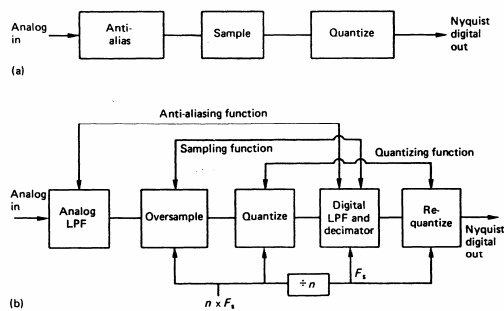


NADUZORKOVANJE (OVERSAMPLING)

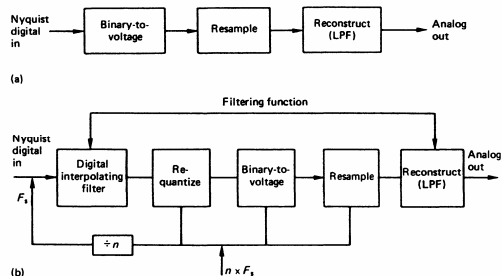
To je uzorkovanje analognog signala s frekvencijom većom od Nyquistove.

Korisno je zbog:

1. Općenitog povećanja omjera S/Š kod A/D konverzije
2. Smanjenja zahtjeva na strminu ulaznog anti-aliasing filtra
3. Konverteri s posebno formiranom karakteristikom šuma kvantizacije imaju neproporcionalno poboljšanje rezolucije



Usporedba konvencionalnih A/D konvertera i A/Dkonvertera s naduzorkovanjem



Usporedba konvencionalnih D/A konvertera i D/A konvertera s naduzorkovanjem

Općenito:

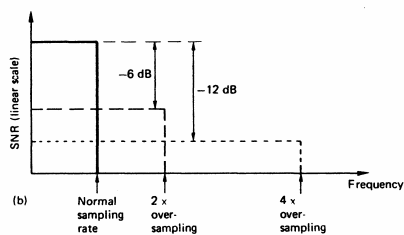
$$S/\bar{S} = 6,02(n+0,5L) + 1,76 \text{ [dB]}$$

gdje je L broj oktava naduzorkovanja, a faktor naduzorkovanja

$$D=2^L$$

Veći dobici dinamičkog područja mogu se postići oblikovanjem spektralne snage šuma tako da većina snage šuma leži izvan audio-pojava.

1. Povećanje omjera S/Š zbog naduzorkovanja



Količina informacija po bitu drastično pada smanjenjem broja bitova u riječi.

Npr. kod 16-bitovnog sustava

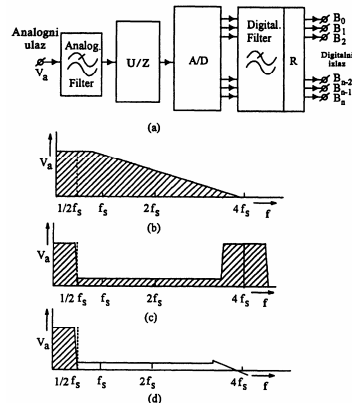
broj podataka: broj riječi = 2^n : $n=4096 \text{ bit}^{-1}$,

kod 8 bitovnog $256:8=32 \text{ bit}^{-1}$,

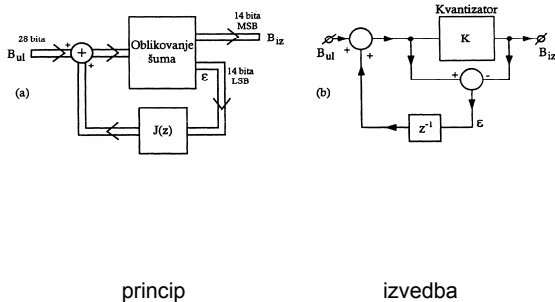
a kod jednobitovnog postoje samo dva podatka po bitu ("0" i "1")

2. Smanjenja zahtjeva na strminu ulaznog anti-aliasing filtra

Zbog povećanja razmaka između f_{\max} i f_u znatno se smanjuju zahtjevi na strminu gušenja filtra.



3. Formiranje karakteristike šuma kvantizacije (noise shaping)



princip

izvedba

Filter greške $J(z)$ je zapravo kašnjenje jednog takta
 $J(z) = z^{-1}$

Funkcija oblikovanja šuma će biti:
 $B_{ul}(z) + \varepsilon(z)J(z) = B_{iz}(z) + \varepsilon(z)$

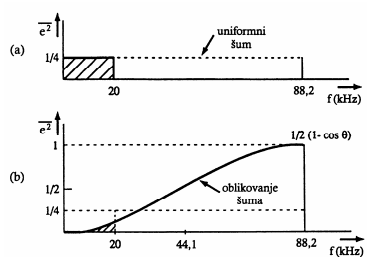
te nakon uređenja:
 $B_{iz}(z) = B_{ul}(z) - \varepsilon(z)(1 - J(z)) = B_{ul}(z) - \varepsilon(z)(1 - z^{-1})$

Izraz $[1 - J(z)]$ predstavlja prijenosnu karakteristiku šuma.

Ako je $z = e^{j\Theta}$,

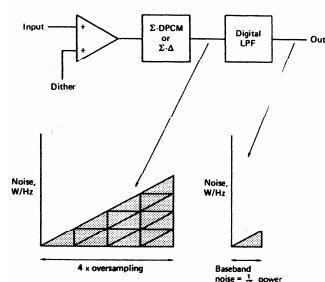
amplitudna karakteristika filtra greške je:
 $|1 - z^{-1}| = 2(1 - \cos\Theta)$

gdje je $\Theta = 2\pi f/f_u$



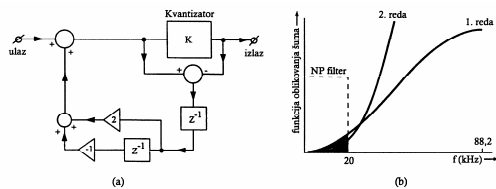
Formiranje karakteristike 1 reda

Porastom frekvencije ulaznog signala raste i razlika između grešaka u dva uzastopna uzorka, a time i greška kvantizacije u izlaznom signalu. Time je postignuto oblikovanje šuma prvog reda jer pogreška kvantizacije ("šum") raste s frekvencijom ulaznog signala.

