

T-61.246 Digitaalinen signaalinkäsittely ja suodatus

Versio 5.01 (29.9.2003)

T-61.246 Harjoitustyö 29.9.2003-15.1.2004.

Lue nämä ohjeet huolellisesti läpi. Kysymyksiä ja kommentteja voi lähettää osoitteeseen t61246@cis.hut.fi!

Harjoitustyön voi tehdä 1-3 hengen ryhmässä. Jokaisen ryhmän jäsenen tulee hallita kaikki tehtävät. Luvussa 1 on pieni lisätehtävä 2-3 hengen ryhmille.

Harjoitustyön voi jakaa kahteen osioon. Ensimmäisessä osiossa (työn dokumentin luvut 1-2) on äänisignaalin käsittely aika- ja taaajuustasossa sekä LTI-suotimen analysointia. Toisessa osiossa (luvut 3-6) on LTI-suotimen suunnittelua sekä soveltava tehtävä ja palaute.

Palautustapa **A: Yhdessä osassa**. Harjoitustyö tulee palauttaa 15.1.2004 kello 16.00 mennessä.

Palautustapa **B: Kahdessa osassa**. Ensimmäisen osion (luvut 1-2) palautus 1. välikokeeseen mennessä. Palautuksesta saa 3 bonus pistettä. Toinen osio (luvut 3-6) tulee palauttaa 15.1.2004 kello 16.00 mennessä ja se tulee tehdä samassa ryhmässä. Harjoitustyön osia ei voi yhdistellä 15.1.2004 jälkeen vaan tämän jälkeen pitää tehdä koko työ uudestaan.

Jos työn tekee muuna ajankohtana tai jos on suorittanut kurssin osittain edellisenä lukukautena eli 2002-2003, tulee tehdä myös sakkotehtävät.

Palautus tulee suorittaa joko **sähköisenä** osoitteeseen <http://coursemanager.innofactor.com> → T-61.246 tai **paperisena** Tietotekniikkatalon kolmannessa kerroksessa olevaan Informaatiotekniikan palautuslaatikkoon tai (sisä)postitse osoitteella *Informaatiotekniikan laboratorio, T-61.246 Harjoitustyö, PL 5400, 02015 TKK*.

Hyväksytty harjoitustyö kelpaa tutkintosäännön mukaisesti kurssin **osasuorituksena yhden vuoden ajan** eli tammikuun 2005 tenttiin (t) asti (vk/s03, t 12/03, t 01/04, t 05/04, t 09/04, t 12/04, t 1/05). Tämän lukuvuoden hyväksytty harjoitustyö **ei kelpaa** sellaisenaan lukuvuoden 2004-2005 välikokeen kanssa.

Voit vastata suomeksi / Du kan svara på svenska / You can write in English. Käytä samaa kieltä läpi koko dokumentin.

Palautettavan dokumentin ensimmäinen sivu tulee olla päällyslehti, josta käy ilmi ryhmän jäsenien nimet, opiskelijanumero, sähköposti, koulutusohjelma, ja jonka vasemmassa yläreunassa tulee olla suurella lueteltuna opiskelijanumerot. Paperipalautusta varten päällyslehti on saatavilla erikseen www.sivulta.

Dokumentin tulee olla siististi kirjoitettu. Matlab-kuvissa tulee olla tarvittavat otsikot, esimerkiksi onko x-akselilla indeksinumeroita vai sekunteja. Matlab-kuvien tiedostot tulee olla upotettuina dokumenttiin. Täten dokumentin laatimiseen tulee käyttää joko Microsoft Wordiä, L^AT_EX-ohjelmaa, OpenOfficea tai jotain vastaavaa. Sähköinen palautusformaatti **doc, rtf, pdf, PostScript**.

