T-61.246 Digitaalinen signaalinkäsittely ja suodatus

Kesätentti, ma 20.6.2005 12-15, päärakennus.
Tilaisuudessa EI saa käyttää matemaattista taulukkokirjaa. **(Graafinen) laskin sallittu, kunhan ylimääräinen muisti tyhjennetty**. Taulukoita erillisellä paperilla. **Esitä selkeät välivaiheet. Aloita** uusi tehtävä **uudelta sivulta.**

1) (6p) Monivalintatehtäviä. Kirjoita vastauspaperiisi vastaava taulukko kuin alla. Vastaa yksi vaihtoehto **A**, **B** tai **C**, joka mielestäsi on oikea tai lähinnä oikeaa vaihtoehtoa. Oikea vastaus +0.5 p, väärä vastaus tai ei vastausta 0 p. Perusteluja ei välttämättä tarvita.

m1	m2	m3	m4	m5	m6	m7	m8	m9	m10	m11	m12

m1) Merkintä $h[n]$ tarkoittaa yleensä [**A**] sisääntulevaa sekvenssiä [**B**] suotimen impulssivastetta [**C**] ulostulevaa sekvenssiä.

m2) Konvoluutio on [**A**] kahden signaalin, olkoon jatkuva-aikaisia tai digitaalisia, kertolasku ajan suhteen [**B**] kahden signaalin yhteenlasku [**C**] perusoperaatio signaalinkäsittelyssä, jolla voidaan saada LTI-järjestelmän ulostulo, kun sisääntulo ja systeemin impulssivaste tunnetaan.

m3) Nyt tutkittava signaali voidaan esittää $x(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 \cdot t + v_1) + A_2 \cos(2\pi f_2 \cdot t + v_2)$. Signaalia suodatetaan LTI-suotimella. Vakioissa: $A_i \neq B_i$, $f_i \neq g_i$, $v_i \neq w_i$. Mikä seuraavista voi olla ulostulosignaali: [**A**] $y(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 \cdot t + v_1) + B_2 \cos(2\pi g_2 \cdot t + w_2)$, [**B**] $y(t) = B_1 \cos(2\pi g_1 \cdot t + w_1) + B_2 \cos(2\pi g_2 \cdot t + w_2)$ [**C**] $y(t) = A_1 \cos(2\pi f_1 \cdot t + w_1) + A_2 \cos(2\pi f_2 \cdot t + w_2)$.

m4) LTI-suodin, jonka impulssivaste on $\{\underline{1}, -1, 1, -1, 1, -1, \ldots\}$ (merkintä $\underline{z}$ tarkoittaa origon kohtaa), on [**A**] stabiili [**B**] FIR-suodin [**C**] takaisinkytketty.

m5) Kausaalisen toisen asteen FIR-suotimen impulssivaste on muotoa [**A**] $h[n] = a\delta[n+1] + b\delta[n] + c\delta[n-1]$, [**B**] $h[n] = a\delta[n] + b\delta[n-1] + c\delta[n-2]$, [**C**] $h[n] = a\delta[n] + b\delta[n-1]$, joissa a, b ja c ovat nollasta poikkeavia vakioita.

m6) Mikä on suotimen $y[n] - 0.5y[n-1] = x[n] + 0.33[n-1] - 0.44x[n-2]$ origon ulkopuolella olevien napojen lukumäärä? [**A**] 1 [**B**] 2 [**C**] 3.

m7) Mitä voit sanoa suotimesta $H(z) = [0.2 - 0.5z^{-1} + z^{-2}]/[1 - 0.5z^{-1} + 0.2z^{-2}]$? [**A**] Suodin on all-pass-suodin [**B**] Suodin on FIR-tyyppinen [**C**] Suotimen vaihevaste on lineaarinen.