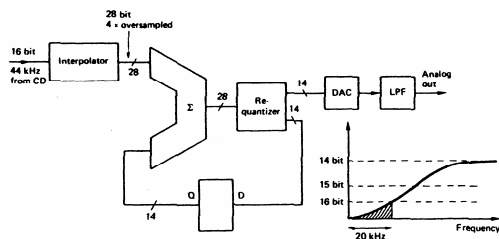


4. Oblikovanje karakteristike šuma višeg reda

Na sl. je filter II reda i odgovarajuće funkcije.



“Noise-shaping system” jedne od ranih generacija Philips-ovih CD-reproduktora



Prijenosna funkcija šuma je $1-J(z)=(1-z^{-1})^2$

Općenito će se prijenosna funkcija šuma višebitovnog konvertera s oblikovanjem šuma mijenjati prema:

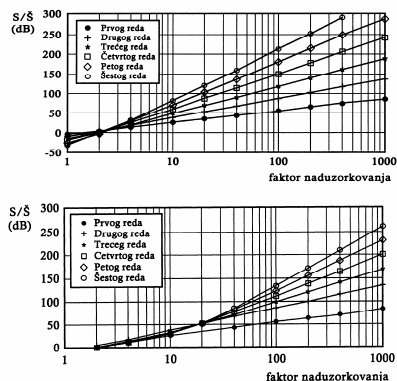
$$1-J(z)=(1-z^{-1})^n,$$

gdje je n red filtra.

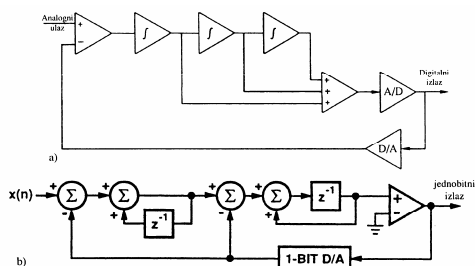
Kod mnogostrukog naduzorkovanja i jednobitovnog konvertera funkcija će biti prema:

$$1-J(z)=\left(\frac{1-bz^{-1}}{1-az^{-1}}\right)^n$$

Poboljšanje omjera S/Š kao funkcija faktora naduzorkovanja i reda filtra višebitovnog i jednobitovnog sustava prikazana je slikama.



Jedna od mogućnosti oblikovanja šuma zasniva se na oduzimanju izlaznog signala od signala koji ulazi u svaki integrator.



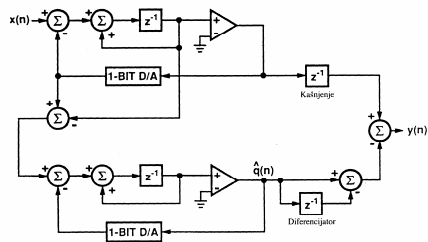
Za omjer S/Š pri oblikovanju šuma prvog reda vrijedi izraz

$$S/\bar{S}=6,02(n+1,5L)-3,41 \text{ [dB]}$$

čime se uz isti faktor naduzorkovanja postižu znatno veći omjeri nego u slučaju bez oblikovanja šuma.

Za omjer S/Š pri oblikovanju šuma drugog reda vrijedi izraz

$$S/\bar{S}=6,02(n+2,5L)-11,14 \text{ [dB]}$$



Oblikovanje
šuma drugog
reda tipa MASH

3. Digitalni filtri

Primjena u audio području

Preporučena literatura

- <http://ccrma.stanford.edu/~jos/filters/filters.html>
Introduction to Digital Filters, Stanford
- <http://www.dspguide.com/>
The Scientist and Engineer's Guide to Digital Signal Processing

Filtri

- Filtri nužni za DSP
- Primjena:
 - filtriranje EKG-a bebe
 - čišćenje audio snimke od šuma
 - izoštravanje fotografije
- Analogni ili digitalni ?
- Prednosti digitalnih filtera je izostanak nedostataka analognih

Linearni, vremenski invarijantni sustav

- vremenski diskretan sustav
- mijenja ulazni signal

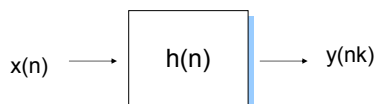


$$x(n) = \{x(n)\} = \{\dots, x(-1), x(0), x(1), \dots\}$$

$$y(n) = LTI[x(n)] = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) \{LTI[\delta](n-k)\} = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) h(n-k)$$

- LTI – linearni, vremenski invarijantni sustav
- odziv LTI sustava na slijed Dirackovog impulsa $\delta(n)$:
 - impulsni odziv $h(n)$

Digitalni filtri



$$x(n) = x(n) * h(n) = \sum_{k=-\infty}^{\infty} x(k) h(n-k)$$

- sustav je kauzalan ako vrijedi:

$$h(n) = 0, \quad n < 0$$

Digitalni filtri

- digitalni filter (odnosno LTI diskretni sustav) se može prikazati kao:

$$\sum_{i=0}^N a_i y(n-i) = \sum_{j=0}^M b_j x(n-j)$$

- odnosno uz $a_0=1$ vrijedi

$$y(n) = -\sum_{i=1}^N a_i y(n-i) + \sum_{j=0}^M b_j x(n-j)$$

a_i, b_j koeficijenti filtra
 $x(n)$ n-ti uzorak ulaznog signala
 $x(n-j)$ (n-j)-ti uzorak ulaznog signala
 $y(n)$ n-ti uzorak izlaznog signala
 $y(n-i)$ (n-i)-ti uzorak izlaznog signala

