

# Elektroakustika

## osa5:

### Heliefektid ja kaja/reverberatsioon

Digitaalsed efektid: Flanger, Phaser, Chorus jne  
Digitaalsed kaja ja reverberatsiooni algoritmid

# Digitaalsed heliefektid: flanger

*Flange*: tähendab tõlkes 'äär'. Heliefektidega seoses tähendab lintmagnetofoni ketta äärt

Põhineb 'käsitsi' tehtud efektil:

- võttis kasutusele Les Paul 1940-ndatel
- sama helilõik kopeeritakse kahele lindile
- mängitakse mõlema mängijaga samaaegselt
- aeglustatakse teist mängijat puudutades ketta serva

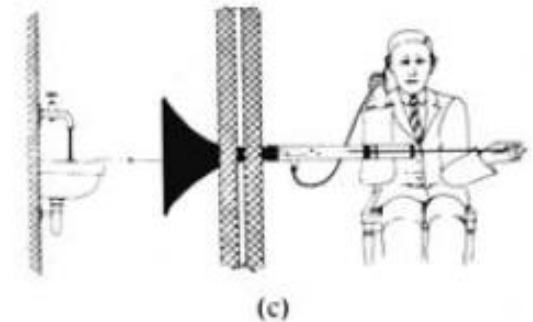
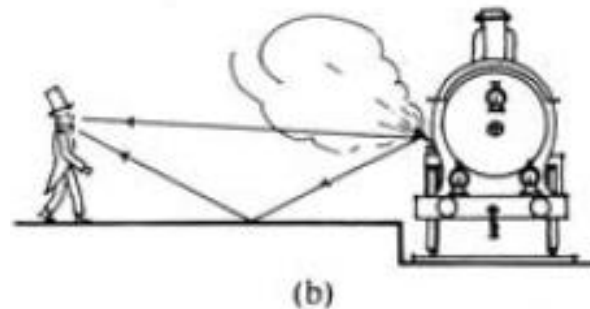
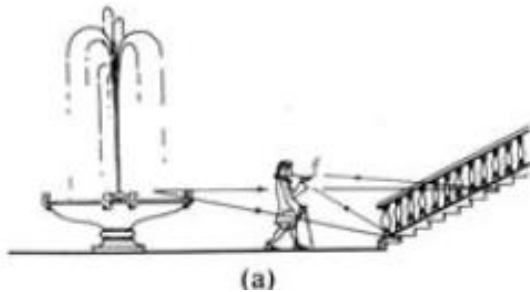


# Flanger igapäevases elus

Flangerist on palju loomulikke näiteid:

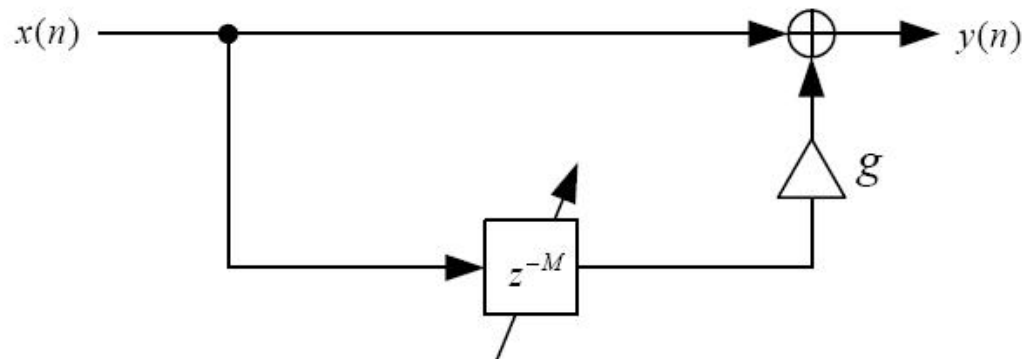
- purskkaevu heli peegeldumine trepi astmetelt
- lennuki ülelend linnas kus on ohtralt heli peegeldavaid pindu

Flangeri põhimõte on otse kulgeva heli ja peegeldunud heli summeerumine kusjuures peegeldunud heli hilistus muutub (või on mitmeid eri hilistusega peegeldusi)



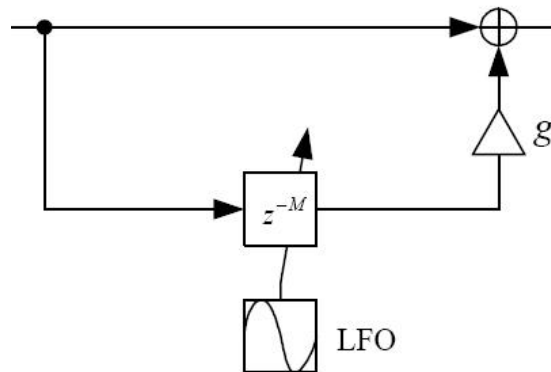
# Flangeri digitaalne realiseerimine

Digitaalselt on flanger-efekti võimalik realiseerida:



