

## Tietotekniikan osasto

### Digitaaliset suodattimet loppuentti 2.11.2012.

**Huom: tentissä sallitaan ns. laillinen luntta (A4-kokoinen, käsin kirjoitettu, molemmat puolet voi käyttää).**

### **Jos tehtävissä tarvitaan IIR-suodattimen impulssivastetta niin kolmen ensimmäisen kertoimen laskeminen riittää.**

1. Eräaseen järjestelmään syötetään analoginen signaali, jonka kiinnostava kaista on välillä  $[0,10]$  kHz. Signaalissa on tämän lisäksi myös erittäin korkeataajuisia komponentteja, jotka eivät ole sovelluksen kannalta tärkeitä. Signaali muutetaan digitaaliseksi käyttäen 5-bitin sananpituutta ja 40 kHz näytteistystaajuutta. Laskostumisenestoon päätetään käyttää Butterworth-alipäästösuodatinta, jonka cut-off-taajuus on 10 kHz. Mikä on alin mahdollinen Butterworth-suodattimen asteluku, jolla laskostumisvirhe kiinnostavalla kaistalla jää alle signaalikvantisointikohinan tason?

2. Digitaalinen signaali, jonka taajuuskaista ulottuu 3.2 kHz:iin ja jonka näytteistystaajuus on 12 kHz, muunnetaan analogiseksi 0-kertaluvun pitoa käyttäen. D/A-muunnoksen jälkeen suoritetaan kuvastumisenestosuodatus Butterworth-suodattimella, jonka cutoff-taajuus on 3,2 kHz. Alin kuvastuva taajuus vaimenee järjestelmän lähdössä 30 dB. Mikä on oltava käytetyn Butterworth-suodattimen asteluku vähintään?

3. Suodattimeen  $h(n) = \{1 \ 2 \ 1\}$  syötetään sekvenssi  $x(n) = \{1, 2, 0, 0, 2, 1, 2, 0, 1, 1, 2, 3, \dots\}$ . Laske ulostuleva sekvenssi käyttäen overlap-add-menetelmää.

4. Suunnittele taajuusnäytteistysmenetelmällä rekursiivinen reaalikertoiminen FIR-suodatin. Suodattimen näytteistystaajuus on 800 Hz. Taajuusnäytteistys tehdään 100 Hz välein. Neljä ensimmäistä taajuusnäytettä ovat  $||H(0)|| = 0$ ,  $||H(1)|| = 1$ ,  $||H(2)|| = 0$ ,  $||H(3)|| = 0$ , ja vastaavat vaiheet asteissa  $[0, 90, 0, 0]$ .

5. Suodatin  $h(n) = \{-0,2491 \ 0.5231 \ -0,2491\}$  kvantisoidaan viiden bitin tarkkuuteen. Kertoimien lukualue on  $[-1, 1]$ . Laske alkuperäisen ja kvantisoidun suodattimen amplitudivasteen arvo taajuudella  $\pi/2$ . Mikä on kvantisoinnista aiheutuva virhe desibeleinä?

6. Signaali on näytteistetty 80 kHz näytteistystaajuudella ja sen spektri ulottuu 20 kHz asti. Näytteistystaajuutta nostetaan tekijällä 8. Näytteistystaajuuden muunnoksessa käytettävät

suodattimet suunnitellaan ikkunamenetelmällä käyttäen Hamming-ikkunaa. Vertaile seuraavia kolmea toteutustapaa. Kuinka pitkiä suodattimia kussakin ratkaisussa tarvitaan?

Mikä ovat kunkin suodattimen päästökaista, estokaista, transitiokaista ja näytteistystaajuus.

- Muunnos yhdessä vaiheessa.

- Muunnos kahdessa vaiheessa, ensin tekijällä 2 ja sitten tekijällä 4.

- Muunnos kahdessa vaiheessa, ensin tekijällä 4 ja sitten tekijällä 2.

SQNR=6.02B +1.76 dB

$$|H(f)| = \frac{1}{\sqrt{1 + \left(\frac{f}{f_c}\right)^{2n}}}$$

Tyyppi	$\Delta f$	$A_p$	$A_s$	Ikkunafunktio
Suorakaide	$0.9/N$	0.7416	21	1
Hanning	$3.1/N$	0.0546	44	$0.5 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Hamming	$3.3/N$	0.0194	53	$0.54 + 0.46 \cos\left(\frac{2\pi n}{N}\right)$
Blackman	$5.5/N$	0.0017	74	$0.42 + 0.5 \cos\left(\frac{2\pi n}{N-1}\right) + 0.08 \cos\left(\frac{4\pi n}{N-1}\right)$
Kaiser	$2.93/N$ ( $\beta=4.54$ ) $4.32/N$ ( $\beta=6.76$ ) $5.71/N$ ( $\beta=8.96$ )	0.0274 0.00275 0.000275	50 70 90	$\frac{I_0(\beta \{1 - [2n/(N-1)]^2\}^{1/2})}{I_0(\beta)}$

LPF  $\rightarrow$  LPF:  $s = s/\omega'_p$   
 LPF  $\rightarrow$  HPF:  $s = \omega'_p/s$   
 LPF  $\rightarrow$  BPF:  $s = (s^2 + \omega_0^2)/(Ws)$   
 LPF  $\rightarrow$  BSF:  $s = Ws/(s^2 + \omega_0^2)$

$$\omega_0^2 = \omega'_1 \omega'_2$$

$$W = \omega'_2 - \omega'_1$$

$$\omega'_p = \tan(\omega_p/(2F_s))$$

$$H(z) = \frac{1 - z^{-N}}{N} \sum_{k=0}^{N-1} \frac{H(k)}{1 - e^{j2\pi k/N} z^{-1}} = H_1(z)H_2(z)$$

$$\text{int} \left[ \text{sign}[h(n)] \cdot \left( \frac{\text{abs}[h(n)]}{q} + 0,5 \right) \right] \cdot q$$