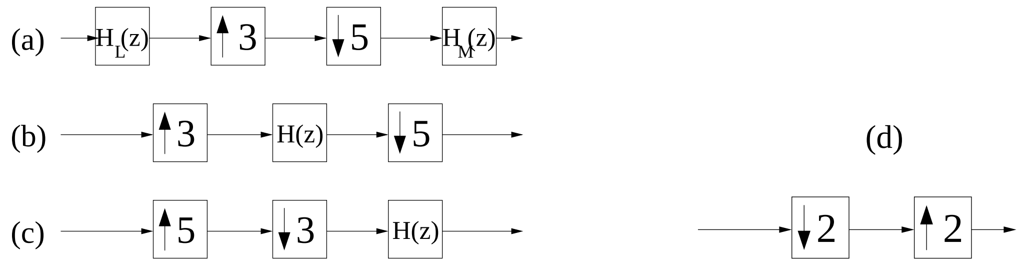
m8) Signaalia $x(t)$ näytteistetään näytteenottotaajuudella f_s, jolloin lukujonon $x[n]$ pituudeksi tulee 80000. Jos näyteväliä T_s tuplataan, niin mikä olisi sekvenssin $x[n]$ pituus? [**A**] 40000 [**B**] 80000 [**C**] 160000.

m9) Gibbsin ilmiönä tunnettu amplitudivasteen värähtely voidaan poistaa [**A**] nostamalla suotimen astelukua [**B**] käyttämällä esimerkiksi Hamming-ikkunaa [**C**] ottamalla taajuusvasteesta itseisarvo.

m10) Minimivaiheisen suotimen [**A**] kaikki navat ovat yksikköympyrän ulkopuolella [**B**] kaikki nollat ovat yksikköympyrän sisällä [**C**] kaikki nollat ovat origossa.

m11) Sekvenssin näytteenottotaajuutta halutaan pudottaa kertoimella (3/5). Kun käytössä on sopivat anti-alias ja anti-imaging suotimet $H_i(z)$, niin mikä järjestely toteuttaa tehtävän? Seuraavan sivun [**A**] kuva 1(a) [**B**] kuva 1(b) [**C**] kuva 1(c).

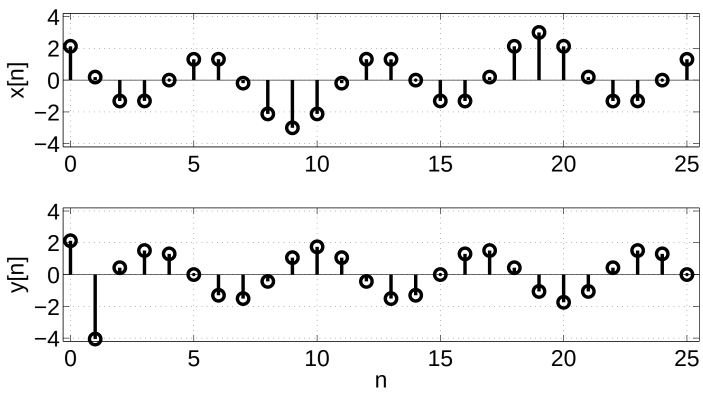
m12) Tehtävän 2 lukujono $x[n]$ syötetään seuraavan sivun kuvan 1(d) mukaiseen multirate-järjestelmään. Tällöin ulostulo $y[n]$ on [**A**] $\{\underline{2.127}, 0, -1.314, 0, \ldots\}$
[**B**] $\{\underline{2.127}, -1.314, 0.000, 1.314, \ldots\}$ [**C**] $\{\underline{2.127}, 0.191, -1.314, -1.309, \ldots\}$.



Kuva 1: Tehtävä 1 :een liittyviä kuvaajia.

2) (6p) Toisen asteen kausaaliseen FIR-suotimeen (muistit tyhjinä) syötetään lukujono $x[n]$ ja sieltä saadaan ulostulo $y[n]$. Sekvenssien alut on piirretty kuvaan 2 ja lukuarvot ovat:

$$\begin{aligned} x[n] &= \{\underline{2.127}, 0.191, -1.314, -1.309, 0.000, 1.309, 1.314, -0.191, -2.127, -3, \ldots\} \\ y[n] &= \{\underline{2.127}, -4.063, 0.431, 1.510, 1.304, 0.000, -1.304, -1.510, -0.431, 1.063, \ldots\} \end{aligned}$$



Kuva 2: Tehtävä 2, syöte $x[n]$ ja vaste $y[n]$.

a) Mikä on suotimen impulssivaste $h[n]$?

b) Piirrä suotimen virtauskaavio.