Työn Matlab-koodi. Esitettyihin tuloksiin johtanut koodi pitää palauttaa dokumentin lopussa (upotettuna) kokonaisina tiedostoina. Talleta kussakin tehtäväosiossa/tehtävässä/funktiossa käytetty koodi omaan tiedostoon, joita voi ajaa Matlabissa tiedostonimeä käyttäen. Esim. tiedosto `osio1.m` ajetaan komennolla `osio1`. Näin nopeutat pienten muutosten tekemistä ja helpotat assistentteja mahdollisten virheiden selvittämisessä. Suojaa tiedostosi muilta - kopiointi on luonnollisesti kiellettyä. Mahdollisesta yhteistyöstä on ilmoitettava selkeästi.

Työn arvostelu. Työ arvostellaan joko "hyväksytty" tai "korjattava". Bumerangi tulee korjata kahden viikon kuluessa ilmoituksesta.

Työn suorittamiseen tarvittavat tietokoneressurssit: Matlab 6.0 ja Signal Processing Toolbox 5.0 (Release 12) tai uudemmat, äänikortti, **mikrofoni** (osio 1), kuulokkeet/kaiuttimet.

Lisätietoja tehtävissä tarvittavasta datasta, muu materiaali, Matlab-tiedostoja ja mahdolliset korjaukset (sekä **lisäohjeistus**) löytyvät osoitteesta <http://www.cis.hut.fi/Opinnot/T-61.246/Harjoitustyot/>

Ohjausta harjoitustyön tekemiseen järjestetään kootusti syksyn aikana ja tammikuussa. Ilmoittautuminen vastaanotoille WWWTopin kautta.

Osio 1 :een kuuluvat luvut 1-2. Ryhmän tulee palauttaa nämä 1. välikokeeseen mennessä, jos haluaa 3 bonuspistettä. Osio 2 :een kuuluvat luvut 3-5. Palautteen voi myös alkuosassa mutta jälkimmäisessä se on pakollinen.

1 Signaalit aikatasossa - Osio 1

Q1.1 Äänitä **piiitkä** vokaaliäänne (/a/e/i/o/u/y/ä/ö/, “banaani”, jne) tiedostoon (esim. WAV, 22050 Hz, 8 bittiä, Mono). Lue tiedosto Matlabiin vektoriin `y`.

HUOM! Jos ryhmän koko on suurempi kuin yksi, niin äänitä myös /s/ ja tee sille myös kohdat Q1.2 ja Q1.3 (“ässän pistän taskuun”, jne).

Q1.2 Etsi `y`:stä 50 millisekuntia pitkä, mahdollisimman vakaa kohta ja talleta se vektoriin `y2`. Piirrä siitä kuva, jossa x-akselilla on sekunnit, otsikossa tiedoston nimi ja valittu äänne. Vokaaliäänteen osalta signaalin tulisi olla lähes jaksollinen (kvasijaksollinen). Mikä on sen perusjakson pituus? Osoita se kuvasta. Tallenna `y2` WAV-muotoiseksi, jätä tiedosto tarkistavan assistentin luettavaksi jollekin `www`-sivulle ja kirjoita sivun osoite dokumenttiin.

Q1.3 FFT-muunna kohdan Q1.2 `y2`. Piirrä spektri, jossa x-akselilla taajuus hertzeinä. Valitse dokumenttiin liitettävään kuvaan spektrin alue 0..2500 Hz (`axis`). Mikä on näytteen perustaajuus? Osoita se kuvasta. Tarkista, että vastaava perusjakso löytyy tehtävän Q1.2 kuvasta!

Q1.4 Poimi taajuustason esityksestä viiden edustavan harmonisen komponentin arvot f_k , A_k ja θ_k (`abs(y2F(ind))`, `angle(y2F(ind))`). Taulukkoon merkitseminen vastaa nyt tiedoston pakkaamista. Tämän jälkeen generoi signaali takaisin kuultavaan muotoon käyttämällä vain taulukkoon 1 talletettuja arvoja.

$$y_{gen}(t) = \sum_{k=1}^5 A_k \cos(2\pi f_k t + \theta_k)$$

Saitko palautettua samanlaisen signaalin? Kuulostaako se samalta alkuperäiseen verrattuna? Millainen ääni palautuu/pakkaantuu helpointen?

k	#indeksi	taajuus f_k	amplitudi A_k	vaihe θ_k
1				
2				
3				
4				
5				

Taulukko 1: Tallettavat arvot kohdassa Q1.4

2 Suotimen analyysi - Osio 1

Q2.1 Lataa suotimen kertoimet kurssin `www`-sivulta Matlabiin. Piirrä suotimen amplitudivaste $|H(e^{j\omega})|$, vaihevaste $\angle H(e^{j\omega})$, napa-nollakuvio ja impulssivaste $h[n]$.

