

## T-61.3010 Digitaalinen signaalinkäsittely ja suodatus

2. välikoe / tentti, ti 16.5.2006 klo 16-19. Salit A-G.

Jos teet **2. välikokeen**, vastaa tehtäviin **1-3. 2. vk** on oikeus tehdä **vain kerran joko 9.5. tai 16.5.**

Jos teet **tentin**, vastaa tehtäviin **2-5.** Tentti on oikeus tehdä **vain kerran joko 9.5. tai 16.5.**

Kirjoita päällimmäisen konseptin alkuun isolla vastaatko **välikokeeseen vai tenttiin!**

Tilaisuudessa ei saa olla omaa taulukkokirjaa. Graafinen laskin sallittu. Tilaisuudessa jaetaan kurssin taulukkomoniste sekä palautuslomake monivalintatehtävää (joko 1 tai 5) varten.

Kaikki konseptit palautettava, suttupaperit erikseen sekä **monivalintatehtävistä palautetaan erillinen A4-lomake.** Tehtäväpaperin ja taulukkomonisteen voi pitää.

Aloita uusi tehtävä **uudelta sivulta.** Kirjoita laskuissa käytetyt **välivaiheet mukaan.**

Muista myös **kurssipalaute**, josta saa yhden pisteen sekä välikokeeseen että tenttiin. Täytä www-lomake T-osaston palautejärjestelmässä, jonne linkki kurssin kotisivulta <http://www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.3010/>.

- 1) (VAIN VÄLIKOE, 14 x 1p, max 12 p) Monivalinta. Väittämässä on 1-4 oikeaa vastausta, mutta valitse **yksi ja vain yksi.** Täytä **erillisille lomakkeelle**, johon rastita myös, teetkö välikokeen vai tentin.

Oikea valinta +1 p, väärä valinta -0.5 p, ei valintaa 0 p. Perusteluja ei tarvita. Vastaa niin monene kuin haluat. Tehtävän maksimipistemäärä on 12 ja minimimäärä 0.

- 1.1 Kuvan 1(a) suodin

- (A) on kokopäästösuodin ("allpass")  
 (B) on FIR-tyyppinen  
 (C) siirtofunktio on  $H(z) = \frac{0.8+1.2z^{-1}+z^{-2}}{1-1.2z^{-1}-0.8z^{-2}}$   
 (D) on viiveiden suhteen kanoninen rakenne

- 1.2 Nollavaiheinen suodin ("zero-phase"):

- (A) ei ole kausaalinen  
 (B) ei ole stabiili  
 (C) ryhmäviive on sama kuin suotimen asteluku jaettuna kahdella  
 (D) ei viivästä taajuuskomponentteja lainkaan

- 1.3 Kuvassa 2(a) on LTI-järjestelmät  $H_1(z) = 1 + 0.5z^{-1}$  ja  $H_2(z) = 0.5 + z^{-1}$ . Suotimen ulostulo voidaan Matlabissa laskea syötevektorille  $x$  komennolla  $y = \text{filter}(B, 1, x)$ ; jossa

- (A)  $B = [1 \ 0.5 \ 0.5 \ 1]$   
 (B)  $B = [1.5 \ 1.5]$   
 (C)  $B = [1 \ 1.5 \ 0.5]$   
 (D)  $B = \text{conv}([1 \ 0.5], [0.5 \ 1])$

- 1.4 Tarkastellaan kuvan 2(b) lohkokaaviositystä ("block diagram"), jossa kolme alijärjestelmää  $S(z)$ ,  $R(z)$  ja  $T(z)$ . Suotimen siirtofunktio on

- (A)  $H(z) = \frac{R(z)T(z)}{1-R(z)S(z)}$   
 (B)  $H(z) = \frac{T(z)R(z)}{1-S(z)}$   
 (C)  $H(z) = \frac{T(z)}{1+R(z)S(z)}$   
 (D)  $H(z) = \frac{T(z)R(z)+S(z)R(z)}{S(z)}$

- 1.5 Tarkastellaan kuvan 1(b) lohkokaaviositystä ("block diagram"), jossa kertoimet  $a_1$ ,  $a_2$ ,  $k_1$  ja  $k_2$ .

- (A) Suodinta ei voida fysikaalisesti toteuttaa  
 (B) Suodin voidaan esittää takaisinkytkettyinä suora muoto I -rakenteena ("direct form I")  
 (C) Suodin on FIR-tyyppinen  
 (D) Lukujonoksi  $y[n]$  saadaan  $y[n] = (a_2 - k_2 a_1)x[n-1] + a_1 x[n-2]$

- 1.6 Matlabissa komennolla `ellip` lasketaan elliptisen suotimen kertoimet. Miten saat tietoa lisää komennon käytöstä Matlabissa?

