

Mitä FIR suodin on oikeastaan



dsp tekniikkaa helposti
Pekka Ritamäki

Pekka Ritamäki

Esittely	1
Esimerkki	1
Mikä FIR suodin on?	3
Mitkä ovat FIR suotimen huonot ominaisuudet verrattuna IIR suotimiin?	5
Millä termeillä FIR suodinta kuvataan ?	5
Miten FIR sovellus testataan?	6
FIR rutiini C-kielillä	6
Lisätietoja	8

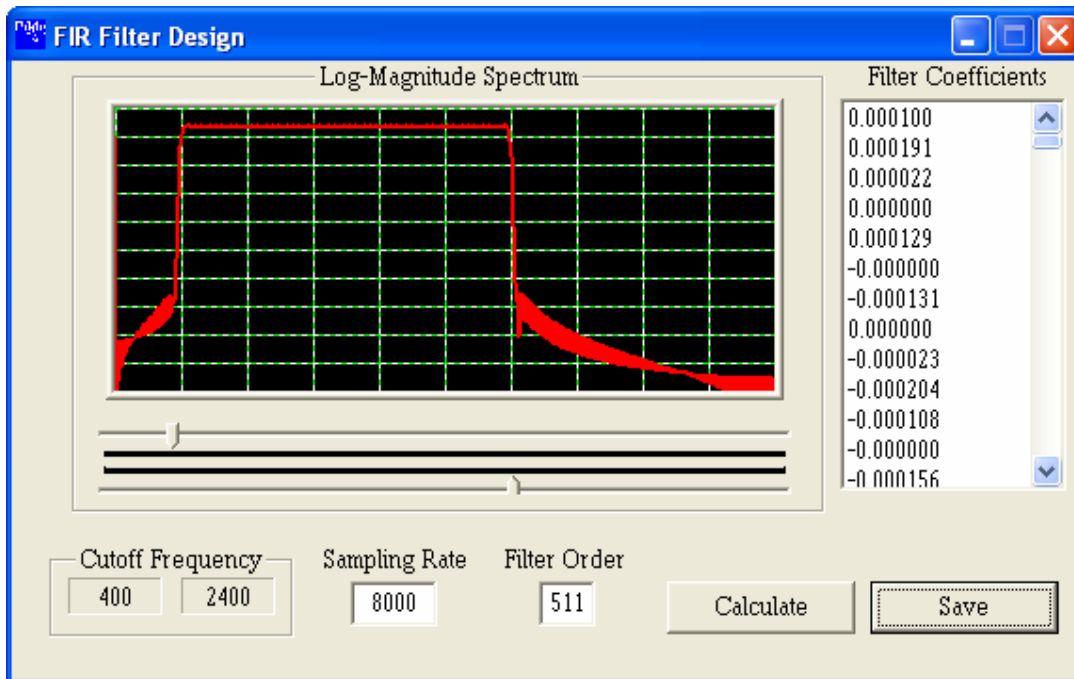
Esittely

FIR-suodin on eräs DSP-tekniikan alalaji. Sen avulla käyttäjä voi suodattaa mitattavasta signaalista halutun taajuusosan. Alipäästö, ylipäästö, kaistanpäästö ovat sen yksinkertaisia sovelluksia. DTMF, FFT, signaalintunnistus ovat hieman vaativampia sovelluksia. FIR-suodattimen termit eivät ole aivan kaikille tuttuja. Kirjoituksessa esitellään termit, tekniikka, ja ohjelmat. Aluksi esitellään FIR-kerroin ohjelmaa ja sen antamia tuloksia, sitten kerrotaan mitä FIR-suodin oikeastaan tarkoittaa. Lopuksi näytetään miten FIR-suodin tehdään yksinkertaisella C-kielen ohjelmalla.