3) (6p) Suotimen kaksi napaa ovat origossa ja kaksi nollaa ovat kohdassa $z = -1$.

a) Piirrä suotimen napanollakuvio ja arvioi ja hahmottele suotimen amplitudivaste. Onko suodin alipäästö / ylipäästö / kaistanpäästö / kaistanesto / all-pass?

b) Suodin voidaan esittää napojen p_i ja nollien z_i avulla

$$H(z) = K \cdot \frac{(1 - z_1 z^{-1}) \cdot (1 - z_2 z^{-1}) \cdot \ldots \cdot (1 - z_M z^{-1})}{(1 - p_1 z^{-1}) \cdot (1 - p_2 z^{-1}) \cdot \ldots \cdot (1 - p_N z^{-1})}$$

jossa K on skaalauskerroin. Kirjoita kyseisen suotimen siirtofunktio muodossa

$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \ldots + b_M z^{-M}}{a_0 + a_1 z^{-1} + \ldots + a_N z^{-N}}$$

siten, että suotimen amplitudivasteen maksimi on skaalauttu ykköseen. Mikä on suotimen asteluku?

c) Mikä on suotimen laskentaa kuvaava differenssiyhtälö?

4) (6p) **Tee JOKO 4A TAI 4B.**

4A) Suunnitellaan FIR-suodin ikkunamenetelmällä, kun alipäästösuotimen rajataajuus on $f_c = 2000$ Hz ja näytteenottotaajuus $f_T = 10000$ Hz. Ikkunafunktioiden määrittelyjä ja ominaisuuksia varten tutki taulukkoa 1.

a) Piirrä ideaalisuotimen taajuusvaste $H_{ideal}(f)$.

b) Laske kyseisen ideaalisen suotimen impulssivasteen $h_{ideal}[n]$ arvot, kun $n = -2 \ldots 2$.

c) Laske FIR-suotimen kertoimet $h_{FIR}[n]$ ikkunamenetelmällä käyttäen Hamming-ikkunaa $w_H[n]$, jonka pituus on 5 ($M = 2$).

d) Arvioi saadun FIR-suotimen käyttökelpoisuutta, kun estokaistalta vaaditaan kyseinen 54,5 desibelin minimivaimennus.

Window	$w[n]$, $-M \leq n \leq M$	Length of main lobe Δ_{ML}	Relative side lobe A_{sl}	Mininum stopband attenu-ation	Length of transition band $\Delta\omega$
Rectangular	1	4π/(2M+1)	13.3 dB	20.9 dB	0.92π/M
Hann	$0.5 + 0.5\cos(\frac{2\pi n}{2M})$	8π/(2M+1)	31.5 dB	43.9 dB	3.11π/M
Hamming	$0.54 + 0.46\cos(\frac{2\pi n}{2M})$	8π/(2M+1)	42.7 dB	54.5 dB	3.32π/M
Blackman	$0.42 + 0.5\cos(\frac{2\pi n}{2M}) + 0.08\cos(\frac{4\pi n}{2M})$	12π/(2M+1)	58.1 dB	75.3 dB	5.56π/M

Taulukko 1: Ikkunafunktioiden ominaisuuksia.

4B) Essee: Digitaalisten lineaaristen ja aikainvarianttien FIR- ja IIR-suotimet: suodintyyppien samanlaisuudet ja erot, sekä perussuunnittelumenetelmiä.

5) (6p) **Tee JOKO 5A TAI 5B TAI 5C.**

5A) Kuvassa 3 suotimen sisääntuloon tulevien arvojen bittimäärä on B. Kertolaskujen jälkeen määrä on $2B$. Jotta ulostulo saadaan jälleen B:n bitin suuruiseksi, joudutaan arvoa $w[n]$ kvantisoimaan (lohko Q).