- (A) `more ellip`  
 (B) `man ellip`  
 (C) `help ellip`  
 (D) `info ellip`

- 1.7 Matlabissa on laskettu muuttujat  $A$ ,  $B$ ,  $fT$  "oikealla tavalla". Jos haluat nähdä suotimen vaihevasteen kuvaajan, kirjoitat

- (A) `tf2sos(A, B, fT)`  
 (B) `freqz(B, A, 1024, fT)`  
 (C) `[phase] = zplane(A, B)`  
 (D) `impz(B, A, [], fT)`

- 1.8 Matlabissa halutaan suunnitella digitaalinen elliptinen alipäästösuodin, jonka päästökaista loppuu kohdassa 3000 Hz ja estokaista alkaa kohdassa 4000 Hz. Näytteenottotaajuus on 20000 Hz. Kommentoita `ellipord` varten taaajuudet pitää normalisoida Matlabia varten. Oikea komento on:

- (A) `[N, Wn] = ellipord(0.15, 0.2, 1, 40)`;  
 (B) `[N, Wn] = ellipord(3000, 4000, 20000)`;  
 (C) `[N, Wn] = ellipord(0.3, 0.4, 1, 40)`;  
 (D) `[N, Wn] = ellipord(2*3000*pi, 2*4000*pi, 1, 40, 'low')`;

- 1.9 Hamming-ikkunafunktion  $w[n]$  arvo kohdassa  $n = 5$ , kun ikkunan pituus on 11, on

- (A)  $w[5] = 0.08$   
 (B)  $w[5] = 0.54$   
 (C)  $w[5] = 5/11$   
 (D)  $w[5] = \omega_c/\pi$ , jossa  $\omega_c$  ideaalisuotimen rajataajuus

- 1.10 "Decimation in time" (DIT) algoritmi

- (A) laskee DFT:n sen määritelmän mukaisesti  
 (B) käyttää tehokkaasti muistia ("in-place computation")

- (C) käyttää bittikänteistä järjestystä ("bit-reversed ordering")

- (D) toteutetaan monen näytteenottotaajuuden systeeminä ja desimaatio-suotimen avulla

- 1.11 Äärellisen sananpituuden ("finite wordlength") aiheuttamat efektit voivat olla seurausta

- (A) suotimen kertoimien kvantisoinnista  
 (B) kertolaskutulosten pyöristyksestä  
 (C) kertolaskutulosten katkaisusta  
 (D) analogiasyötteen kvantisoinnista

- 1.12 Toisen asteen IIR-suotimen navat on asetettu kohtiin  $p = 0.99995 \cdot e^{\pm j0.25\pi}$ , jotta saataisiin mahdollisimman kapea päästökaista kohtaan  $\omega = 0.25\pi$ , katso kuvaa 2(c), joka piirretty Matlabilla.

- (A) Ongelmia ei tulisi, jos käytössä olisi äärettömän suuri laskentatarkkuus  
 (B) Käytännössä suotimesta tulee helposti epästabili  
 (C) Impulssivaste vaimenee kohti nollaa hyvin hitaasti  
 (D) Napojen sijainti pysyy samana vaikka

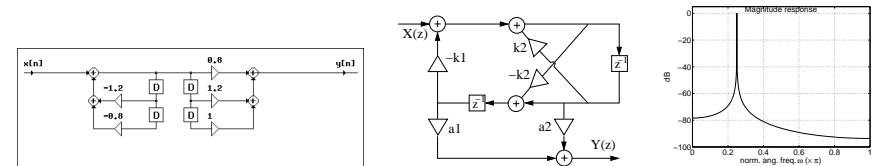
magnitudivaste muuttuisikin äärellisellä laskentatarkkuudella

- 1.13 Jaksollinen lukujono ( $N_0 = 6$ )  $x[n] = \{\dots, 3, 8, 4, 2, 9, -1, \dots\}$  laitetaan digitaalijärjestelmään  $x[n] \rightarrow \lfloor \downarrow 2 \rfloor \rightarrow \lceil \uparrow 2 \rceil \rightarrow y[n]$ . Mitä tulee ulos?

