  sound(kv_ljud,fs);
  pause(1);
end,
```

Genom att ändra i skript-filen: prova att minska antalet bitar per sampel, b, och gör en bedömning hur många bitar som behövs för att inte kvantiseringsbruset ska bli besvärande.

9. Hur många bitar behövs?
SVAR: Ungefär 5, men det är ju subjektivt

Prova att gå ända ned till bara 1 bit per sampel (inne i for-loopen). Ändra även intervallet som kvantiseringen sker inom till $\pm 0,5$ så att ljudets variationer kommer med bättre:

```
b=1;r=0.5;
```

10. Kan du fortfarande urskilja vad som sägs?
SVAR: Ja, för de flesta ljuden går det fortfarande bra att höra vad som sägs, även om det är mycket brus.

Tag ett av ljuden, exempelvis det sista, och beräkna hur normen σ av kvantiseringsbruset beror av antalet bitar b som används. Plotta σ som funktion av b, titta även på funktionen i en logaritmisk skala.

```
for b=1:16
  kv_ljud=liu_quantize(ljud{10},1.0,b,'bipolar');
  sigma(b)=norm(ljud{10}-kv_ljud);
end,
figure(5);subplot(2,1,1);plot(sigma);title('sigma')
subplot(2,1,2);plot(log(sigma));title('logaritm av sigma');
```

11. Hur skulle du beskriva sambandet mellan kvantiseringsbruset och antalet bitar? Är detta det förväntade? (Se förberedelseuppgift 10)
SVAR: σ avtar som 2^{-b}, vilket är det förväntade

Kontrollera om sambandet även stämmer för några av de andra ljudsignalerna.

4.2 Nedsampling

Vid nedsampling reduceras antalet sampel per tidsenhet genom att endast vart n-te sampel i den tidsdiskreta signalen behålls medan de övriga kastas bort. Det betyder att den nedsamplade signalen har n gånger färre sampel än den ursprungliga signalen, dvs. dess samplingsfrekvens är f_s/n, där f_s är samplingsfrekvensen för den ursprungliga tidsdiskreta signalen. Om samma antal bitar per sampel bibehålls kommer nedsamplingen att producera en signal som kräver n gånger färre bitar per tidsenhet vid lagring eller överföring.

Vid behov kan de sampel som kastats bort approximeras på olika sätt, exempelvis genom interpolation. Två olika metoder för interpolation ska undersökas:

- **Närmsta-granne-interpolation:** de sampel som ska rekonstrueras sätts till värdet av det närmsta kända sampel från den nedsamplade signalen.
- **Bilinjär interpolation:** det sampel som ska rekonstrueras ska ligga på en rät linje genom de två närmsta kända samplen (till höger respektive vänster).

Välj nedsamplingsfaktorn n som en jämn 2-potens: $n = 2^m$ där m är ett heltal. Exempelvis, en nedsampling med faktor $4 = 2^2$ och rekonstruktion med närmsta-granne-interpolation:

```
m=2;n=2^m;
rekfilt=[0 0 ones(1,n)0 0];
figure(6);plot(rekfilt,'Linewidth',2);
title('interpolationsfunktion');
signal=ljud{10};
nedsampl=zeros(1,length(signal));
k=1:n:length(signal);
nedsampl(k)=signal(k);
rekon=conv(nedsampl,rekfilt,'same');
figure(7);plot(rekon,'o-');title(sprintf('ljud %d',p));
hold('on');plot(k,signal(k),'or');hold('off');
sound(rekon,fs);
```

12. Hur stor nedsamplingsfaktor $n = 2^m$ kan användas innan det blir en besvärande störning av ljudet? Hur mycket mindre data behöver då lagras eller sändas jämfört med den ursprungliga signalen?

SVAR: En faktor 8 går bra, men inte 16. 8 gånger mindre data.

13. Vad är det för fenomen som orsakar störningar i ljudet?

SVAR: Vid ideal rekonstruktion ska egentligen en sinc-funktion användas som interpolationsfunktion. Ju bättre approximation av sinc-funktionen vi använder, desto bättre rekonstruktion.

I figur 7 visas den nedsamplade signalen i rött och den interpolerade signalen i blått. Använd inzoomningsverktyget i Matlab i figur 7 för att undersöka båda signalerna och hur de relaterar till varandra. Zooma in så att du ser tydligt!

14. Rita en figur som visar ett exempel av den nedsamplade signalen och den interpolerade signalen
SVAR:

Gör samma undersökning med bilinjär interpolation:

```
...
rekfilt=(n-abs(-n:(n-1)))/n;
...
```

15. Blir det någon skillnad jämfört med närmsta-granne-interpolation?
SVAR: Det blir lite bättre även vid n=16, men n=32 blir inte bra.

Undersök hur σ, normen av skillnaden mellan den ursprungliga signalen och den rekonstruerade signalen, beror av nedsamplingsfaktorn n.