Esimerkki

Normaalisti esimerkit näytetään lopuksi. FIR-suotimen ymmärtäminen helpottuu kun näkee mitä sillä voidaan saada aikaan. Alla on tyypillinen FIR-suodinohjelma . Siinä määrätään, mittausväli, suotimen kertaluku ja rajataajuudet kursoreilla. Tuloksena on graafisesti piirretty kuva. Suotimen vaatimat kertoimet voidaan tallettaa tiedostoon, jota käytetään suoraan C-kielisessä FIR-laskenta ohjelmassa. Ensimmäisessä esimerkissä puhdistetaan radioamatööriitoistimen signaali puhekaistan ulkopuolella olevista signaaleista. Näytteet otetaan 8000 kertaa sekunnissa, alarajataajuus on 400 Hz ja ylärajataajuus 2400Hz. Käyttämällä 511 kerrointa saadaan kauniit muurinseinäkuvat molemmille rajataajuuksille. 511

kertolaskua, yhteenlaskua ja osoittimen siirtoa vaatii 4 miljoonaa laskua sekunnissa ($511 \cdot 8000\text{Hz}$).



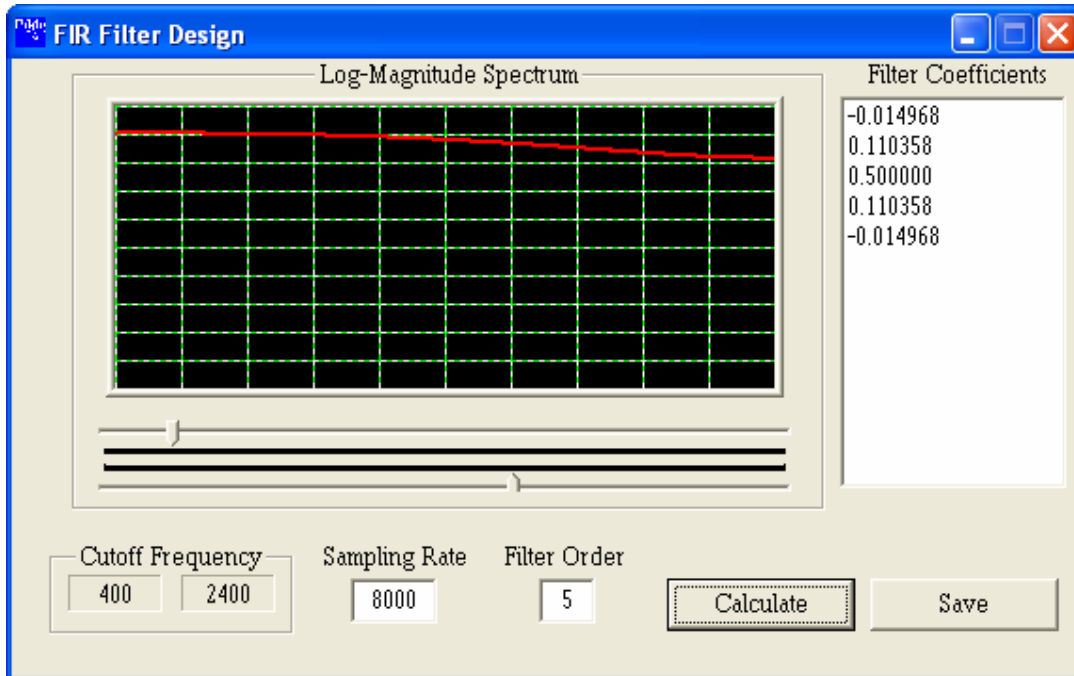
Kuva 1 FIR-kertoimien Profir.exe laskentaohjelmasta, joka on DSPCD:llä 511 tapin suotimen kuva näkyy yllä



Tuloksena tulee FIR suotimen kertoimet. Alla alkua FIR-kerroin tiedoston sisällöstä

```
0.000100
0.000191
0.000022
0.000000
0.000129
-0.000000
-0.000131
0.000000
-0.000023
-0.000204
```

Jos 4 miljoonaa laskua kuulostaa liian suurelta, käyttäjä voi pudottaa kertoimia neljään ja tarkastaa miten hyvin suodin toimii. Tulos näkyy kuvasta 2. Tulos ei ole kovin vakuuttava. Suunnittelijan tehtävä on valita sopiva kompromissi käytettävissä olevan laskentatehon ja vaaditun suorituskyvyn välillä.