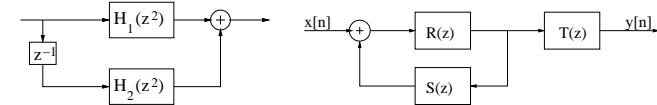
- (A) sama jono  $y[n] = x[n]$   
 (B) puolta lyhyempi jono  $y[n]$   
 (C)  $y[n] = \{\dots, 3, 0, 4, 0, 9, 0, \dots\}$   
 (D)  $y[n] = 2x[n]$

- 1.14 Digitaalisen sekvenssin näytteenottotaajuutta halutaan lisätä  $(4/3)$ -osaan alkuperäisestä. Kun käytössä on sopivat "anti-alias" ja "anti-imaging" suotimet  $H_i(z)$ , niin mikä järjestely tuottaa oikean lopputuloksen?

- (A)  $x[n] \rightarrow \lceil \uparrow 4 \rceil \rightarrow H(z) \rightarrow \lfloor \downarrow 3 \rfloor \rightarrow y[n]$   
 (B)  $x[n] \rightarrow \lceil \uparrow 3 \rceil \rightarrow H(z) \rightarrow \lfloor \downarrow 4 \rfloor \rightarrow y[n]$   
 (C)  $x[n] \rightarrow \lfloor \downarrow 4 \rfloor \rightarrow H(z) \rightarrow \lceil \uparrow 3 \rceil \rightarrow y[n]$   
 (D)  $x[n] \rightarrow \lfloor \downarrow 3 \rfloor \rightarrow H(z) \rightarrow \lceil \uparrow 4 \rceil \rightarrow y[n]$



Kuva 1: (a), (b) ja (c): Monivalintatehtävien 1.1, 1.5 ja 1.12 kuvia.



Kuva 2: (a) ja (b): Monivalintatehtävien 1.3 ja 1.4 kuvia.

- 2) (VÄLIKOE ja TENTTI, 6 p) Suunnittele digitaalinen IIR-suodin lähtien liikkeelle analogisesta ensimmäisen asteen Butterworth-tyyppisestä ylipäästösuotimesta

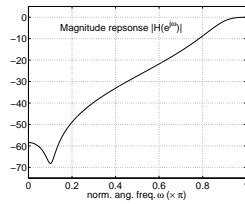
$$H_{HP}(s) = \frac{s}{s + \Omega_c}$$

ja käyttämällä bilineaarimuunnosta taaajuuden esikorjaamisen kera ("prewarping").

Digitaalinen suodin tulee olla ylipäästösuodin, jonka rajataajuus on  $f_c = 6000$  Hz, kun näytteenottotaajuus on  $f_T = 16000$  Hz. Kirjoita saadun suotimen  $H(z)$  siirtofunktio siten, että maksimivahvistus on skaalattu ykköseen. Piirrä suotimen napanollakuvio.

- 3) (VÄLIKOE ja TENTTI, 6 p) Tutkitaan suodinta  $H(z)$ , jonka magnitudivaste on piirretty kuvaajaan 3 ja jonka navat ovat  $p = -0.7 \pm 0.2j$  ja nollat  $z = 0.9 \pm 0.3j$ .

- a) Kirjoita siirtofunktio  $H(z)$  napojen ja nollien avulla. Voit jättää skaalauskerroimen  $K$  määrittämättä.  
 b) Piirrä suotimen lohkokaaaviositys.  
 c) Korvaa kaikki viiverekisterit kolminkertaisella viiveellä (jokainen  $z^{-1}$  korvataan  $z^{-3}$ :llä eli impulssivasteelle  $h[n] \rightarrow \lceil \uparrow 3 \rceil \rightarrow h_{L=3}[n]$ ). Hahmottele uuden suotimen  $H(z^3)$  magnitudivaste välillä  $0 \dots \pi$ .



Kuva 3: Suotimen magnitudivaste tehtävässä 3 välillä  $0 \dots \pi$ .

- 4) (VAIN TENTTI, 6 p) Erääseen lineaariseen, siirtoinvarianttiin, stabiiliin ja kausaaliseen diskreettiin järjestelmään syötettiin neljä merkkiä pitkä  $x[n]$ , ja ulostulona saatiin äärellisen pitkä signaali  $y[n]$  seuraavasti:

$n$	-1	0	1	2	3	4	5	6
$x[n]$	0	1	0	-2	1	0	0	0
$y[n]$	0	0	?	?	?	5	-1	0

- a) Määritä  $x[n]$ :n ja  $y[n]$ :n avulla järjestelmän impulssivaste  $h[n]$ , kun tiedetään, että järjestelmän alkuarvot ovat nollia ja että se on muotoa  $(a, b, c, d$  ja  $e$  vakioita):

$$h[n] = \begin{cases} a, & \text{kun } n < 0 \\ b, & \text{kun } n = 0 \\ c, & \text{kun } n = 1 \\ d, & \text{kun } n = 2 \\ e, & \text{kun } n > 2 \end{cases}$$

- b) Laske taulukosta puuttuvat  $y[n]$ :n arvot.