Kvantisointivirhettä voidaan kompensoida ns. virheen takaisinkytkennän (error feedback, usein myös error-shaping filter) avulla. Kuvassa 3 on toisen asteen suodin, jossa mukana on toisen asteen virheen takaisinkytkentä.

Kirjoita ensin differenssiyhtälöt $e[n]$:lle ja $w[n]$:lle, ja kirjoita sitten taajuustasossa kvantisoitu ulostulo $Y(z)$ sisääntulon $X(z)$ ja kvantisointikohinan $E(z)$ avulla, ja vastaa

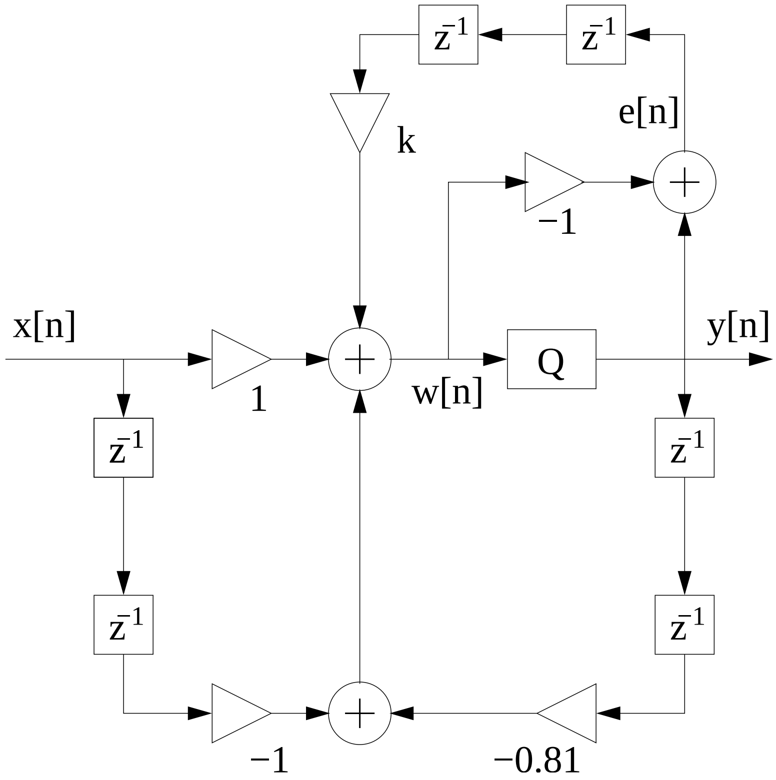
a) kuinka suodin käyttäytyy, kun käytössä äärettömän pitkä sananpituus, ts. kvantisointia ei tapahdu ja $e[n] \equiv 0, \forall n$.

b) kuinka kohinan kokonaisspektri $E_{tot}(z)$ muokkautuu, jos kompensointia ei käytetä, ts. $k = 0$, ja jos $e[n]$ on valkoista kohinaa niin, että $E(z) = 1$ kaikilla taajuuksilla.

c) millä mahdollisimman yksinkertaisella k:n arvolla kohina saadaan siirrettyä varsinaisen suotimen estokaistalle, jossa sen merkitys on vähäisempi.

5B) Essee: Kesäkurssilla analysoitiin ja prosessoitiin ääntä ja erityisesti ihmisääntä eri ympäristöissä (Matlab, Tcl/Snack, TI C6711 DSP-kortti). Mitä tiedät nyt ihmisäänestä ja sen tulkinnasta? Vertaile eri ympäristöjä kokemustesi perusteella.

5C) Essee: FFT-algoritmit, erityisesti “Decimation-in-Time” ja “Decimation-in-Frequency”. Kaavojen johtoa ei tarvita.



Kuva 3: Toisen asteen suodin, jossa toisen asteen virheen takaisinkytkentä.

Hyvää kesää! Harjoitustyön ja portfolion deadline 31.8.2005.