Antud struktuur kujutab endast ajas muutuvat kammfiltrit

Hilistust võib reguleerida madalasagedusliku sinusoidiga

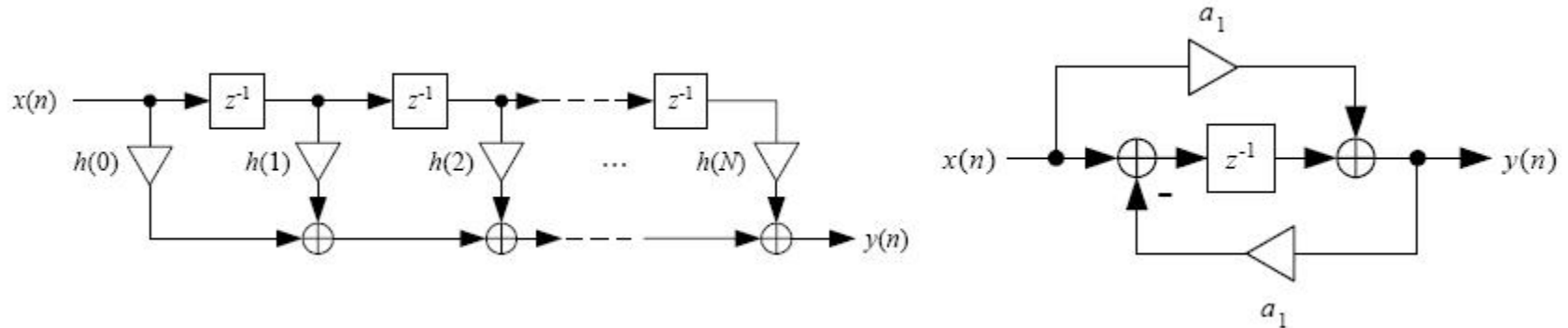


Näide!

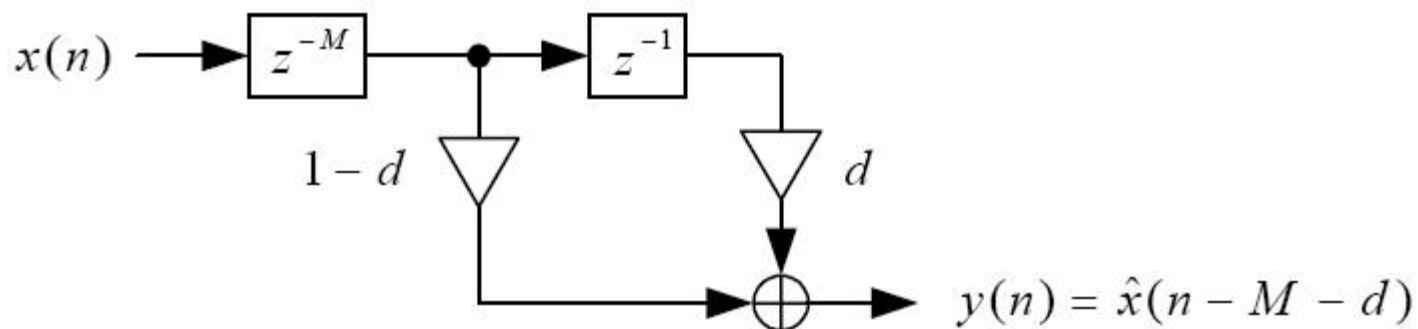
# Flangeri hilistusahel

Juhul kui flangeri hilistusahelas on võimalikud ainult täisarvulised hilistused, võib tulemuseks olla ns. tõmblukk-müra (*zipper noise*). Selle vältimiseks on vaja hilistusahelas kasutada murdhilistusfiltrit.

Murdhilistusfiltrina võib olla kas FIR-filter või *all-pass* filter.

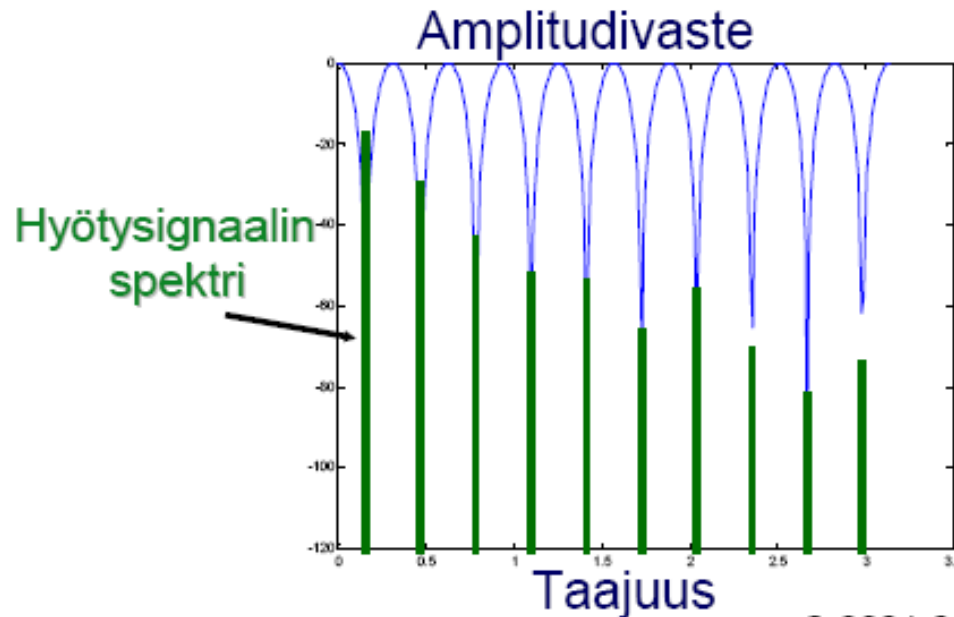


Lihtsamal kujul murdhilistusfiltrina võib kasutada 1 järku FIR filtrit. Sel juhul hilistusahel näeb välja:



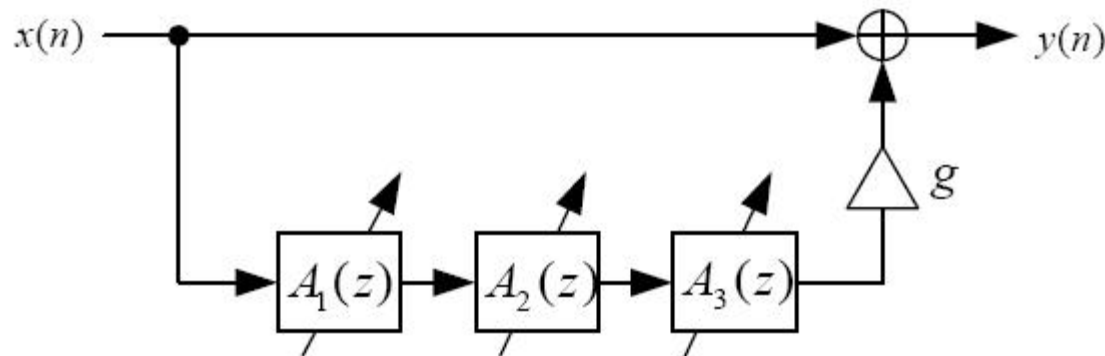
# Flangeri probleem

Flanger on põhimõtteliselt pöördkammfilter. Kui flangeri hilistust moduleerida, kammfiltri 'koopad' sõidavad mööda sagedustelge. Kuna kammfiltri 'koopad' on jaotunud tasaselt, võib tekkida olukord kus kammfilter eemaldab signaalist täielikult mõne signaalikomponendi koos kõigi harmoonilistega.



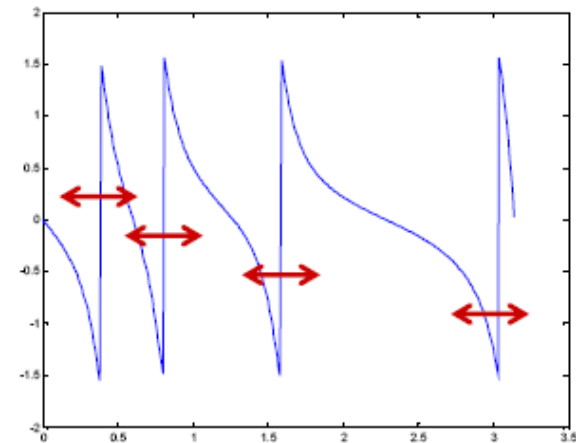
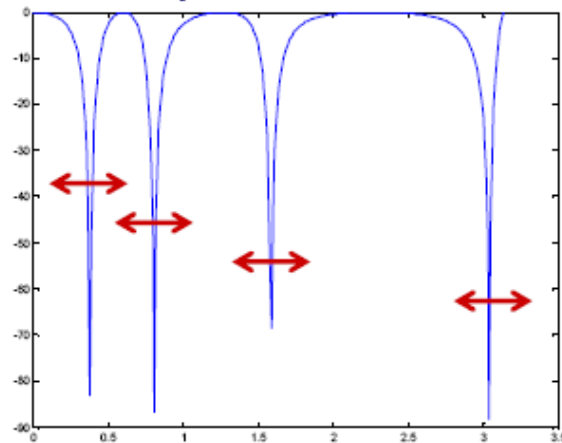
# Phaser

Phaseri puhul paralleelses ahelas on mitu 1. või 2. järku *all-pass* filtrit. Filtrite faasinihet moduleeritakse madalasagedusliku generaatoriga (LFO: *Low Frequency Oscillator*):



Amplituudikarakteristiku 'koopad' on nüüd sagedustel mil filtrite faasikarakteristik on  $-180$  astme ( $-\pi$ ) kordne.

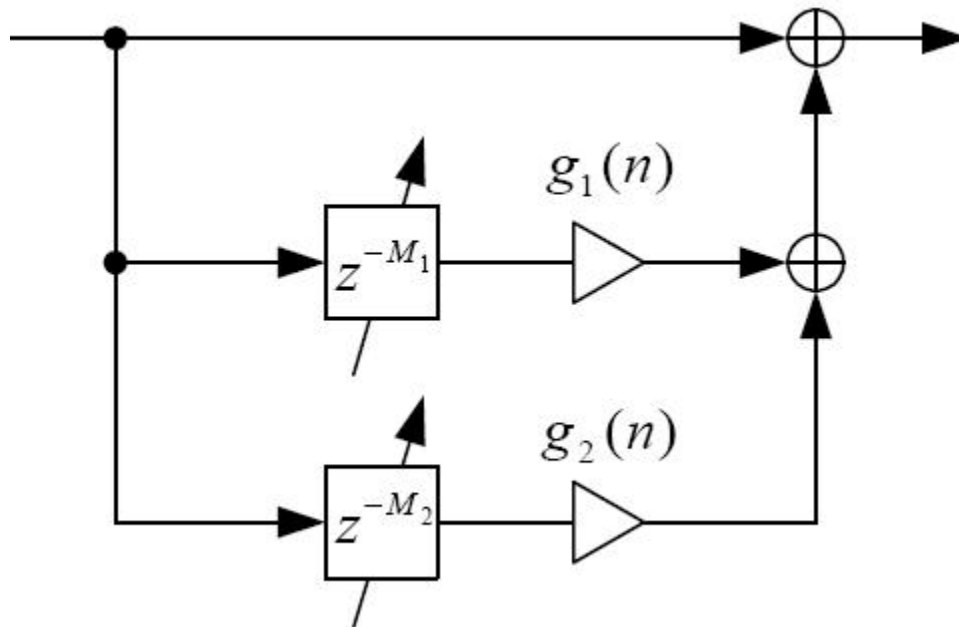
Näiteks 4 2. järku *All-pass* filtrit:



# Chorus

Chorus-efekti eesmärk on mitmekordistada heli.