FIR digitalni filtri

- ako za odziv na jedinični impuls digitalnog filtra vrijedi:

$$h(n) = \begin{cases} \text{vrijednosti različite od nule} & n_1 \leq n \leq n_2 \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

onda je impulsni odziv sustava konačnog trajanja:

- FIR filter** (finite-duration impulse response), nerekurzivni filter

$$y(n) = \sum_{j=0}^M b_j x(n-j)$$

$$h(n) = \begin{cases} b_j & 0 \leq j \leq M \\ 0 & \text{inače} \end{cases}$$

IIR digitalni filtri

ako je impulsni odziv filtra beskonačan:

- IIR filter** (infinite-duration impulse response), rekurzivni filter

uz $b_0 = 1$ i $b_j = 0$ za $j \neq 0$, dobijemo:

$$\sum_{i=0}^N a_i y(n-i) = x(n)$$

Z transformacija

- Z transformacija diskretne vremenske domene (niz realnih brojeva) u kompleksnu frekvencijsku domenu
- Z- transformacija niza $x(n)$:

$$X(z) = Z[x(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n) \cdot z^{-n}$$

gdje je z kompleksna varijabla.

Promatramo područje konvergencije, to su oni z za koje $X(z)$ postoji

- Z- transformacija prijenosne funkcije :

$$H(z) = Z[h(n)] = \sum_{n=-\infty}^{\infty} h(n) \cdot z^{-n}$$

Z transformacija LTI sustava

- Vrijedi:

$$Y(z) = H(z)X(z)$$

$$H(z) = \frac{\sum_{j=0}^M b_j z^{-j}}{1 + \sum_{i=1}^N a_i z^{-i}} = \frac{b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_M \cdot z^{-M}}{1 + a_1 \cdot z^{-1} + \dots + a_N \cdot z^{-N}} = \frac{B(z)}{A(z)}$$

- ako područje konvergencije $H(z)$ uključuje jediničnu kružnicu, područje z -ravnine gdje je $|z|=1$, uz zamjenu

$$z = r \cdot e^{j\omega}$$

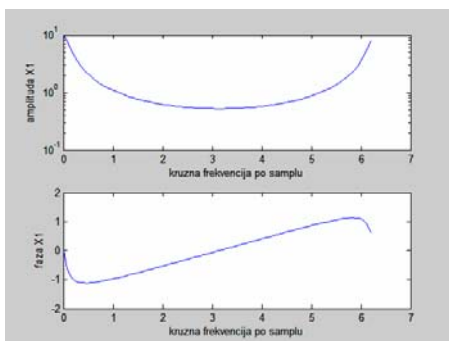
i uz $r=1$, dobije se frekvencijski odziv LTI sustava

$$H(\omega) = \frac{B(\omega)}{A(\omega)}$$

- $H(\omega)$ je Fourierova transformacija impulsnog odziva

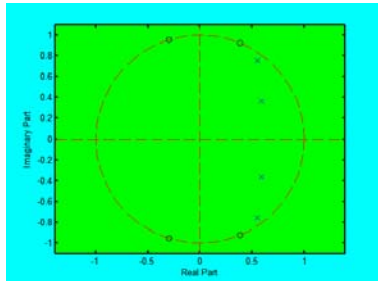
PRIMJER 1: Z transformacija niza a^n

- zadan je niz $x(n)=a^n$ za $n=0, \dots, N-1$ $a_1=0.9$

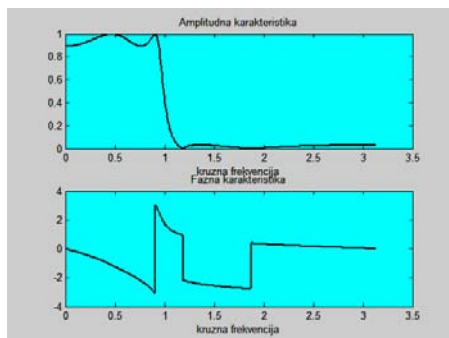


PRIMJER 2: prijenosna karakt. sustava

$$H(z) = \frac{0.0647 - 0.0106z^{-1} + 0.0997z^{-2} - 0.0106z^{-3} + 0.0647z^{-4}}{1 - 2.2800z^{-1} + 2.6543z^{-2} - 1.5624z^{-3} + 0.4215z^{-4}}$$

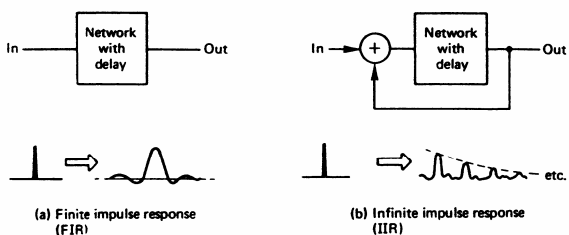


PRIMJER 2: prijenosna karakt. sustava

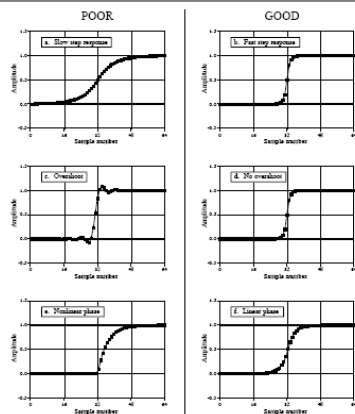


Podjela digitalnih filtara

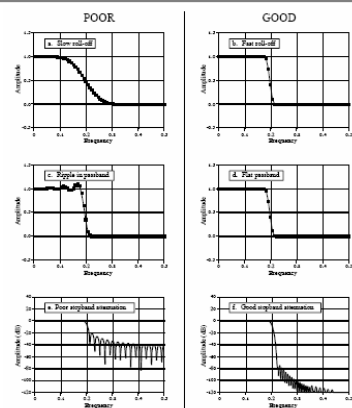
- općenita jednačba: dva tipa filtara
 - samo drugi dio sumacije - nerekurzivni susta
 - i prvi sumand - rekurzivnom sustavu.
- 1.) FIR (finite impulse response), nerekurzivni filtri
 - 2.) IIR (infinite impulse response), rekurzivni filtri