- 5) (VAIN TENTTI, 14 x 1p, max 12 p) Monivalinta. Väittämässä on 1-4 oikeaa vastausta, mutta valitse **yksi ja vain yksi**. Täytä erillisille lomakkeelle, johon myös rasti kohtaan teetkö välikokeen vai tentin.

Oikea valinta +1 p, väärä valinta -0.5 p, ei valintaa 0 p. Perusteluja ei tarvita. Vastaa niin moneen kuin haluat. Tehtävän maksimipistemäärä on 12 ja minimimäärä 0.

- 5.1 Puhesignaalin analysoinnissa voidaan käyttää hyväksi spektrogrammia.

- (A) Spektrogrammin x-akselilla on taajuus ja y-akselilla aika  
 (B) Spektrogrammi visualisoi signaalin aaltomuodon ajan funktiona  
 (C) Spektrogrammikuvaaajan voi luoda itse Matlabissa laskemalla Fourier-muunnosta lyhyissä aikaikkunoissa ("Short-Time Fourier Transform", STFT) ja piirtämällä kukin ikkunan spektri ajan funktiona  
 (D) Spektrogrammin värillä (tai harmaasävyyllä) voidaan esittää signaalissa olevien nollien määrä

- 5.2 Sekvenssin  $x[n] = \cos(0.5\pi n + \pi/21) + 2 \sin(0.5\pi n)$  perusjako  $N_0$ :

- (A)  $N_0 = 2$   
 (B)  $N_0 = 4$   
 (C)  $N_0 = 8$   
 (D)  $N_0 = 42$

- 5.3 Sekvenssi  $x[n] = \sin(0.5n + \pi/4)$

- (A) ei ole jaksollinen  
 (B) perusjako  $N_0 = 4$   
 (C) perusjako  $N_0 = 8$   
 (D) perusjako  $N_0 = 4\pi$

- 5.4 LTI-suodin, jonka impulssivaste on  $h[n] = K \cdot (-1)^{n+2} \mu[n-2]$ , jossa  $K$  on vakio,  
 (A) on kausaalinen

- (B) ei ole kausaalinen  $K < 0$   
 (C) on stabiili, jos  $0 < K < \infty$   
 (D) ei ole stabiili

- 5.5 Diskreettiaikainen suodin, jonka sisään- ja ulostuloa kuvaava yhteys on  $y[n] = (n+2) \cdot x[n]$

- (A) on kausaalinen  
 (B) on lineaarinen  
 (C) on aikainvariantti  
 (D) on toteutettavissa LTI-järjestelmän lohkoilla (summaus, viivästys, vakiolla kertominen)

- 5.6 Jotta signaali ei vierastu (aliasing) näytteistykseessä, näytteenottovälin  $T_s$  tulee olla

- (A) vähintään kymmenen kertaa niin suuri kuin signaalin korkeimman taajuuden perusjakson  $T_0$   
 (B) vähintään kaksi kertaa niin pitkä kuin signaalin korkeimman taajuuden perusjakson  $T_0$   
 (C) enintään puolet signaalin korkeimman taajuuden perusjakson  $T_0$   
 (D) sama kuin sen signaali- ja komponentin perusjako  $T_0$ , jolla on pisin perusjako

- 5.7 Lukujonon  $x[n] = 0.3^{n-3} \mu[n-3]$  diskreettiaikainen Fourier-muunnos  $X(e^{j\omega})$  on

- (A)  $e^{j3\omega} (1/(1+0.3e^{-j\omega}))$   
 (B)  $e^{j3\omega} (1/(1+0.3e^{j\omega}))$   
 (C)  $e^{-j3\omega} (1/(1-0.3e^{-j\omega}))$   
 (D)  $e^{-j3\omega} (1/(1-0.3e^{j\omega}))$

- 5.8 LTI-suotimen  $H(z)$  napanollakuvia kuvassa 4(a) vastaa parhaiten magnitudivastetta

- (A) kuvassa 5(a)  
 (B) kuvassa 5(b)  
 (C) kuvassa 5(c)  
 (D) kuvassa 5(d)

- 5.9 LTI-suotimen  $H(z)$  magnitudivaste kuvassa 4(b) vastaa parhaiten napanollakuvia

- (A) kuvassa 6(a)  
 (B) kuvassa 6(b)  
 (C) kuvassa 6(c)  
 (D) kuvassa 6(d)

- 5.10 Suotimen taajuusvaste on  $H(e^{j\omega}) = 1 + 0.1e^{-8j\omega}$

- (A) Impulssivaste on 8 merkkiä pitkä  
 (B) Vaiheaste on lineaarinen  
 (C) Suodin on alipäästösuodin vaikka magnitudivasteen käyrä ei vähene monotonisesti  
 (D) Suotimen nollat ovat tasavälisesti samalla ympyrän kaarella

- 5.11 Tutkitaan siirtofunktiota  $H(z) = (1 + 0.5z^{-1})/(1 - 1.7z^{-1} + 0.72z^{-2})$ .