Kasutatakse mitut paralleelset hilistusahelat kusjuures hilistust võib moduleerida kas sinusoidaalselt või madalpääs-filtreeritud müraga

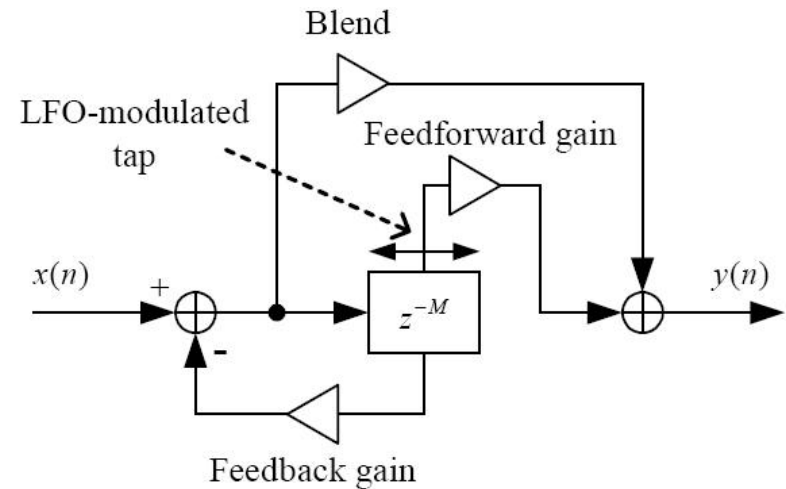




# Universaalne efektfilter

Joonisel oleva universaalse struktuuri abil on võimalik realiseerida mitmeid efekte:

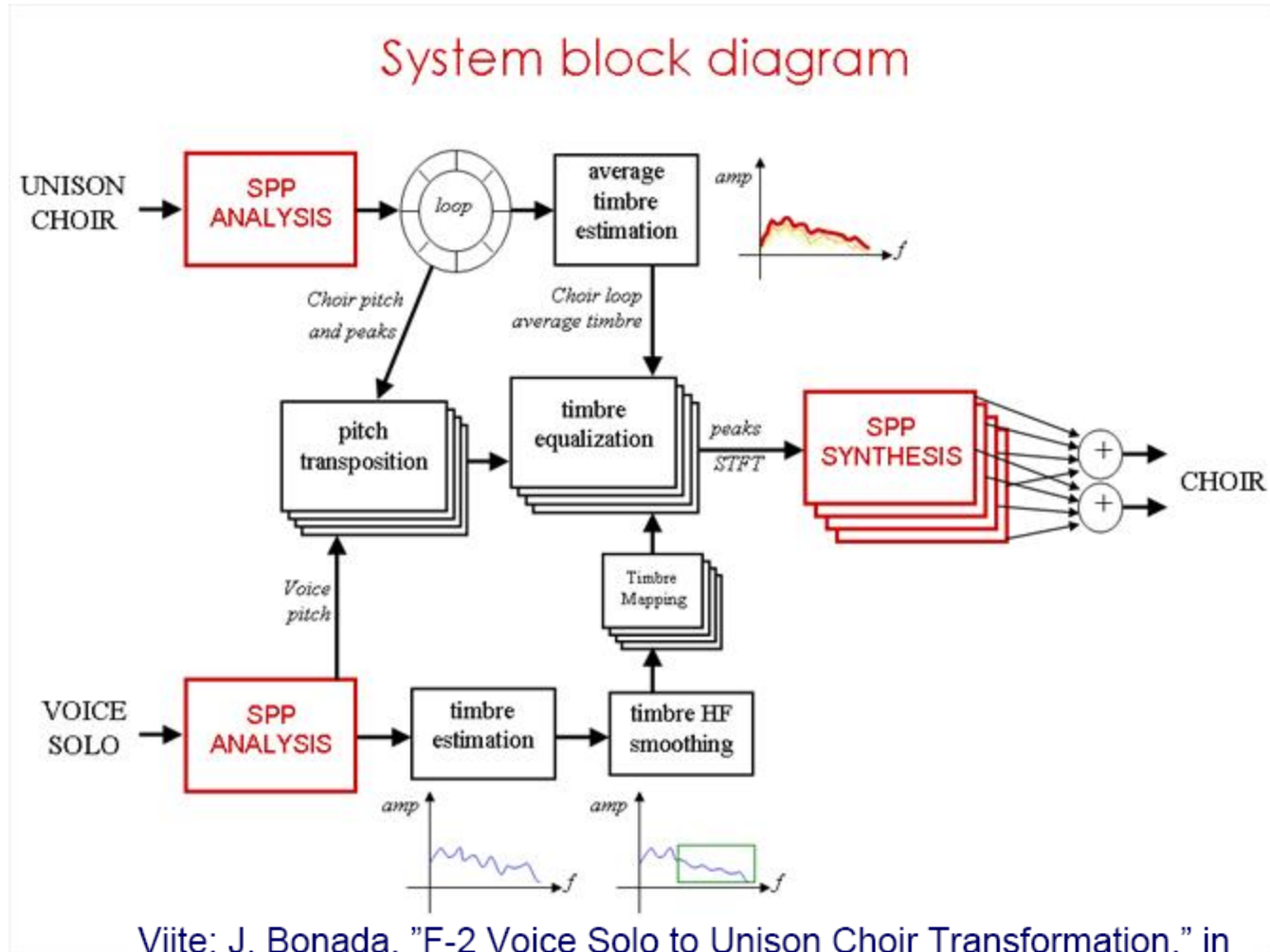
- Vibrato: blend = 0, feedback = 0
- Flanger: hilistus < 10 ms
- Dupleerimine (*doubling*):  
blend = feedforward gain,  
feedback gain = 0,  
hilistus > 10 ms; juhusliku  
modulatsiooniga
- Kaja (*echo*): feedback ja feedforward gain = 0; hilistus > 50 ms; ei  
modulatsiooni
- Stereoefektid: hilistuse modulatsioonid eri faasis eri kanalites



# Muid efekte (2)

Choruse edasiarendatud versioon:

- laulja häälest võetakse põhisagedus
- tämber (spekter) võetakse koori salvestusest
- kombineeritakse spektri modelleerimist kasutades



Viite: J. Bonada, "F-2 Voice Solo to Unison Choir Transformation," in Proceedings of 118th Audio Engineering Society Convention, Barcelona, Spain.