Q2.2 Mikä on suotimen asteluku? Onko suodin stabiili?

3 IIR Suodinsuunnittelu - Osio 2

Suodinsuunnittelu tulee toteuttaa Matlabin komentorivin käskyillä, ei graafisilla käyttöliittymillä SPTool tai FDATool.

Paras apu löytyy aina kirjoittamalla `help` funktionimi. IIR-suunnitteluun apua löytyy Matlab-kierroksista R9 ja R10. Muista erityisesti taajuuksien skaalaaminen välille $0 \dots 1$ (R9/Table 1, R10/Figure 1) ja speksien piirtäminen (R9/Figure 1).

Muista myös yleiset ohjeet: Tallenna Matlab-koodi sopiviin tehtäväkohtaisiin ajokelpoisiin tiedostoihin. Dokumenttiin (Word/PDF/PostScript) kuvat upotettuina, ajokelpoiset Matlab-tiedostot loppuun myös upotettuina (Word: File-Insert, LaTeX input).

Q3.1 Suunnittele Chebyshev II -tyyppinen digitaalinen **kaistanestosuodin** (bandstop), jossa päästökaista loppuu 4000 Hz:ssä, estokaista on 800 Hz ja molemmat transitiokaistat 600 Hz. Päästökaistan maksimivaimennus saa olla 1 dB ja estokaistalla minimivaimennus tulee olla 50 dB. Näytteenottotaajuus on 20000 Hz.

Piirrä ensin kuvaaja (Word, XFig, gimp, vastaava), johon merkitset ylläolevat vaatimusmäärittelyt. Upota tämä kuva palautettavaan dokumenttiin. Merkitse, mitkä arvot vastaavat Matlabin komennon `cheb2ord` argumentteja. Toteuta suodin vasta tämän jälkeen (`cheby2`).

Vastaa dokumentissa, mikä on toteutuneen suotimen asteluku ja mikä on sen siirtofunktio $H(z)$? Tarkista suotimen asteluku esimerkiksi siirtofunktiosta tai napojen ja nollien lukumäärästä (`help cheby2`). Liitä myös kuvat napa-nollakuvioista ja suotimen amplitudivasteesta (`filt`, `zplane`, `freqz`).

Q3.2 Hae kurssin harjoitustyön www-sivulta tähän tehtävään liittyvä äänitiedosto `Q32_X.wav`, jossa X on ryhmän ensimmäisen opiskelijan opiskelijanumeron viimeinen numero. Lue Matlabiin. Siinä on kaksi ääninäytettä **eri taajuuskanavilla**. Tehtäväsi on erottaa ne kahteen eri tiedostoon; kohdassa Q3.2 matalataajuinen ja Q3.3 korkeataajuinen kaista.

Tee ensin alipäästösuodin. Sinun tulee analysoida signaalia, jotta tietäisit mihin kohtaan rajataajuudet tulevat. Ainoa määrätty asia on, että transitiokaistan tulee olla 500 Hz. Valitse estokaistan minimivaimennukseksi yksi seuraavista: (a) 43.9 dB, (b) 54.5 dB, (c) 73.3 dB. Käytä samaa minimivaimennusta myös tehtävässä Q4.1 FIR-suotimelle eli

valitse tuolloin vastaava ikkunafunktio: (a) Hann, (b) Hamming, (c) Blackman. Aseta muut tarvittavat speksit "järkeviksi". Käytä digitaalista elliptistä IIR-suodinta.

