

Efeitos Digitais de Áudio: Filtros e retardos

Flávio Luiz Schiavoni

USP - University of São Paulo - Brazil
Orientador: Professor Dr. Marcelo Gomes de Queiroz
Computer Music Research Group - IME/USP
<http://compmus.ime.usp.br>

26 de março de 2012

Relembrando

Todo sinal tem duas representações:

- Domínio do tempo
- Domínio da frequência

Filtros

- FIR (resposta ao impulso finita)
- IIR (resposta ao impulso infinita)

Relembrando

Soma de dois sinais:

- Acoplamento
- Atenuação
- Cancelamento

Depende sempre da fase dos sinais.

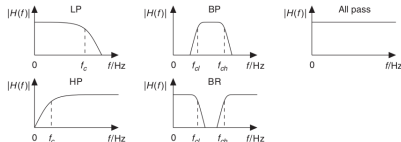
Como alterar a fase de um sinal?

Atraso

(Exemplo em Octave - Obrigado ao André!)

Filtros

- Low pass: Graves abaixo da frequência de corte
- High pass: Agudos acima da frequência de corte
- Band pass: Uma faixa entre f_c inicial e f_c final
- Band reject: frequências abaixo da f_c inicial e acima da f_c final
- All pass: Deixa passar tudo com atraso de fase



Classificação de filtros

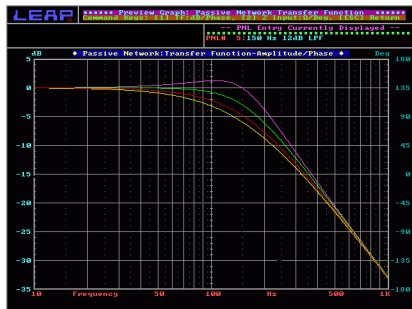
Filtros

Parâmetros:

- Frequência de corte (f_c)
- fator Q (inverso do bandwidth - largura de banda)

Depende da ordem do filtro. Filtros de primeira ordem possuem apenas F_c e o slope é fixo.

Slope



Slope (Fonte: <http://www.bcae1.com/xoorder.htm>)

Chebyshev: $Q = 1$ Butterworth: $Q = 0.707$ Bessel: $Q = 0.58$
 Linkwitz-Riley: $Q = 0.49$

Filter

Utilização:

- Cortar graves indesejáveis
- Crossover

Muitas vezes o filtro de passa alta aparece em equipamentos com frequência e slope fixo.

Filter

Utilização:

- Cortar graves indesejáveis
- Crossover

Muitas vezes o filtro de passa alta aparece em equipamentos com frequência e slope fixo.

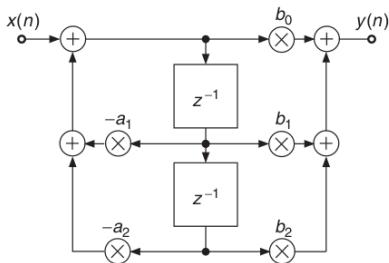
Podem ser implementado a partir de um Allpass

Equação canônica do AP Filter

$$x_h(n] = x(n) - a_1x_h(n - 1) - a_2x_h(n - 2)$$

$$y(n) = b_0x_h(n) + b_1x_h(n - 1) + b_2x_h(n - 2)$$

equação canônica



Diagrama

Como implementar um LP a partir de um AP?

$$K = \tan(\pi f_c / f_s)$$

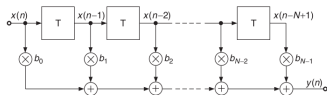
$$H(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2}}$$

	b_0	b_1	a_1
Lowpass	$K/(K+1)$	$K/(K+1)$	$(K-1)/(K+1)$
Highpass	$1/(K+1)$	$-1/(K+1)$	$(K-1)/(K+1)$
Allpass	$(K-1)/(K+1)$	1	$(K-1)/(K+1)$

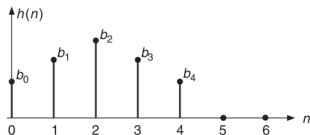
Primeira ordem e segunda ordem

	b_0	b_1	b_2	a_1	a_2
Lowpass	$\frac{K^2 Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2K^2 Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$
Highpass	$\frac{Q}{K^2 Q + K + Q}$	$-\frac{2Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$
Bandpass	$\frac{K}{K^2 Q + K + Q}$	0	$-\frac{K}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$
Bandreject	$\frac{Q \cdot (1 + K^2)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{Q \cdot (1 + K^2)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$
Allpass	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	1	$\frac{2Q \cdot (K^2 - 1)}{K^2 Q + K + Q}$	$\frac{K^2 Q - K + Q}{K^2 Q + K + Q}$

Filtro FIR



$$\begin{aligned}
 y(n) &= \sum_{i=0}^{N-1} b_i \cdot x(n-i) \\
 &= b_0x(n) + b_1x(n-1) + \dots + b_{N-1}x(n-N+1),
 \end{aligned}$$



Também possível por FFT.
 Equalização sem distorção de fase.