Kuva 2 viiden ”tapin” suodin, jolla ei vielä paljon suodatella.

Alla viiden tapin FIR- kerroin tiedoston sisältö

```
=====
-0.014968
0.110358
0.500000
0.110358
-0.014968
```

Mikä FIR suodin on?

- FIR on DSP tekniikassa käytetty suotimen nimi.
- FIR suodin eli Finite Impulse Response on menetelmä, jossa lasketaan suotimen tulos aina samasta määrästä mittauksia. Impulse Response viittaa FIR-suotimen testauksen menetelmään.
- Siinä ei ole lainkaan käsitellä vanhoja mittaustuloksia. Mittauksia on pariton määrä. Mittaukset siirretään datavektoriin aina määrätyn aikavalin jälkeen.
- Datavektori on joukko dataja, jotka ovat peräkkäin ja joilla on sama alkuosoite. Mittaustulokset talletetaan mittausdatavektoriin peräkkäin.

- FIR-suotimessa käytetään kahta datavektoria, joista toisessa on mittaustulokset ja toisessa etukäteen lasketut FIR-suotimen arvot. Molemmat datavektorit ovat yhtä pitkiä.
- FIR on DSP tekniikassa käytetty suotimen nimi. Toinen yleisesti käytetty suodintyyppi on IIR (Infinite Impulse Response). FIR suotimessa on etukäteen määrätty joukko mittaustuloksia ADC:lta. Ne kerrotaan FIR-suotimen kertoimien kanssa. Tulos annetaan DSP:n DA-muuttimelle tai käsitellään ohjelmassa
- FIR on suhteellisen helppo toteuttaa. Siinä ei tarvita muuta kuin kerto- ja yhteenlaskua ja osoittimen siirtoa.
- FIR suodin ei muuta signaalin vaihetta. FIR –suodin on siis vaihelineaarinen. FIR kylläkin viivästää signaalia.

Useimmilla DSP prosessoreilla FIR laskenta voidaan tehdä yhdellä käskyllä.

IIR-suodin on FIR-suotimen kilpailija. Se on hieman monimutkaisempi, mutta joissakin tapauksissa nopeampi. .

DSP-laskut pitää tehdä määrätyllä tarkkuudella, esim. kahdeksan, kuusitoista, kolmekymmentä kaksi tai liukuvanpilkun matematiikalla. Käytännön prosessoreissa on vain määrätty määrä bittejä laskennassa. Laskennan nopeus ja tarkkuus riippuu prosessorin käytettävissä olevista biteistä. Jos laskennassa bittejä on liikaa, prosessorin mittaustulokset vuotavat yli. Toisaalta, jos ylivuotoa tarkkaillaan ja käytetään ulkoista muistia prosessorin rekistereiden asemasta, laskenta hidastuu ja DSP-hyödyt valuvat kuin voi kuumalle kalliolle. Pitää tietää tekniikan rajoitukset.

Käytäntö ja teoria ovat sama asia teoriassa, mutta ei käytännössä. Tämä ylivuoto-ongelma tulee esille mm. työstökoneiden servolaskennassa, jossa esiintyy sama ylivuoto-ongelma. Sen ongelman olen pystynyt ratkaisemaan käsittelemällä vain paikan ja ohjauksen muutoksia. FIR-suodattimessa tämä ei ole vielä onnistunut. ADC muunnin ei voi tietää, mikä on seuraavan mittauksen arvo.

IIR suotimessa käytetään takaisinkytkentää ja sen laskentavaatimukset ovat huomattavasti suuremmat kuin FIR menetelmän. FIR suotimessa käytetään vain määrättyä määrää näytteitä laskettaessa suodinta. IIR suotimessa näytteitä on laskennassa periaatteessa ääretön määrä.