Ääninäytteet: <http://www.iaa.upf.es/~jboni/voice2chorus/>

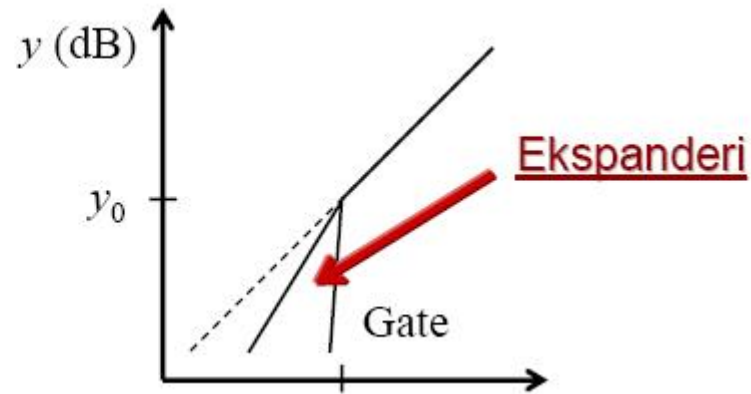
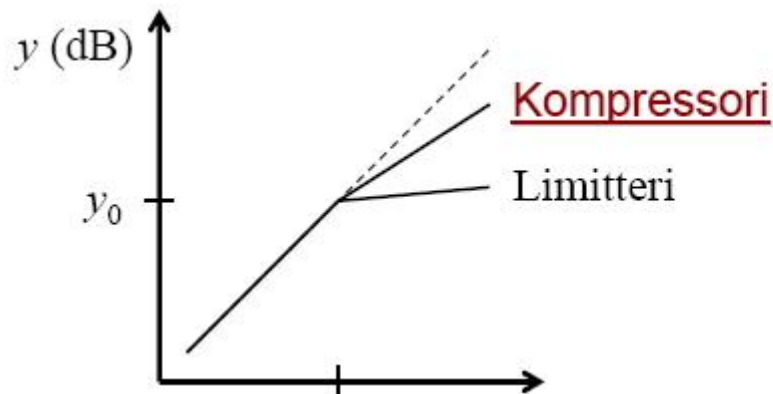
# Kompressorid ja ekspanderid

Kompressor on dünaamilise skaala kitsendaja.

- Kasutatakse raadiosalvestustes, pop-muusikas
- Erijuht on piiraja (*limiter*), mis lõikab signaali ära teatud tasemest alates

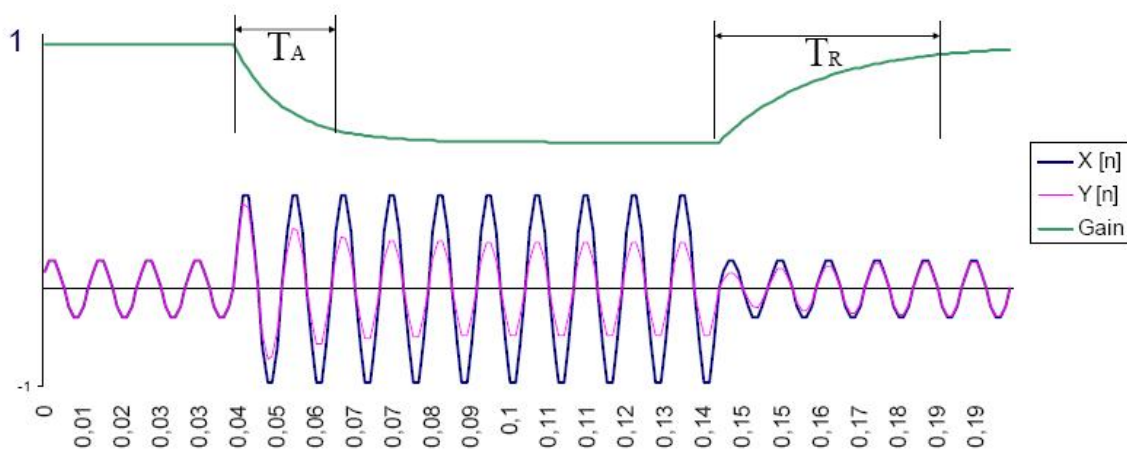
Ekspander on dünaamilise skaala laiendaja

- Kasutatakse näiteks pillihelide sumbuvuse kiirendamiseks
- Erijuht on ns. värav (*gate*), mis nullib signaali teatud tasemest allpool



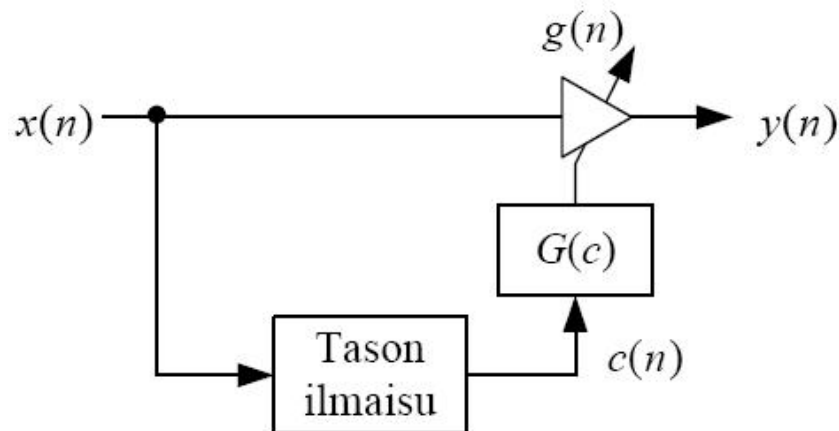
# Ajas muutuv kompressioon

Signaali amplituudi vähendamine toimib eksponentsiaalse aja-akna järgi. Aja-aknal on kaks parameetrit: tõusuaeg ja languse aeg:



Ajas muutuva kompressiooni võime realiseerida järgmise struktuuri abil, mis koosneb:

- taseme detektor (arvutab mähisjoont, vt. eelmine loeng)
- automaatne võimenduse reguleerimine



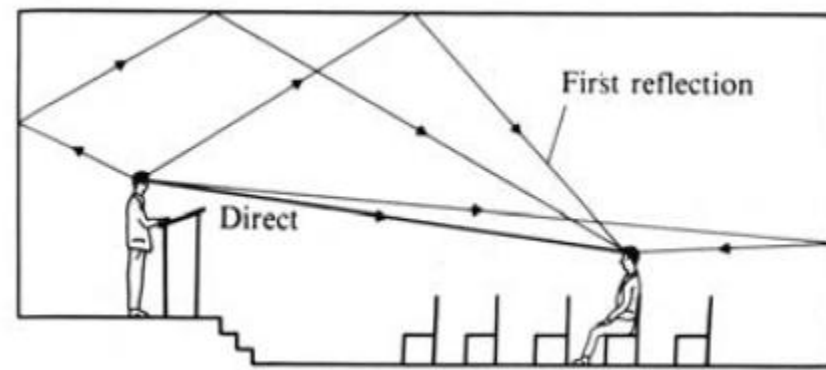
# Muid efekte

- Sageduse tõstja/madalaja
- Wah-wah  
resonaatori või madalpääsfiltri kesk- või lõikesagedust moduleeritakse LFOga
- Enhancer  
Heli 'heledust' lisatakse tõstes esile harmoonilisi
- Moonutus (*distortion*)  
signaali tasemest sõltuv võimendus (lainekuju moonutamine näiteks sigmoid-funktsiooniga)
- Cher  
laulus 'Believe' kasutatud efekt (Believe 1998)

jne ...



# Kaja / reverberatsioon

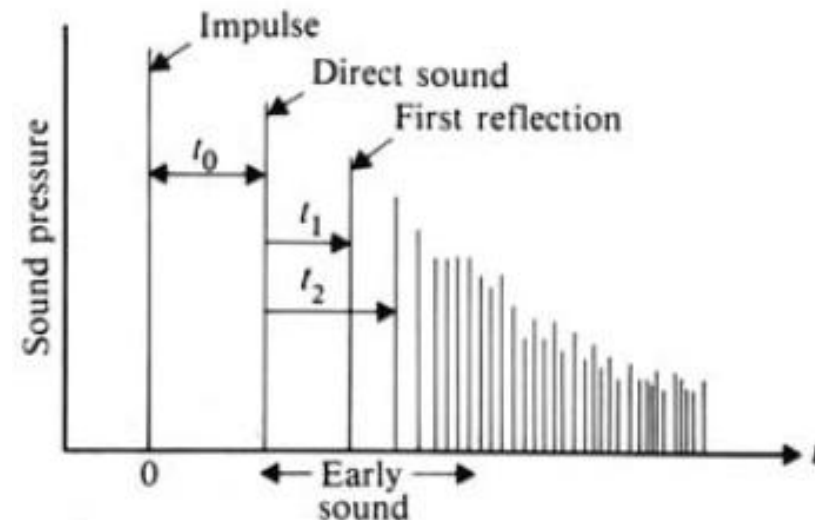


## Kaks kasutusvaldkonda

- Lisada helile ruumilist efekti
  - studios salvestatud materjal ilma reverberatsioonita on 'kuiv'
  - kõrv on harjunud vastu võtma heli, millel on reverberatsioon
- Simuleerida ruumi akustikat
  - teatud ruumi akustika simuleerimine
  - virtuaaltegelikkus – ruumid, mida pole olemas või mida pole võimalik füüsiliselt ehitada (näiteks muutuvad ruumid)

## Ruumi impulsskarakteristik (impulsskaja):

- otse tulev heli (heli kiirus u. 330 m/s)  
hilistus tavaliselt 20...200 ms
- nn. varased peegeldused  
(*early reflections*)  
u. 50...100 ms peale otse tulevat heli
- reverberatsioon



# Konvolutsioon ruumi impulsskajaga

Kõige autentsemalt saame ruumi reverberatsiooni simuleerida arvutades helisignaali ja ruumis salvestatud impulsskaja vahelise konvolutsiooni.

Probleemiks on impulsskaja pikkus:

- Näiteks 2 sekundilise reverberatsiooni lisamiseks on vaja iga diskreedi kohta  $2 * 88200 = 176400$  korrutustehet (stereona). Iga sekundi materjali töötlemiseks on vaja  $88200 * 176400 \cong 15558000000$  korrutustehet

Autentne, kuid võimalustelt piiratud.

Arvutuslikku mahtu on võimalik vähendada arvutades konvolutsiooni sageduse tasandil: ruumi impulsskaja ja signaalilõigu Fourier' teisenduste korrutisena. Aja tasandile tagasi pääseme Fourier' pöördteisenduse abil.

- eelis: impulsskaja Fourier' teisendus arvutatakse vaid ühel korral
- puudus: põhjustab pika hilistuse; hilistus on  $2 * \text{FFT lõigu pikkus}$

Kolmas variant: varased peegeldused realiseeritakse FIR-filtrina ja reverberatsioon FFT abil. Vähendab hilistust, arvutusmahukam kui tervikuna FFT abil realiseeritud versioon.

# Ruumi impulsskaja simuleerimine

Varased peegeldused modelleeritakse harva FIR-filtri abil. Harva filtri puhul vaid teatud impulsskarakteristiku diskreedid on nullist erinevad.