Equalizadores

Dois tipos:

- Shelving (F_c e Ganho)
 - Low Shelving
 - High Shelving
- Peak (F_c , ganho e Q)
 - Gráfico
 - Paramétrico

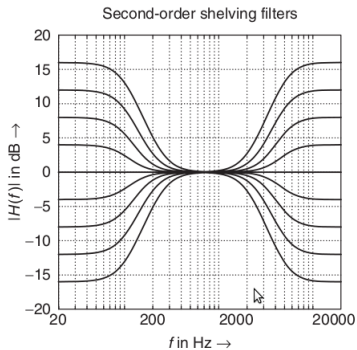
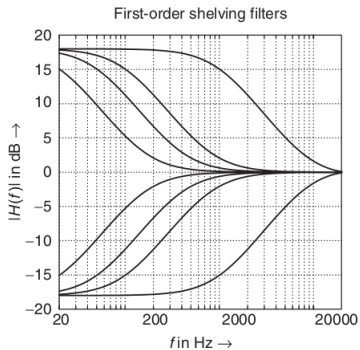
Equalizadores

Shelving: Botão de grave / agudo em rádios de carro.

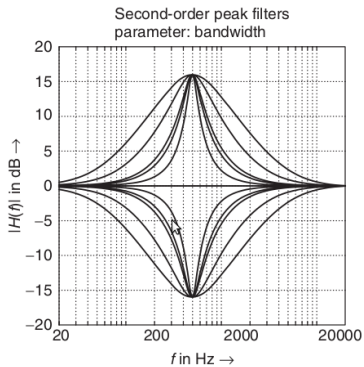
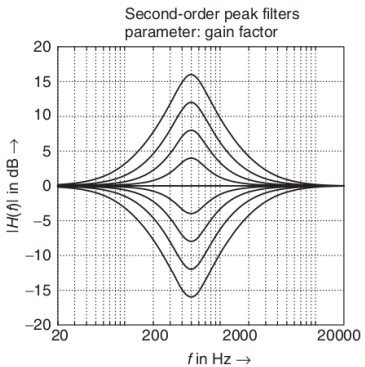
Peak:



Shelving



Peak

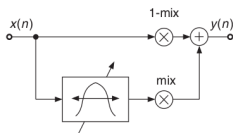


Wah-wah

BandPass com uma frequência central variável e uma largura de banda pequena.

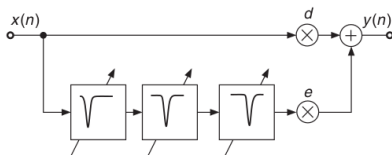
Soma-se com o sinal original.

Movendo o pedal, alteramos a f_c do filtro passabanda



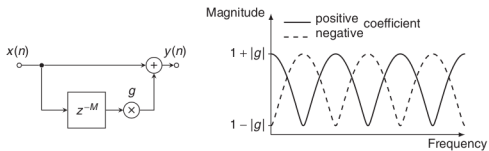
Phaser

Filtro BR somado ao sinal original.
Oscilador para alterar a Fc.

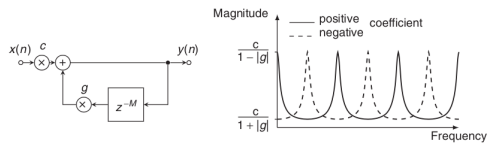


Filtro Pente

FIR Comb

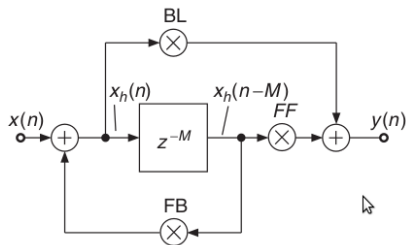


IIR Comb



Filtro Pente

Universal Comb



	BL	FB	FF
FIR comb filter	1	0	g
IIR comb filter	c	g	0
Allpass	a	$-a$	1
Delay	0	0	1

Efeitos baseados em atraso

- Vibrato: variação de periódica de pitch
- Flanger, Chorus, Echo, Reverb...

	BL	FF	FB	DELAY	DEPTH	MOD
Vibrato	0	1	0	0 ms	0–3 ms	0.1–5 Hz sine
Flanger	0.7	0.7	0.7	0 ms	0–2 ms	0.1–1 Hz sine
(White) Chorus	0.7	1	(-0.7)	1–30 ms	1–30 ms	Lowpass noise
Doubling	0.7	0.7	0	10–100 ms	1–100 ms	Lowpass noise

Obrigado!

Dúvidas?

Computer Music Research Group - IME/USP

<http://compmus.ime.usp.br>

fls@ime.usp.br