

Gundalf

DIGITAALISET SUODATTIMET 521337A (DIGITAL FILTERS)
Loppuentti/Final exam 11.3.2020 08.15-11.00 @L4

Lallinen lunta sallittu/Legal cheat sheet allowed
(A4 arkki molemmin puolin käsin täytettynä, ei kopio)

A4 sheet filled by hand on both sides, not photocopied)

Ohjelmoitava laskin sallittu/programmable calculator allowed

If you participated the week exams, consider the re-take option! (see three pages forward)
Jos osallistuit viikkokokeisiin, harkitse paikkausta! (katso kolme sivua eteenpäin)

Taulukoita ja kaavoja viimeisillä sivuilla/Tables and formulas on the last pages

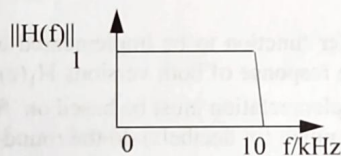
Impulssivasteista riittää laskea kolme ensimmäistä termiä
Calculating three first terms of impulse responses suffices

1. Akustisen emissiosignaalin näytteistystaajuus on digitaalisen esikäsittelyn jälkeen 26kHz kiinnostavan kaistan ulottuessa 10kHz:iin kuvan 1 mukaisesti. Mittaustuloksen kuuntelemiseksi laboratoriossa signaali muunnetaan analogiseksi 0-kertaluokan pitoa käyttäen ja suodatetaan 2. kertaluvun Butterworth -alipäästösuodattimella, jonka 3dB:n cut-off taajuus on $f_c=14\text{kHz}$.

The sampling rate of the acoustic emission signal is 26kHz after digital preprocessing, while the interesting band extends to 10kHz as shown in Figure 1. The signal is converted to analog domain for checking the measurement result in laboratory using 0-order hold and is filtered using a 2nd order Butterworth low-pass filter that has the 3dB cut-off frequency $f_c=14\text{kHz}$.

1a. Piirrä signaalin spektrit A/D-muunnoksen ja suodatuksen jälkeen 52 kHz asti
Sketch the spectra of the signal after A/D-conversion and filtering till 52 kHz.(3p)

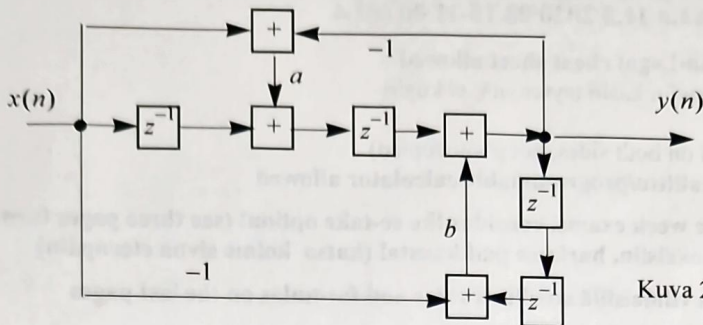
1b. Kuinka monta desibeliä vaimentuu alin kuvastuva taajuus?
How much in decibels is the lowest imaging frequency attenuated? (3p)



Kuva 1/Figure 1

2. Saat toteutettavaksi suodattimen, josta saat sen realisaatiokaavion (kuva 2), jonka pohjalta sinun olisi tehtävä ohjelmallinen toteutus. Sitä varten muodosta sen differenssiyhtälö ja siirto-funktio.

You also get a task to write a software implementation for the filter in Figure 2, but you only get its realization diagram to start with. Determine its difference equation and transfer function. (6p)



Kuva 2/Figure 2

3. Pääset kvantisoimaan triviaalin FIR-alipäästösuodattimen kertoimet 4-bittisiksi. Impulssivasteen termit on alla. Suodattimen näytteistystaajuus on 2kHz, päästökaistan rajataajuus 500Hz. Esitä kvantisoituidut kertoimet. Paljonko (desibeleissä) kvantisointi muuttaa päästökaistan vastetta taajuudella 250Hz ja estokaistalla taajuudella 1000Hz?

You get an opportunity to quantize the coefficients of a simple FIR low-pass filter to 4 bits of precision. The impulse response is below. The sampling frequency of the filter is 2kHz and the cut-off frequency is at 500Hz. Present the quantized coefficients. How much (in decibels) the quantization changes the passband response at 250Hz and at stopband at 1000Hz? (6p)

$$h(n) = [0.313504 \quad 0.50000 \quad 0.313504]$$

4. Kiinteän pisteen aritmetiikalla toteutettavan siirtofunktion kaksi versiota on esitetty alla. Molempien versioiden $H_1(z)$ ja $H_2(z)$ impulssivaste on sama $h(n) = [1 \quad 0.517 \quad -0.968 \dots]$. Toteutuksen on perustuttava kasdadoitujen kanonisten lohkojen (ns. Direct Form II) käyttöön. Paljonko vaihtoehtoisten ratkaisujen pyöristyskohinat eroavat (desibeleinä) suodattimen lähdessä?

Two alternative versions of the transfer function to be implemented using fixed point arithmetics are shown below. The impulse response of both versions $H_1(z)$ and $H_2(z)$ is the same $h(n) = [1 \quad 0.517 \quad -0.968 \dots]$. Your implementation must be based on filter based on cascaded canonic blocks (Direct Form II). How much (in decibels) do the round-off noises of the alternative solutions differ at filter output? (6p)

$$H_1(z) = \frac{1 + \sqrt{2}z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0.6321z^{-1} + 0.6538z^{-2}} \cdot \frac{1 - \sqrt{2}z^{-1} + z^{-2}}{1 + 0.1151z^{-1} + 0.6538z^{-2}}$$

$$H_2(z) = \frac{1 - \sqrt{2}z^{-1} + z^{-2}}{1 - 0.6321z^{-1} + 0.6538z^{-2}} \cdot \frac{1 + \sqrt{2}z^{-1} + z^{-2}}{1 + 0.1151z^{-1} + 0.6538z^{-2}}$$

5. Saat lopuksi tehtäväksesi suunnitella ratkaisun, joka nostaa erään signaalin näytteistystaajuuden 5kHz:tä 30 kHz:iin kahdessa vaiheessa. Sen varsinainen kiinnostava kaista on $[0, 2]$ kHz. Toteutuksen on oltava laskennallisesti mahdollisimman tehokas. Näytteistystaajuuden nostaminen saa lisätä kiinnostavan kaistan rippeliä korkeintaan 0.05 dB ja kuvastumisten on vaimennettava vähintään 52 dB. Kuinka suuren laskentatehon tarvitset? Tarvittavat suodattimet suunnitellaan sopivia ikkunafunktioita käyttäen.

Finally, you are given the task to design a solution that increases the sampling rate of a signal from 5kHz to 30 kHz in two stages. The actual interesting band of the signal is $[0, 2]$ kHz. Computationally the implementation must be as efficient as possible. The increase in sampling rate is allowed to increase the ripple in the interesting band by at most 0.05 dB while the imaging frequencies must be attenuated by at least 52 dB. How much computing power do you need? The necessary filters are designed using suitable window functions. (6p)