

## SIGBE/14/5

### a) System med återkoppling.

En kommunikationskanal med rundgång kan beskrivas av sambandet

$$y(n) = ay(n-1) + x(n-L) + e(n-L)$$

där insignalen  $x$  representerar den av sändaren utsända signalen, utsignalen  $y$  är den mottagna signalen, och  $e$  är en ekokomponent som ges av

$$e(n) = ae(n-1) + cy(n-L)$$

(i) Konstruera ett blockschema som beskriver sambandet mellan signalerna  $x$ ,  $y$  och  $e$ , samt bestäm sambandet (överföringsfunktion och differensekvation) mellan insignalen  $x$  och utsignalen  $y$ .

(ii) Antag de numeriska värdena  $a = 0.05$ ,  $c = 0.9$  och  $L = 10$ . Beräkna systemets utsignal för någon insignal (välj t.ex. en audiosignal som man också kan lyssna på). Illustrera insignalen och utsignalen grafiskt.

(iii) Bestäm (teoretiskt eller genom att testa numeriskt) hur stor parametern  $c$  får vara för att systemet som beskriver sambandet mellan  $x$  och  $y$  skall vara stabilt.

(iv) För att rekonstruera den ursprungliga, utsända insignalen  $x$  från den mottagna signalen  $y$  konstrueras ett filter  $H(z)$  ('utjämnare') och den rekonstruerade signalen  $y_{eq}$  bestäms enligt

$$\hat{Y}_{eq}(z) = H(z)\hat{Y}(z)$$

Bestäm ett kausalt filter  $H(z)$  som rekonstruerar insignalen från den mottagna signalen  $y$ . Tillämpa filtret på signalen i b-fallet. Verifiera och illustrera grafiskt att exakt rekonstruktion fås med beaktande av tidsfördröjningen, så att  $y_{eq}(n) = x(n-L)$ .

## b) Filterdesign.

### (i) Syntes av FIR-filter med fönsterfunktion.

Talsekvensen i filen

<http://www.abo.fi/~htoivone/courses/sigbe/signal3.dat>

representerar en audiosignal  $\{x(nT_s)\}$  som diskretiserats med samplingsfrekvensen  $f_s = 11025$  Hz. Signalen är densamma som i uppgift SIGBE/14/3 men är korrumpierad med högfrekvent brus i frekvensområdet över ca 2750 Hz. (Lyssna!)

För att eliminera det oönskade högfrekventa bruset bör signalen filtreras med ett lämpligt filter. Undersök först om filtreringen kan göras med ett enkelt medeltalsfilter enligt

$$y(n) = \frac{1}{N} (x(n) + x(n-1) + \dots + x(n-N+1))$$

För att avgöra om acceptabelt filtreringsresultat kan uppnås på detta sätt, bestäm filtrets frekvenssvar för olika värden på  $N$  samt beräkna, och lyssna på, den filtrerade signalen.

Bestäm sedan ett faslinjärt FIR filter för ändamålet genom att tillämpa syntes med hjälp av lämplig fönsterfunktion. För att uppnå en lämplig kompromiss mellan prestanda och komplexitet hos filtret kan man t.ex. kräva att filtret uppfyller följande specifikationer:

- spärbandets hörnfrekvens: 2750 Hz
- dämpning i spärbandet:  $> 50$  dB
- övergångsbandets bredd: 250 Hz
- maximal avvikelse i passbandet: 0.05 dB

Plotta filtrets koefficienter samt upprita filtrets frekvenssvar (förstärkning och fasförskjutning). MATLAB-rutinen `fir1` eller det grafiska användargränssnittet `fdatool` kan användas för filtersyntesen.

(ii) Bestäm den filtrerade signalen  $\{y(nT_s)\}$  som fås genom att filtrera signalen  $\{x(nT_s)\}$  med filtret enligt fall (i). MATLAB-rutinen `filter` kan användas.

- Bestäm spektret hos signalen  $y$  och verifiera att frekvenser över 2750 Hz faktiskt har eliminerats.
- Lyssna på signalen  $y$ ; kan man höra att det högfrekventa bruset har eliminerats?
- Den ursprungliga signalen  $x$  och den filtrerade signalen  $y$  kan jämföras i tidsplanet genom att observera att det faslinjära FIR-filtret medför en fasförskjutning som motsvarar en tidsfördröjning på  $L = (N - 1)/2$  sampel (jmf ekvation (8.55) eller (8.84) i kompendiet). Jämför således signalerna genom att plotta  $y(nT_s)$  och  $x((n - L)T_s)$  i ett lämpligt tidsintervall (t.ex. för  $1001 \leq n \leq 1100$ ).

### (iii) Syntes av FIR-filter med Parks-McClellan metoden.

Upprepa filtersyntesen i fall (i) genom att använda Parks-McClellan metoden.

Lämplig filterlängd kan bestämmas med hjälp av MATLAB-rutinen `firpmord` (tidigare `remezord`), och filtersyntesen kan utföras med programmet `firpm` (tidigare `remez`), eller med hjälp av det grafiska användargränssnittet `fdatool`.

### (iv) Syntes av notch-filter.

Konstruera ett digitalt notch-filter för att eliminera frekvenskomponenten 125 Hz i en signal som samplats med samplingsfrekvensen 500 Hz. Filtret skall ha 3dB bandbredden 10 Hz.

Upprita filtrets förstärkning  $|H(e^{j\omega})|$  som funktion av frekvensen i ett diagram med linjär (ej logaritmisk) skalning.