```
signal=ljud{10};
sigma=[];
for m=1:10,
  n=2^m;
  rekfilt=(n-abs(-n:(n-1)))/n;
  nedsampl=zeros(1,length(signal));
  nedsampl(1:n:end)=signal(1:n:end);
  rekon=conv(nedsampl,rekfilt,'same');
  sigma(m)=norm(signal-rekon);
end,
figure(7);subplot(2,1,1);plot(sigma,'o-');title('sigma');
subplot(2,1,2);plot(log(sigma),'o-');title('log sigma');
```

16. Hur kan du på enklast sätt beskriva sambandet mellan σ och n?

SVAR: Ungefär: σ fördubblas när n ökas med 1, i alla fall initialt.

4.3 Linearitet och distorsion

Du ska nu undersöka ett tidsdiskret system som inte är linjärt. Systemet tar helt enkelt varje sampel och avbildar det med en olinjär funktion f, vilket inför en slags distorsion på signalen.

$$f(x) = \text{sign}(x) \cdot \|x\|^{\gamma}$$

Här är γ en parameter som kontrollerar distorsionen. För $\gamma = 1$ är $f(x) = x$.

Plotta distorsionsfunktionen f och lyssna på hur den påverkar en ljudsignal

```
gamma=1.0;
x=-1:0.01:1;
distf=sign(x).*(abs(x).^gamma);
figure(9);plot(x,distf); s=ljud{10};
dist_s=sign(s).*(abs(s).^gamma);
figure(10);plot(dist_s);
sound(s,fs);pause(3);sound(dist_s,fs);
```

Prova olika värden på γ i intervallet 0,5 - 2,5.

17. Inom vilket intevall kring 1 kan γ variera utan det uppenbart hörs att ljudet är förvrängt?

SVAR: Ungefär $0,7 - 1,3$.

18. På vilket sätt motiverar detta resultat att det för en del system är viktigt just att de är linjära och inte olinjära?

SVAR: En signal av den typ som beskrivs i denna kurs kommer att förvrängas av ett olinjära system och inte längre beskriva information på samma sätt som tidigare.

Prova att utsätta cosinus-signalen `s1`, som skapades i första övningen, för distorsionsfunktionen f.

19. Hur upplever du att signalens tonhöjd ändras för olika värden på γ?
SVAR: Så fort γ avviker signifikant från 1 kommer det att uppstå deltoner i förhållande till grundtonen på 1000 Hz.

4.4 Mästarprov: Kvantisering av bilder

Du ska nu göra samma typ av undersökning, men nu på bilder istället för ljud. Varje pixel i bilden kan ses som ett sampel. Bilder i gråskala (ibland kallade “svartvita bilder”) brukar ofta digitaliseras med 8 bitar per pixel, vilket ger en rimlig kvalitet. Matlab-koden för denna övning ligger i skript-filen `bilder.m`.

Börja med att läsa in en bild från fil och visa upp den i en figur.

```
im=double(imread('cameraman.png'));
figure(11);colormap(gray);
imagesc(im);title('originalbild');
```

Kvantisera varje pixel med b bitar och visa upp resultatet. Prova med olika värden på b.

```
b=8;
imq=liu_quantize(im,256,b,'unipolar');
figure(12);colormap(gray);
imagesc(imq);title('kvantiserad bild');
```

20. Hur många bitar behövs det för varje pixel för att det inte ska börja se ut som att bildens intensitet är förvrängd?
SVAR: Cirka 5 bitar är OK.

4.5 Mästarprov: Nedsampling av bilder

En bild kan även samplas ned med en faktor n, vilket motsvaras av att samplingsfrekvensen sänks med samma faktor.

```
im=double(imread('JavaBW.jpg'));
figure(11);colormap(gray);
imagesc(im);title('originalbild');
n = 2^0;
ims = im(1:n:end,1:n:end);
figure(12);colormap(gray);
imagesc(ims);title('nedsamplad bild');
```

Prova med olika värden på n (potenser av 2).

21. Vad är det för fenomen du kan observera i bilden, specifikt i gallerskyddet på trappan? Kan du förklara det?
SVAR: Gallret är ett repetitivt mönster, med en viss frekvens. Om samplingsfrekvensen sjunker under dubbla denna frekvens uppstår vikning. Vikningen uppträder som ett mönster med relativt låg frekvens.

Del II

Tidsdiskreta filter

5 Små filter

Du ska nu undersöka hur operationen faltning påverkar tidsdiskreta signaler. Matlab-koden för denna del av övningen finns i en skript-fil som heter `FIRfilter.m`

Börja med att sätta upp lite parametrar och generera en syntetisk signal `x`, med frekvensen f:

```
f = 1000;                  % Signalens frekvens
fs = 44100;                % Sampelfrekvens
Ts = 1/fs;                 % Sampelintervall
k = 0:1:(0.01*fs);         % Diskret tidsvariabel över 0.01 sek
x = cos(2*pi*f*k*Ts);      % Insignalen skapas
```

Definiera ett filter med 2 koefficienter $= [0,5 \;\; 0,5]$ (= impulssvaret), och rita upp dess amplitudkarakteristik.