Piirrä ensin kuvaaja, johon merkitset ylläolevat spesifikaatiot. Upota piirros palautettavaan dokumenttiin. Perustele valintasi rajataajuudeksi. Merkitse, mitkä arvot vastaavat Matlabin komennon `ellipord` argumentteja.

Toteuta **alipäästösuodin** (`ellip`). Kirjaa ylös suotimen asteluku. Tarkista, onko vaihevaste lineaarinen vai ei. Tulosta suotimen amplitudivaste.

Käytä saatua suodinta äänitiedostoon (`help filter`). "Metallisen" äänen tulee olla poistunut ulostulossa ja toisaalta "hyötysignaalin" tulee olla mahdollisimman kirkas. Tulosta signaalin spektri ennen ja jälkeen suodatuksen. Kommentoi kuulemaasi äänen laatua.

Q3.3 Toteuta tehtävän Q3.2 spekseillä vastaava **ylipäästösuodin** ja suodata alkuperäinen signaali uudestaan. Kuulet tällöin "metallista kihinää" ja spektristä havaitset energian olevan korkeilla taajuuksilla. Pyri eräällä yksinkertaisella signaalinkäsittelyoperaatiolla siirtämään spektri matalille taajuuksille ja ottamaan selvää, mitä korkeammalla taajuuskaisalla oleva ääninäyte sisältää.

4 FIR Suodinsuunnittelu - Osio 2

Suodinsuunnittelu tulee toteuttaa Matlabin komentorivin käskyillä, ei graafisilla käyttöliittymillä SPTool tai FDATool.

Paras apu löytyy aina kirjoittamalla `help` funktionimi. R9-kierroksella ei ollut FIR-suunnittelusta suoria esimerkkejä. Tehtävässä **T37** (Selected Problems 2003) esitetään FIR-suunnittelu ikkunamenetelmässä. Tehtävässä Q4.1 voi käyttää esimerkiksi helppoa `help fir1` -komentoa ja Q4.2:ssa komentoja `help remezord` | `remez`.

Q4.1 Tarkoituksena on nyt toteuttaa samat vaatimukset toteuttava suodin kuin tehtävässä Q3.2. Tällä kertaa suodin on FIR, kun se Q3.2:ssa oli IIR. Mieti etukäteen, mitä eroja IIR- ja FIR-suotimilla on!

Toteuta lineaarivaiheinen **alipäästösuodin** (`fir1`) käyttäen mahdollisimman paljon tehtävän Q3.2 vaatimuksia. Valitse ikkunafunktioksi joko Hann, Hamming tai Blackman sen mukaan, mikä oli IIR-suotimesi estokaistan minimivaimennus.

FIR-suotimen asteluvun voi arvioida hyväksi käyttäen alla olevaa taulukkoa (käsin lasku). Esimerkki: Käytetään suorakaideikkunaa ja olkoon "siirtymäkaista" (transition band) on $\Delta\omega = |\omega_p - \omega_s| = 0.1\pi$. Tällöin $M = 0.92\pi/0.1\pi \approx 9$ ja asteluku $N = 2M = 18$. Rajataajuus (-6 dB) on määritelty tässä $\omega_c = (\omega_p + \omega_s)/2$. Lue tarkemmin luvusta 7.3.2 Mitrassa.

Window	Matlab	Length of main lobe Δ_{ML}	Relative side lobe A_{sl}	Minimum stopband attenuation	Length of transition band $\Delta\omega$
Rectangular	<code>boxcar</code>	$4\pi/(2M+1)$	13.3 dB	20.9 dB	$0.92\pi/M$
Hann	<code>hann</code>	$8\pi/(2M+1)$	31.5 dB	43.9 dB	$3.11\pi/M$
Hamming	<code>hamming</code>	$8\pi/(2M+1)$	42.7 dB	54.5 dB	$3.32\pi/M$
Blackman	<code>blackman</code>	$12\pi/(2M+1)$	58.1 dB	75.3 dB	$5.56\pi/M$

Taulukko 2: Ikkunafunktioiden ominaisuuksia. Mitra, Taulukko 7.2.