Reverberatsiooni impulsskaja sarnaneb müraga. Seda võib modelleerida impulsskajaga, mille diskreedid saadakse juhuslike arvude generaatorilt

- kasutatakse madalpääsfiltreeritud müra
- müra sumbub ekponentsiaalselt
- arvutusmahukas meetod

Efektiivsem meetod reverberatsiooni tekitamiseks on IIR filtrite kasutamine. Kasutatakse pikki hilistusahelaid. Reverberatsioon-filtrite disainimine on populaarne harrastus

- Schroeder 1962: Natural sounding artificial reverberation. *JAES* 10(3)
- Moorer 1979: About this reverberation business *Comp Music Journal* 3(2)

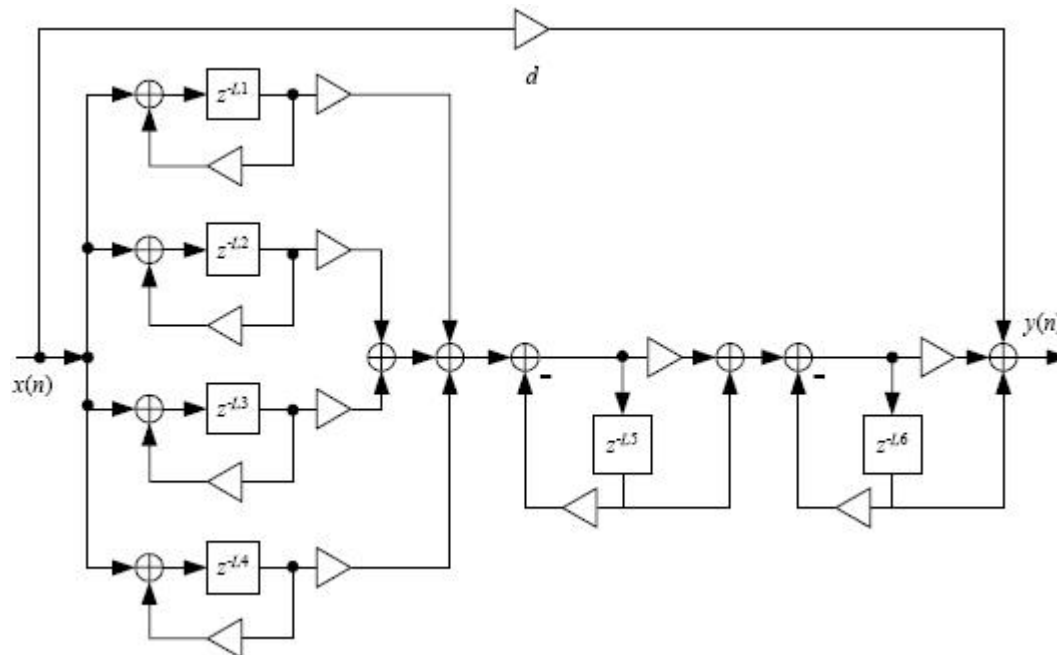
J. Dattorro, "Effect design—part 1: Reverberator and other filters," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 45, no. 9, pp. 660-684, Sept. 1997. Internet-osoiteessa: <http://www.stanford.edu/~dattorro/research.html>



# Schroederi algoritm

Schroederi algoritm oli esimene kaja/reverberatsiooni algoritm. See koosneb:

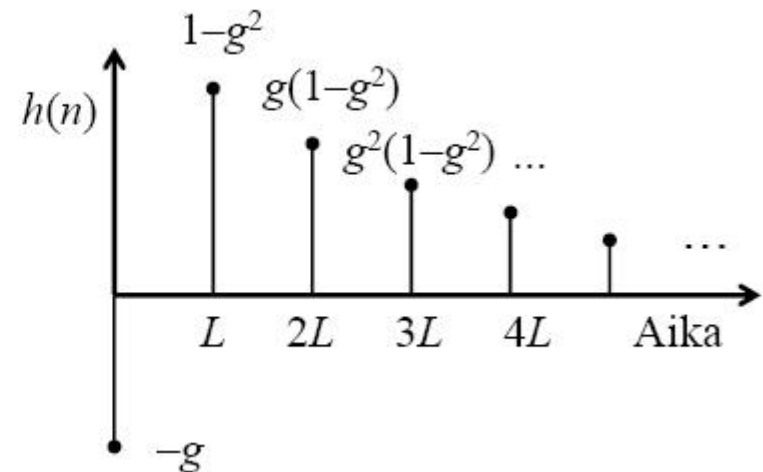
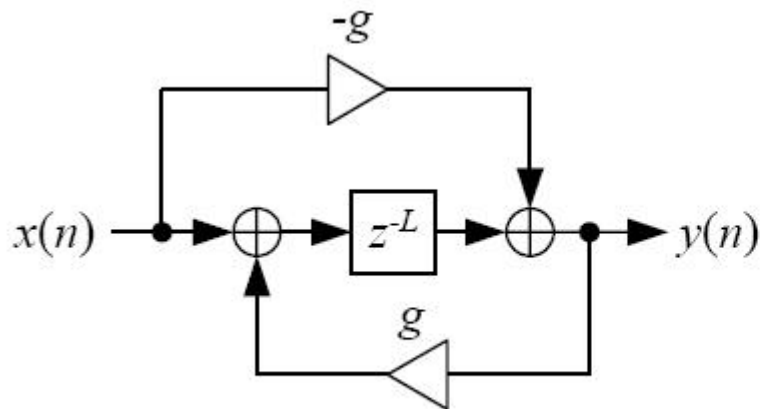
- mitmeid kammfiltreid paralleelselt
  - erinevad hilistused
  - tagasiside võimendus  $< 1$
- paar *all-pass* filtrit jadamisi
  - põhjustavad impulsskarakteristiku laienemise ajas



# Schroederi algoritm (2)

Schroeder leiutas joonisel oleva *all-pass* filtri aastal 1961 lisades kammfiltrile negatiivse *forward*-ahela

- amplituudikarakteristikust tuli tasane
- impulsskarakteristik on sama pika kestusega kui kammfiltril