Parametri vremenske domene filtra



Parametri frekvencijske domene filtra

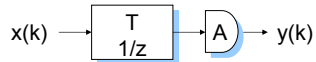


pretpostavke

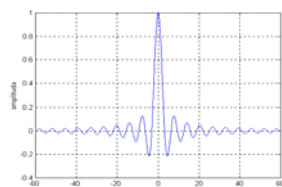
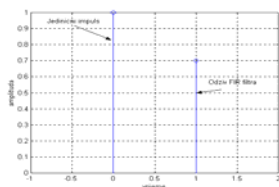
- ulazni signal u filter je jedinični impuls
- izlazni signal je jednako kratkog trajanja kao jedinični impuls, samo mu je promijenjena amplituda, ovisno o funkciji filtra
- filteri su idealni, a ne realni
- koriste se samo najosnovnije filterske strukture, građene od jednog elementa za kašnjenje i jednog elementa za množenje

Nerekurzivni (FIR) filtri

- konačni impulzni odziv
- FIR filtri – nerekurzivni, jer nemaju povratne veze na ulaz filtra
- osnovna struktura:

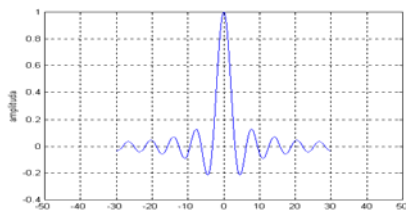


- impulzni odziv:



Nerekurzivni (FIR) filtri

- realan odziv filtra - $\sin(x)/x$ krivulja
- vršna vrijednost odziva koincidera s ulaznim impulsom
 - odziv prisutan i onda kada na ulazu nema podbude
 - filter nije kauzalan i nije ostvariv
 - odbacivanje krajeva



Nerekurzivni (FIR) filtri

- odziv FIR filtra je simetričan
- linearni fazni odziv
- opća jednačba:

$$y(k) = \sum_{j=0}^m b_j x(k-j)$$

- jednačba ima samo drugi sumand
- ovisnost samo o ulaznim impulsima
- prijenosna funkcija filtra:

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}$$

Projektiranje FIR filtra metodom vremenskih otvora

- množenje filterarskih koeficijenata funkcijom prozora (otvora), maksimum u središtu prozora
- najjednostavnije - pravokutni prozor
- vremenski otvori - smanjuju amplitude neželjenih uzoraka $\sin x/x$ karakteristike
- dvije su vrste vremenskih otvora:
 - konstantni vremenski otvori
 - promjenljivi vremenski otvori

a) konstantni vremenski prozor

- konstantni vremenski otvori - $w(k)$ koja trajno djeluje na ulazne uzorke (k)
- Filtri po obliku funkcija vremenskih prozora:

Pravokutni: $w(k)=1$ $-N/2 < k < N/2$

Bartlett-ov: $w(k)=1-|k|/(N/2)$ $-N/2 < k < N/2$

Hanning-ov: $w(k)=0,5+0,5\cos(2\pi k/(N+1))$ $-N/2 < k < N/2$

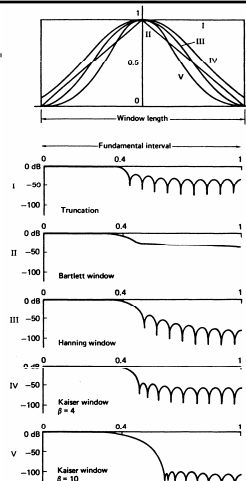
Hamming-ov: $w(k)=0,54+0,46\cos(2\pi k/(N+1))$ $-N/2 < k < N/2$

Blackman-ov: $w(k)=0,42+0,5\cos(2\pi k/(N+1))+0,08\cos(4\pi k/(N+1))$ $-N/2 < k < N/2$

- $w(k)$ - funkcija kojom se množe amplitude uzoraka
- k - uzorci
- N - ukupan broj uzoraka u prozoru

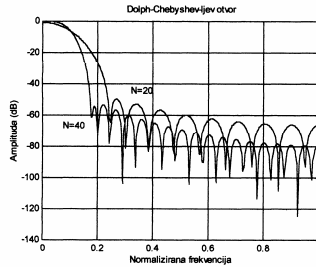
efekt prozoriranja

- Bartlett – na račun valovitosti povećava širinu tranzicije
- Hanning - oblik podignutog kosinusa, sličan i Hammingu
- Blackman - dodatni kosinusni član za smanjuje Gibbsovog efekta, najveće gušenje u nepropusnom dijelu, najmanja strmina opadanja u prijelaznom području
- pravokutnim - naj strmiji nagib, najmanje prigušenje u nepropusnom dijelu
- odabir prozora ovisi o zahtjevu
- veće potiskivanje okolnih uzoraka - veće potiskivanje u nepropusnom dijelu frekvencijske karakteristike



a) promjenjivi vremenski prozor

- moguća je kontrola minimalnog gušenja u svrhu oblikovanja karakteristike filtra
- amplitudna karakteristika filtra s Dolph – Chebyshevijevim otvorom, i to za $N=20$ i $N=40$:

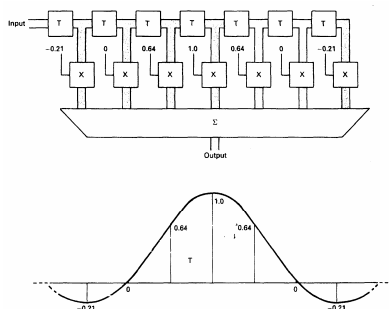


a) promjenjivi vremenski prozor

- viši red filtra - uže glavne i sekundarne laticе
- potiskivanje sekundarnih laticа po potrebi
- upotrebljava se i filter s Kaiser-ovim otvorom, također je moguće mijenjati potiskivanje (gušenje) u nepropusnom dijelu karakteristike
- Kaiser-ov prozor - familija prozora temeljena na Bessel-ovim funkcijama s različitim odnosima između valovitosti i širine glavne laticе (prijelazno područje)

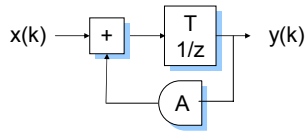
Primjer FIR filtra

- ovdje samo 7 točaka, realnije je npr. 96 – smanjenje



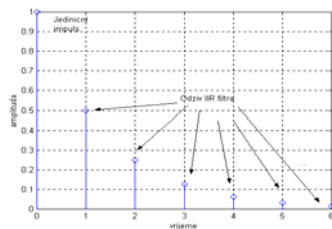
Rekurzivni (IIR) filtri

- beskonačni impulsni odziv
- povratna veza – rekurzivni
- osnovna struktura:



Rekurzivni (IIR) filtri

- zbog povratne veze teoretski beskonačno dugo odgovara na ulazni impuls,
- koeficijent $A=0,5$ u primjeru na slici
- nemoguće je imati simetrični odziv
- teže postiže linearnost fazne karakteristike
- IIR filtri imaju niz prednosti pred FIR filtrima



Rekurzivni (IIR) filtri

- opća jednačba:

$$y(k) = -\sum_{i=1}^n a_i y(k-i) + \sum_{j=0}^m b_j x(k-j)$$

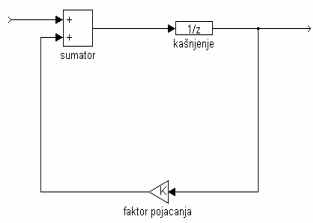
- Z- transformacijom se dobiva

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}}$$

- nul točka nazivnika – lošije karakteristike i nestabilnost

analiza stabilnosti IIR filtra

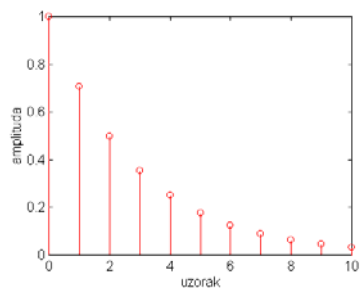
osnovna konfiguracija IIR filtra



- razlikuju se tri slučaja ovisno o koeficijentu multiplikacije:
 1. $K < 1$
 2. $K = 1$
 3. $K > 1$

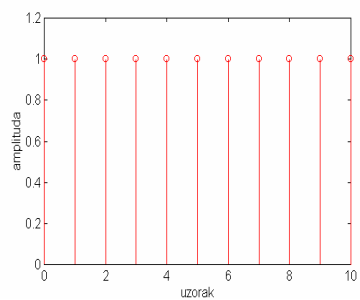
analiza stabilnosti IIR filtra

- $K < 1$



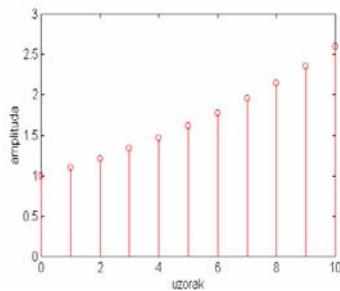
analiza stabilnosti IIR filtra

- $K = 1$



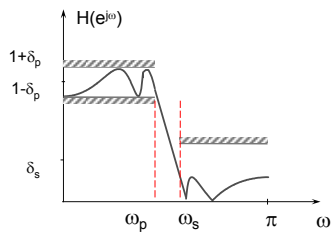
analiza stabilnosti IIR filtra

- $K > 1$



Metode projektiranja IIR filtra

- projektiranje – matematičkim postupcima dobiti prijenosnu karakteristiku filtra, uz zadane uvjete
- specifikacija digitalnog filtra:



Metode projektiranja IIR filtra

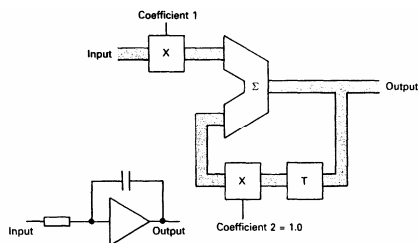
- propusni pojas: $1 - \delta_p \leq |H(e^{j\omega})| \leq 1 + \delta_p$ za $|\omega| \leq \omega_p$
- pojas gušenja: $|H(e^{j\omega})| \leq \delta_s$ za $\omega_s \leq |\omega| \leq \pi$
- ako se frekvencijska karakteristika prikaže u log. omjeru $H(\omega) = -20 \log|H(e^{j\omega})|$, tada:
- valovitost u području propuštanja: $\alpha_p = -20 \log(1 - \delta_p)$ [dB]
- minim. gušenje u području gušenja: $\alpha_s = -20 \log(\delta_s)$ [dB]
- granične frekvencije područja propuštanja i gušenja:
 $\omega_p = 2\pi f_p / f_u$ $\omega_s = 2\pi f_s / f_u$

gdje je: f_u frekvencija uzorkovanja, a f_p i f_s su granične frekvencije pojasa propuštanja i gušenja u Hz.