FIR suodin voidaan ratkaista kertoimilla, joiden arvo on alle 1.0. Tietysti kokonaisvasteen arvoa voidaan muuttaa laskennan jälkeen. FIR suodin voidaan laskea kokonaislukumatematiikalla. Tämä on tärkeä muistaa kun käytetään prosessoria, jossa ei ole liukuvan pilkun matematiikkayksikköä.

Mitkä ovat FIR suotimen huonot ominaisuudet verrattuna IIR suotimiin?

FIR suotimet vaativat joskus enemmän muistia kuin IIR suotimet. Jotkut suotimet ovat mahdottomia rakentaa FIR suotimilla.

Millä termeillä FIR suodinta kuvataan ?

- **Impulssin toisto.** Impulssin toisto määrää FIR suotimen kertoimet. Jos laitot impulssin suotimeen sisään eli 1, jota seuraa monta nollaa, niin FIR suodin antaa juuri joukon kertoimia, sitä mukaan kun 1 kulkee suotimen läpi näytteenoton tahdissa. Nämä ovat FIR suotimen kertoimia. "1" tarkoittaa suurinta lukua prosessorin lukuavaruudessa. Jos käytetään kokoanisluku matematiikka esim. 16-bittistä lukualuetta. "1" tarkoittaa lukua 32767 eli suurin positiivinen luku.
- **Väliulosotto eli Tap** - FIRin tappi on kerroin/viive-pari. FIRin tappien määrä ("N") antaa viitteitä muistin määrästä, tarvittavasta laskentamäärästä ja suotimella saavutetulla suodatuskyvystä. Mitä enemmän tappeja suodattimessa on sitä paremmin se pystyy poistamaan ei-toivottuja alueita suotimella. Samoin saadaan vähemmän suotimen päästökaistan vaihtelua (rippeliä). Suotimella voidaan tehdä kapeita kaistoja, jos siinä on paljon tappeja
- **Kerro- ja tallenna-toimenpide (Multiply-Accumulate =MAC)** tarkoittaa FIR yhteydessä toimintoa missä kerrotaan FIR suotimen kertoimet viivästetyllä datalla ja tulos talletetaan pitkään, DSP-prosessorille erikoisesti tätä toimitusta varten tehtyyn, rekisteriin. FIR vaatii yhden MAC käskyn jokaista tappia kohden. Useimmissa DPS-mikroprosessoreissa MAC käsky tehdään vain yhdessä konekäskyssä. MAC rekistereitä voi olla useita. Microchip DSP-prosessoreissa on kaksi 40-bitin rekisteriä
- Suotimen reuna-alueet (Transition Band) on päästöalueen ja pysäytys-alueen välinen alue. Mitä jyrkempi vaatimus reuna-alueen suuruudeksi laitetaan sitä enemmän tarvitaan tappeja ja sitä jyrkempi suotimesta tulee.
- Viivelinja (matemaattinen merkki on " Z^{-1} ") on muistielementti , jotka tallettavat mittaustiedot FIR-suotimessa . Viive ilmaistaan DSP-laskuissa Z^{-1} - merkinnällä
- Rengaspuskuri tarkoittaa muistipaikkoja jonne mittaukset tulevat. Muistialue on järjestetty siten kun muisti loppuu se jatkuu muistin alusta Muistin käyttöä ohjaavat kaksi osoitinta. vastaanotto-osoitin ja lukuosoitin.

- Rengas puskuuri antaa DSP-ohjelmalle mahdollisuuden lukea mittaustuloksia ja kertoimia ilman, että muuttujia muutellaan. Ohjelma vain siirtää mittaustietojen osoituspaikkaa. Kun uutta tietoa tulee se menee vanhimman tiedon paikalle,

Miten FIR sovellus testataan?