- (A) Suppenemisalueessa (ROC)  $|z| < 0.8$  suodin on stabiili ja kausaalinen  
 (B) Suotimen asteluku on 3  
 (C) Suotimen kaikki navat ovat yksikköympyrän sisällä  
 (D) Suodin on ylipäästösuodin

- 5.12 Signaalin kvantisointi  $x[n] \rightarrow \boxed{Q} \rightarrow Q\{x[n]\}$ .

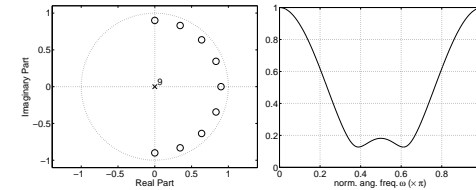
- (A) Kvantisointivirhe  $e[n]$  kasvaa, kun käytetään enemmän bittejä luvun esittämiseen  
 (B) Kvantisoinnissa voidaan käyttää esimerkiksi bittijonon pyöritystä tai katkaisua  
 (C) Kvantisoinnissa bittijonon pituus kasvaa kaksinkertaiseksi  
 (D) Ei aiheuta muutoksia signaalin spektriin

- 5.13 Suotimen, jonka magnitudivasteessa kuvassa 1(c) on piikki kohdassa  $\omega = 0.25\pi$ , näytteenottotaajuus  $f_T$  puolitetaan eli  $h[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 2} \rightarrow h_{M=2}[n]$

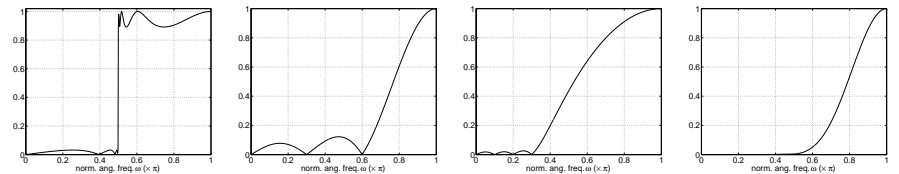
- (A) Jos alkuperäinen  $f_T = 2$  kHz, niin piikki siirtyy taajuudelle  $f = 0.5$  kHz  
 (B) Jos alkuperäinen  $f_T = 2$  kHz, niin piikki siirtyy taajuudelle  $f = 0.125$  kHz  
 (C) Piikki siirtyy kulmataajuudelle  $\omega = 0.5\pi$   
 (D) Piikki siirtyy kulmataajuudelle  $\omega = 0.125\pi$

- 5.14 Digitaalisen sekvenssin näytteenottotaajuutta halutaan lisätä  $(4/3)$ -osaan alkuperäisestä. Kun käytössä on sopivat "anti-alias" ja "anti-imaging" suotimet  $H_i(z)$ , niin mikä järjestely tuottaa oikean lopputuloksen?

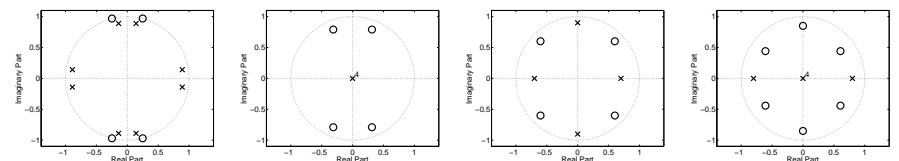
- (A)  $x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 4} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 3} \rightarrow y[n]$   
 (B)  $x[n] \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\downarrow 4} \rightarrow y[n]$   
 (C)  $x[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 4} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\uparrow 3} \rightarrow y[n]$   
 (D)  $x[n] \rightarrow \boxed{\downarrow 3} \rightarrow \boxed{H(z)} \rightarrow \boxed{\uparrow 4} \rightarrow y[n]$



Kuva 4: (a) ja (b): Monivalintatehtävien 5.8 ja 5.9 kuvia.



Kuva 5: (a), (b), (c) ja (d): Monivalintatehtävien 5.8 kuvia.



Kuva 6: (a), (b), (c) ja (d): Monivalintatehtävien 5.9 kuvia.