- nakon što je specificirano kakav filter se traži, prelazi se na metode projektiranja digitalnih rekurzivnih filtera
- dvije su osnovne metode:
 1. metoda jednakog impulsnog odziva
 2. metoda bi-linearne transformacije

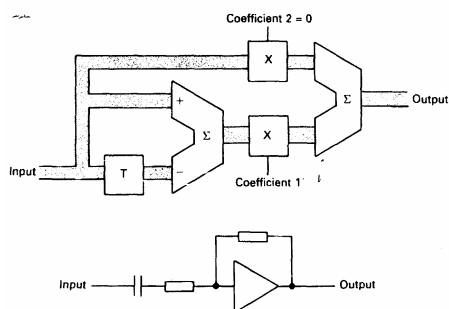
Primjer IIR filtra 1

- jednostavni integrator
- variranjem koeficijenata se može postići niskopropusni filter



Primjer IIR filtra 2

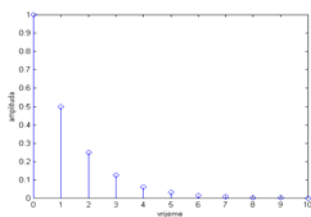
- diferencijator
- variranjem koeficijenata se može postići visokopropusni filter



PRIMJER ista funkcija s FIR i IIR filtrom

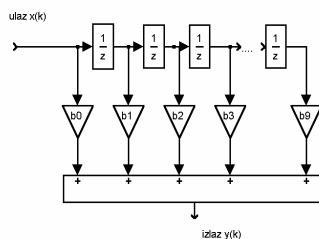
- ista funkcija filtra ostvarena pomoću FIR i IIR filtra
 - prednosti i nedostaci pojedinih upotreba.
- zadaća - ostvariti impulsni odziv u (diskretnoj domeni) koji ima oblik eksponencijalno padajuće funkcije:

$$y = 0,5 \cdot x$$
- odziv RC mreže, niskopropusni filter
- odziv u diskretnoj vremenskoj domeni:



PRIMJER ista funkcija s FIR i IIR filtrom

- FIR filter kojim je realiziran takav odziv:



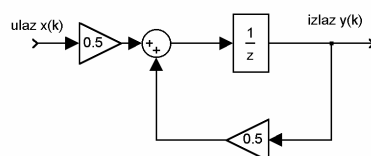
- $b_0 = 0,5$; $b_1 = 0,25$; ...
- jednadžba i prijenosna funkcija FIR filtra:

$$y(k) = b_0 \cdot x(k) + b_1 \cdot x(k-1) + \dots + b_9 \cdot x(k-9)$$

$$H(z) = Y(z)/X(z) = b_0 + b_1 \cdot z^{-1} + \dots + b_9 \cdot z^{-9}$$

PRIMJER ista funkcija s FIR i IIR filtrom

- IIR filter kojim je realiziran takav odziv:



- jednadžba i prijenosna funkcija FIR filtra:

$$y(k) = 0,5 \cdot x(k-1) + 0,5 \cdot y(k-1)$$

$$H(z) = Y(z)/X(z) = 0,5 \cdot z^{-1} / (1 - 0,5 \cdot z^{-1})$$

Usporedba filtara

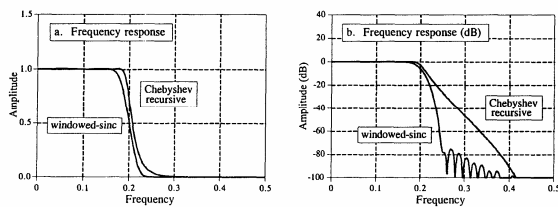
- obzirom na stabilnost, konstrukciju i praktičnu primjenu
- IIR filterima - jednaka svojstva procesiranja kao i s FIR filterima, mnogo manji broj konstrukcijskih elemenata
- odziv IIR filtra je beskonačan, on realnije predstavlja prirodni odziv
- odziv FIR filtra je aproksimacija stvarnog odziva - ograničavanje odziva u vremenskoj domeni:
 - Gibbsov fenomen** (određena valovitost u frekvencijskoj karakteristici)
- IIR filter jeftiniji za izradu - manje sklopovskih elemenata
- IIR filteri - nesimetričan impulsni odziv - nelinearnost fazne karakteristike
- FIR filteri - simetričan impulsni odziv - linearnost fazne karakteristike

Usporedba filtara

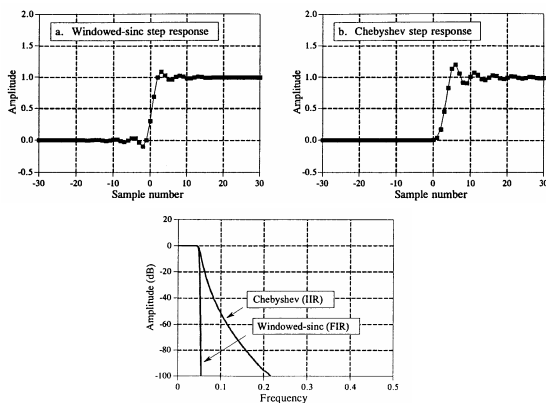
- zajednička osobina - ne prepoznaju frekvencije koje uzorci predstavljaju, nego rade samo u odnosu na frekvenciju uzorkovanja i frekvenciju takta sustava
- frekvencija takta sustava obično mnogo veća od frekvencije uzorkovanja - digitalni sustavi mogu s pristiglim uzorkom učiniti velik broj promjena (operacija)
- FIR filtri su uvijek stabilni i nemaju povratnu vezu na ulaz
- IIR filtri ne moraju nužno biti stabilni zbog povratne veze