```
frek=0:22050;
h=[0.5 0.5];
H=h(1)+h(2)*exp(i*2*pi*frek*Ts);
figure(11);subplot(2,1,1);plot(frek,abs(H));title('amplitudkarakteristik'
subplot(2,1,2);plot(frek,angle(H));title('faskarakteristik');
```

Rita upp signalen, falta signalen med filtret och rita upp utsignalen `y` från filtret:

```
figure(12);
subplot(2,1,1);plot(x,'o-');title('insignal');
y = conv(x,h,'same');  % Generera utsignal
subplot(2,1,2);plot(y,'o-');title('utsignal');
```

Lägg figur 11 och 12 vid sidan av varandra så att du kan se båda samtidigt! Prova att ändra signalen frekvens f, från 1000 Hz till 19000 Hz i steg om 3000 Hz. Rita en kuva för hur utsignalens amplitud beror av dess frekvens.

22. Stämmer den uppritade amplitudkarakteristiken med de förstärkningar av amplituden du observerar för filtrets utsignal `y` vid olika frekvenser f?
SVAR: Japp

23. Stämmer den uppritade faskarakteristiken med de fasförskjutningar du observerar för filtrets utsignal `y` vid olika frekvenser f?

SVAR: Japp

24. Vilken typ av filter är detta? Vad är gränsfrekvensen

SVAR: Ett LP-filter med gränsfrekvens ca 11 kHz.

Byt filter till ett med koefficienter $= [0,5 - 0,5]$, bestäm dess amplitudkarakteristik, och gör om samma undersökning:

```
h=[0.5 -0.5];
```

25. Stämmer den uppritade amplitudkarakteristiken med de amplituder du observerar för filtrets utsignal `y` vid olika frekvenser f?

SVAR: Japp

26. Vilken typ av filter är detta?

SVAR: Ett HP-filter med gränsfrekvens ca 11 kHz.

Kör om skriptet igen, med samma filter som senast och med $f = 5000$ Hz. Detta filter är approximativt ett deriverande filter.

27. Hur syns det att filtret har en deriverande funktion på signalen? För vilka frekvenser kommer approximationen att vara bra? Ledning: se förberedelseuppgift 15.

SVAR: Det syns för låga frekvenser, eftersom $D(f) = |H(f)|$ är approximativt linjär då.

6 Lite större filter

Mästarprov Kung-FIR: Du ska nu undersöka ett FIR-filter av längd $n = 15$ på samma sätt som i föregående övningar. Filtrets koefficienter syns i script-filen. Undersök filtrets amplitudkarakteristik genom att gå igenom olika frekvenser i intervallet 0-22050 Hz, eventuellt lite tätare än tidigare.

Modifiera koden så att filtrets frekvensfunktion H beräknas korrekt. Ledning: använd förberedelseuppgift 16 applicerad på detta filter.

Använd markören "Data Cursor" i verktygsfältet i figur 12. Klicka på en punkt på kurvan och flytta punkten med piltangenterna för att hitta filtrets centerfrekvens.

28. Rita upp filtrets amplitudkarakteristik. Vilken typ av filter är det? Gränsfrekvens? Alternativt centerfrekvens och bandbredd?
SVAR: Ett BP-filter med centerfrekvens ca 11 kHz, bandbredd ca 3,3 kHz.

Mästarprov FIR-fu: Du ska nu försöka modifiera FIR-filtret i föregående mästarprov så att det blir ett bandpassfilter (BS-filter).

Ledning: Ett allpassfilter har amplitudkarakteristiken $D(\omega) = 1$ och släpper igenom alla frekvenskomponenter i insignalen utan att de dämpas. En linjärkombination av ett allpassfilter och föregående filter bör kunna bli ett BS-filter. Vilken linjärkombination?

För att fungera bra måste du undersöka vilken amplitudförstärkning och fasförskjutning som filtret i föregående övning har för de frekvenser som förstärks maximalt. Allpassfiltret måste ha samma amplitudförstärkning och fasförskjutning för att linjärkombinationen ska fungera bra.

29. Vilken amplitudförstärkning coh fasförskjutning har föregående filter i passbandet?
SVAR: Förstärkning: ca 1,127. Fasförskjutning 0.

30. Bestäm impulssvaret för ett FIR-filter, med längd $n = 15$, som enbart förstärker och fasförskjuter i enlighet med föregående svar. Ledning: du kan verifiera att det stämmer genom att plotta filtrets fas- och amplitudkarakteristik på samma sätt som tidigare!

SVAR: Exempelvis: [1,127 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0]

31. Vilken linjärkombination mellan filtret som blev svaret i föregående fråga och filtret i Mästarprovet King-FIR motsvarar då en BS-filter.

SVAR: [1,127 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0 0] - föregående filter

Verifiera att det stämmer!

32. Har ditt nya filter en amplitudkarakteristik som motsvarar ett BS-filter?

SVAR: Jajjamensan!