Kirjaa ylös suotimen asteluku. Toteuta suodin (`fir1`). Tarkista, onko suodin lineaarivaiheinen vai ei. Tarkista, että määritellyt toteutuvat (päästökaistan rippelin osalta suurin piirtein). Jos ei, määrää uusi asteluku tai rajataajuus (huomaa rajataajuuden määritelmä tässä tapauksessa!).

Tulosta dokumenttiin suotimen amplitudivaste ja ulostulevan signaalin spektri. Vertaa tehtävien Q3.2 ja Q4.1 IIR- ja FIR-suotimia, joiden vaatimusmäärittelyt ovat (pitkälti) samoja. Mitä eroja löydät?

Tarkastele myös alkuperäisen ja suodattuneen signaalin arvoja ensimmäisillä ajan hetkillä ja selitä käytös.

Q4.2 Lue tehtävään liittyvä äänitiedosto `remez.wav` Matlabiin. Kuulet varsinaista äänien sekamelskaa. Analysoi signaalia esimerkiksi spektrogrammin avulla (`help specgram`). Suunnittele yksinkertainen neljän kaistan ekvalisaattori, jossa f_1 , f_2 , f_3 ovat kaistojen välillä olevat rajataajuudet. Määrittele muut speksit sopivalla tavalla ja liitä ne dokumenttiin.

Toteuta suodin käyttämällä esimerkiksi Remez-algoritmia komendoilla `help remezord` | `remez`, joiden käytöstä alla joitakin esimerkkejä:

```
[x, Fs, nbits] = wavread('remez.wav');    % from WWW
f1 = ; f2 = ; f3 = ;                    % after signal analysis and
                                        % iteration define f1, f2, f3
```

```
T = 50;                                % half of the transition band
d = 0.05;                               % deviation of ripple
F = [f1-T f1+T f2-T f2+T f3-T f3+T]; % cut-off freqs
A = [0.5 1 0 0.2];                      % ex. on band amplifications
DEV = [d d d d];                        % or DEV = A*d+0.002;
...                                       % remezord, remez
[H,W] = freqz(B,1,1024,Fs);             % compute freq. response...
plot(W,abs(H));                          % ...and plot in linear scale
```

Tulosta suotimen amplitudivaste lineaariasteikolla ja kirjaa ylös suotimen asteluku. Mitä pienempi värähtely ja mitä kapeammat siirtymät kaistojen välillä, sitä suurempi asteluku ja kompleksisuus.

Kuuntele signaalia ennen ja jälkeen suodatuksen (`filter`) ja kommentoi. Onnistutko saamaan esimerkiksi pikkulinnun visertämään kirkossa siten, että kelan kohina ei häiritse?

5 Palaute - Osio 2

Pakollinen osa. Palaute on tärkeää, jotta osaamme arvioida, mitkä osat ovat olleet vaikeita. Pyydämme siis enemmän kommentteja vaikeista kohdista kuin niiden piilottelua. Ryhmien välinen ajatusten vaihto yleisellä tasolla on suotavaa. Mitä tarkemmin lainaat jonkun toisen työtä, sitä tarkemmin se on ilmoitettava.

Q5.1 Millä koneella teit työn: käyttöjärjestelmä, Matlabin versiot (**ver**)?

Q5.2 Oliko käytännön ongelmia tietokoneiden kanssa?

Q5.3 Jos teit työn muuten kuin täysin yksin, millaista tukea saitte työhönne ryhmän muilta henkilöiltä, muilta kurssilaisilta tai opetushenkilökunnalta.

Q5.4 Oliko jotain ohjeistusta liikaa tai liian vähän?

Q5.5 Oliko Matlab-harjoituksista apua harjoitustyössä? Oliko paperilaskareista apua harjoitustyössä? Otitko osaa harjoitustyön vastaanottoihin?

Q5.6 Mikä oli mielenkiintoisin osa tässä työssä?

Q5.7 Kuinka paljon käytit aikaa työn tekemiseen?

Q5.8 Muita kommentteja.