FIR (51 točka) vs. IIR filtri (6 polova)

- separiranje frekvencijskih područja
- valovitost: 0,5% (IIR), FIR jer ravan
- FIR ima puno bolja svojstva od IIR-a, ako brzina nije kritična
- FIR je obično 1 red veličine sporiji od IIR filtra

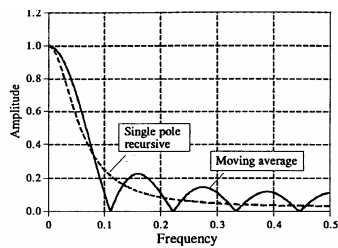


FIR vs. IIR filtri

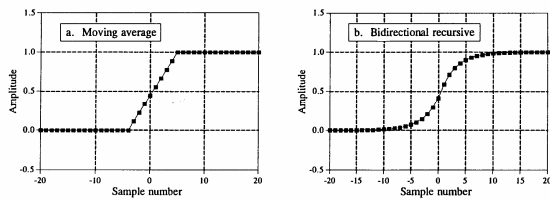


FIR (9 točaka) vs. IIR (1 pol)

- vremenska domena važna
- frekventijska domena loša
- vremenska promjena kod FIR brža, kod IIR glatkija



FIR (9 točaka) vs. IIR (1 pol)

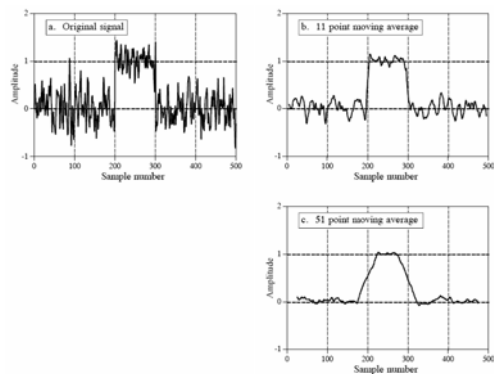


Primjena FIR filtara

- promjena frekvencije uzorkovanja, mnoge primjene:
 - naduzorkovanje omogućuje bolju obradu signala
 - reprodukcija s brzinom koja je različita od standardne
 - prilagođavanje starijih snimki rađenih (prijašnji standardi frekvencije uzorkovanja), a pri snimanju na nove medije
 - različite frekvencije uzorkovanja za različite primjene (CD, DVD, MOD, višekanalni snimači, DAB, DSR itd.); za povezivanje različitih uređaja ili korištenje snimke s jednog uređaja na drugome
 - prijenos podataka na veće udaljenosti uzrokuje promjenu f_u pa je treba korigirati
- FIR filtri se koriste kao polifazni QMF filtri u uređajima za redukciju podataka.

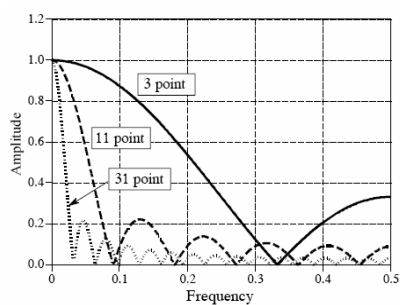
Primjena FIR filtra

- filter za usrednjavanje (moving average)



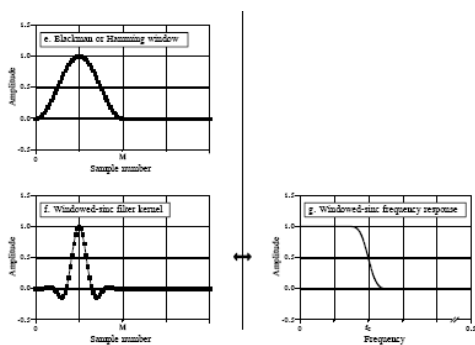
Primjena FIR filtra

- frekvencijski odziv



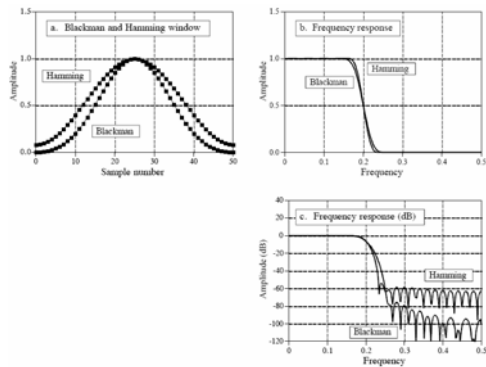
Primjena FIR filtra

- $(\sin x)/x$ u vremenskoj domeni, prozoriranje

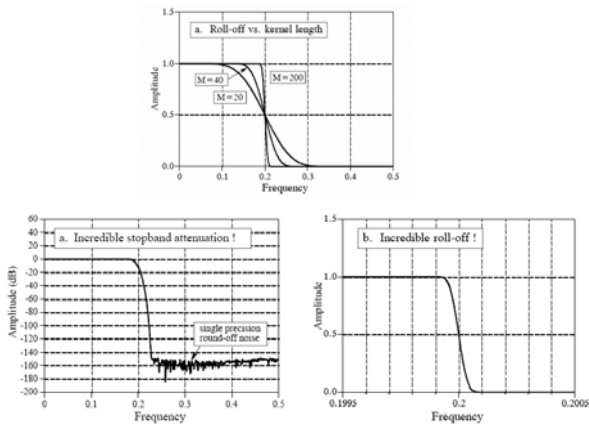


Primjena FIR filtra

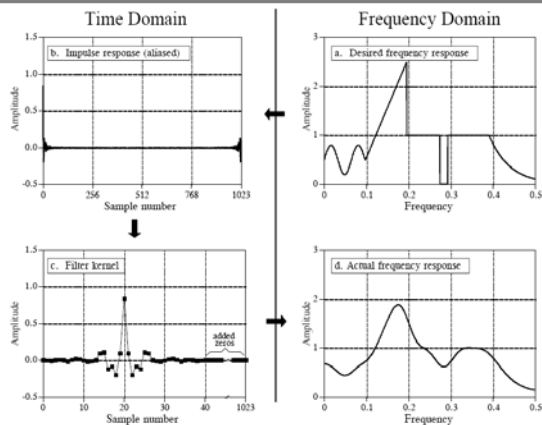
- razlika Hammingovog i Blackmannovog prozora