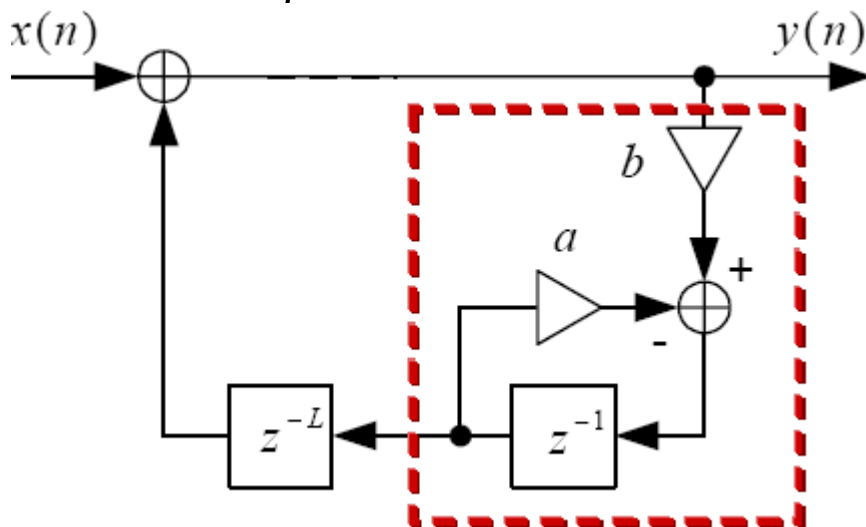
# Mooreri algoritm

Moorer lisas 1. järku madalpääsfiltri kammfiltri taqasisideaehelasse.

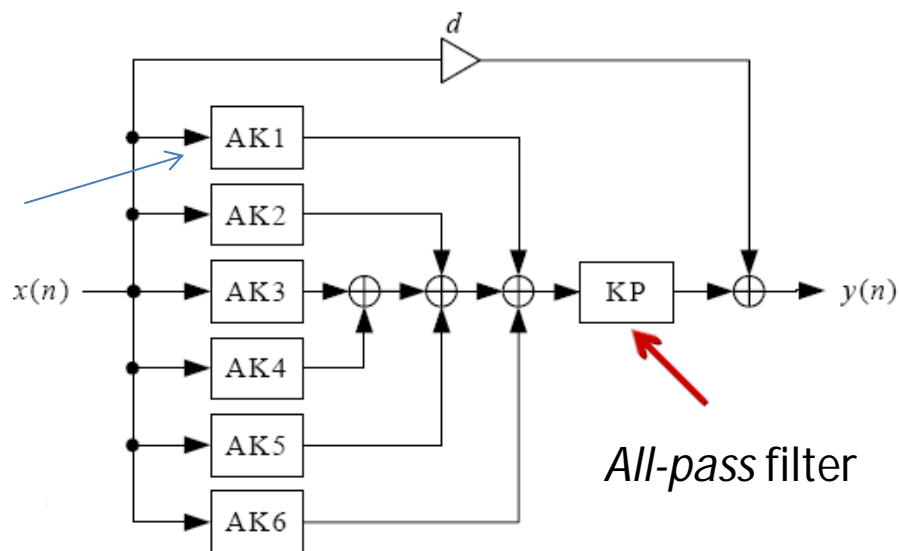
Madalpääskammfilter:

- pikk impulsskarakteristik
- Kõrged sagedused sumbuvad kiiremini kui madalad
- Loomulikum ja vähem metalne kõla

Soovitav vähemalt 6 madalpääs-Kammfiltrit paralleelselt:



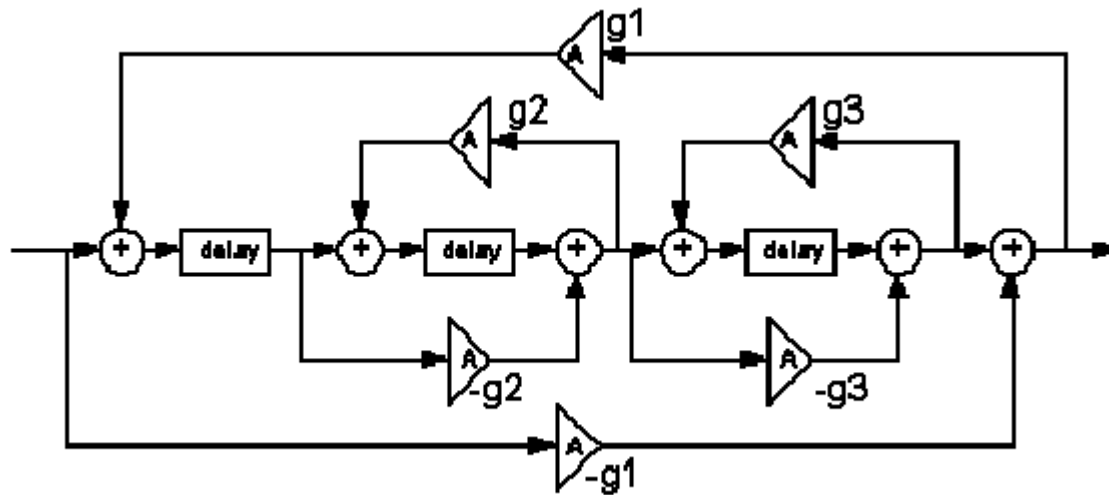
Madalpääskammfilter



# Üksteise sees olevad *all-pass* filtrid

Gardner pakkus välja joonisel oleva struktuuri:

- *All-pass* filtri hilistusahel asendatakse *all-pass* filtriga
- *All-pass* omadus säilib, aga impulsskarakteristik on tihedam



W. G. Gardner, "Efficient convolution without input-output delay," *J. Audio Eng. Soc.*, vol. 43, no. 3, pp. 127-136, March 1995.

# Dattorro algorithm

<https://ccrma.stanford.edu/~dattorro/>