- **Impulssitesti:** Yksinkertainen testi on laittaa "1" mittaustuloon ja sitten loput nollija tai 1 ja nollija N-kappaletta . N on FIR-tappien lukumäärä. Jos tuloksena tulee kaikki FIR-suotimen kertoimet oikeassa järjestyksessä, sovelluksesi toimii hyvin. Tämä testi kannattaa tehdä ohjelmallisesti kun testaat uutta FIR-algorimiasi.
- **Askeltesti :** Laita tuloon N tai enemmän kappaletta "1" näytteitä . Antoon tulee FIR-suotimen tasavirtavahvistus.
- **Sinitesti:** Laita tuloon yksittäinen sinisignaali ohjelmallisesti tai laitteiston avulla ja tarkastele tulosta onko se halutunlainen. Seuraavaksi voi laittaa muutaman eritaajuisen signaalin ja katoa kuinka suotimesi selviää niistä.
- **Pyyhkäisytesti :** Laita suodattimen tuloon sinisignaali, joka taajuus muuttuu jatkuvasti. Saat suodattimen toistokäyrän näkyville. Nämä testit vaativat hieman aikaa toteuttaa, mutta uudet laitteet pitää testata ennen käyttöä.

Mitä ovat IIR suodattimen vahvuudet verrattuna FIR suodattimeen?

IIR suodattimella voidaan saada tarvittavat suodatusominaisuudet pienemmällä muistilla ja laskutoimituksilla kuin FIR menetelmällä

Mitä ovat IIR suodattimen heikkoudet verrattuna FIR suodattimeen

- Näillä suodattimilla tulee helposti ongelmia laskennassa. Jos laskennassa tulee pyöritysvirheitä, suodin saattaa käyttäytyä kummallisesti. Tämä johtuu takaisinkytkennästä. Jos laskentaa ei tehdä täydellisesti virheet alkavat näkyä takaisin kytkennän vaikutuksesta tuloksessa.
- IIR on vaikeampi ja hitaampi tehdä kokoanislukumatematiikalla.

FIR rutiini C-kielellä

```

sum = 0;
for(i=0; i<LENGTH; i++)
    sum = sum + weights[i] * data[i];

```

Tosin sanoen esimerkissä on kaksi ryhmää (array) lukuja; painoarvot ja datat. Ne kerrotaan elementti elementillä ja tulot lasketaan yhteen. Radion sekoittajassa ja ilmaisimessa tapahtuu sama asia analogisesti. FIR-suodatin voidaan kuvitella olevan sini-aulukko, joka kerrotaan tulevan radiosignaalin avulla. Tulokset summataan ilmaisimessa. Toiminta: vain oikean taajuiset signaalit pääsevät ilmaisimen läpi. Muut signaalit summatuvat kohinaksi. Rajataajuus saadaan Shannonin teoreemasta.

Esimerkki :

Data ja FIR suodin ovat molemmat 8 bittisiä lukuja Ramissa. Data pidetään 16 tavun ympyräpuskurissa. Esimerkissä on vain FIR-laskentarutiini, ei tiedon keräystä ja tulostusta, eikä FIR-suotimen normalisointia liukuvanpilkun luvusta kokonaisluvuksi

FIR suodattimessa on 8 arvoa, joissa suodattimen lisäksi kalibrointi-arvo. Laske suodatettu FIR arvo

```

// FIR rutiinin, p.ritmäki, probyte fir.c 26.10.2006
#define FIR_WEIGHTS      8
#define MAX_DATA_SAMPLES 16

char weights[FIR_WEIGHTS];
char data_buffer[MAX_DATA_SAMPLES];
char data_index; /* osoitin viimeksi saatuun näytteenottodataan */
// Laske aina jokaisen datan jälkeen fir suodatettu arvo
signed int16 fir(void)
{
    signed int8 i,j;
    signed int16 sum;

    j = data_index - FIR_WEIGHTS;
    if(j < 0)
        j = j + MAX_DATA_SAMPLES;

    sum = 0;
    for(i=0; i<FIR_WEIGHTS; i++) { // 8 FIR_WEIGHTS

        sum = sum + weights[i] * data_buffer[j];
        j = j + 1;
        if(j >= MAX_DATA_SAMPLES) // 16
            j = 0;

    }

    return sum;
}

```

Lisätietoja

Lisätietoja Probyte DSPCD
www.probyte.fi
Pekka Ritamäki/ Probyte Oy