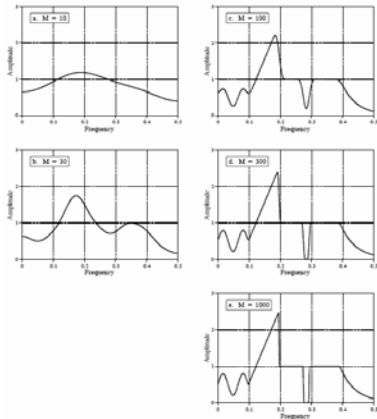
Primjena FIR filtra



Primjena FIR filtra



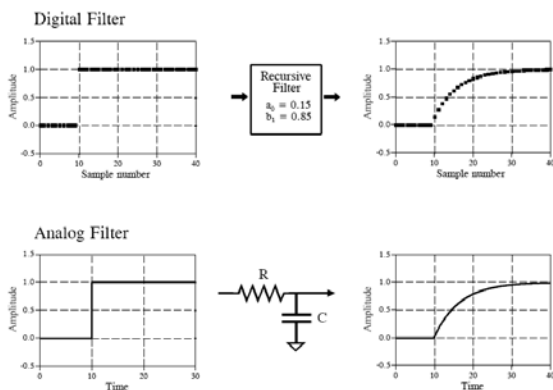
Primjena FIR filtra



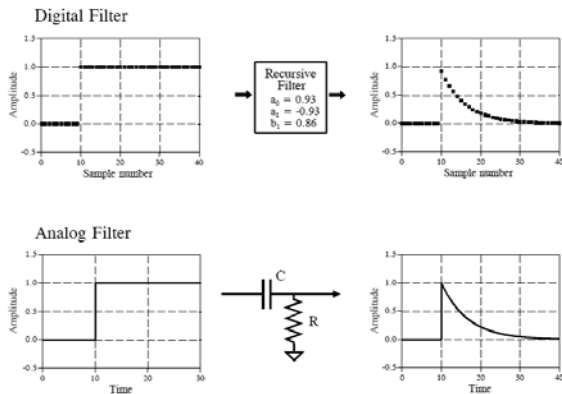
Primjena IIR filtara

- širok niz primjena
- glavno svojstvo - jednostavna konstrukcija i manja količina sklopova za ostvarivanje filtarskih funkcija
- mogu se koristiti za:
 - uklanjanje DC komponente iz uzoraka audio signala
 - općenito, za ostvarivanje bilo kakvih filtarskih funkcija (niski, visoki, pojasni propust ili brana)
 - dodavanje efekata audio signalu
 - kompenzacija faznih razlika signala itd.
 - širok niz primjena na digitalnom stolu za miješanje
 - diferencijator

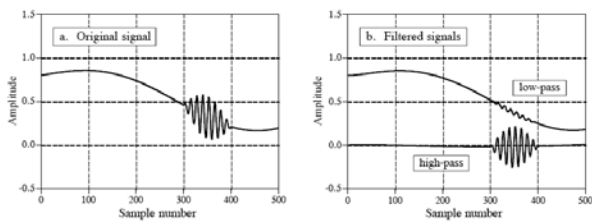
Primjena IIR filtra



Primjena IIR filtra



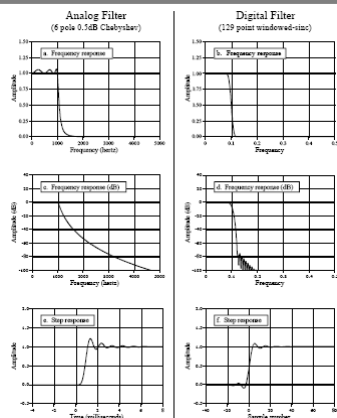
Primjena IIR filtra



Analogni vs. digitalni filtri

- ANALOGNI FILTRI
 - lagani za izvedbu ako su jednostavni
 - kod strmina većih od 18 dB/oktavi kritična je kvaliteta komponenta
 - obično se njima uređuje frekvencijski odziv, zbog impulsnog i faznog dolazi do problema u kvaliteti zvuka
 - osnovni elementi: otpornici, kapaciteti, integrirani krugovi i tranzistori
- DIGITALNI FILTRI
 - jednostavno je postići linearnu fazu
 - numerički koeficijenti ne stare, ne klize im karakteristike
 - korisno je promatrati njegovo ponašanje u vremenskoj domeni
 - osnovni elementi (algoritma): zbrajanje, množenje, kašnjenje

Analogni vs. digitalni filtri



Izvori grešaka kod digitalnih filtara

- Greške:
 - smanjuju kvalitetu zvuka, ili
 - rezultiraju nestabilnošću
- greške kvantizacije (dither, binarna aritmetika u 32 bita za 16-bitni uzorak)
- FIR filtri:
 - pravilni odabir prozora – minimizacija greške zbog korištenja samo dijela impulsnog odziva
- IIR filtri:
 - zbog ograničen preciznosti dolazi do povećanja greške uzastopnim množenjem – greške beskonačnih sekvenci