



北京交通大学

数字信号处理

Digital Signal Processing

主讲人：陈后金

电子信息工程学院



利用MATLAB实现FIR DF窗函数法和频率取样法

- ◆ 利用MATLAB实现窗函数法
- ◆ 利用MATLAB实现频率取样法



利用MATLAB实现FIR DF窗函数法和频率取样法

- ◆ 利用MATLAB实现窗函数法
- ◆ 利用MATLAB实现频率取样法



利用MATLAB实现窗函数法

- ※ 常用窗函数及其MATLAB实现
- ※ 窗函数法设计的MATLAB实现
- ※ 多通带滤波器的MATLAB实现



常用窗函数及其MATLAB实现

窗函数法设计FIR滤波器时，需要对 $h_d[k]$ 加窗截短，得到有限长序列 $h[k]$

$$h[k] = h_d[k] w_N[k]$$

常用窗函数 $w_N[k]$:

Hanning窗
Hamming窗
Blackman窗
Kaiser窗

MATLAB实现:

```
w=hanning(N)  
w=hamming(N)  
w=blackman(N)  
w=kaiser(N,beta)
```

N: 窗函数的长度

beta: 控制Kaiser窗形状的参数

w: 长度为 N 的列向量，给出窗函数 N 点的取值。



例 利用I型线性相位滤波器设计满足下列指标的FIR高通滤波器。
 $\Omega_p=0.6\pi$ rad, $\Omega_s=0.4\pi$ rad, $A_p \leq 0.3\text{dB}$, $A_s \geq 40\text{dB}$

分析: 由阻带衰减指标 $A_s=40\text{dB}$, 可选择Hann窗设计

关键函数: $N=\text{ceil}(6.2/(W_p-W_s))$; 求出滤波器长度 N

$w=\text{hanning}(N)$; 设计hann窗

$hd=-(W_c/\pi)*\text{sinc}(W_c*(k-0.5*M)/\pi)$; 理想低通滤波器单位脉冲响应

$hd(0.5*M+1)=hd(0.5*M+1)+1$; 转换为高通滤波器

$h=hd.*w$; 得到加窗后的单位脉冲响应

$\text{mag}=\text{freqz}(h,[1],\omega)$; 求频率响应特性

关键参数: $W_p=0.6*\pi$; $W_s=0.4*\pi$; $A_p=0.3$; $A_s=40$;

低通滤波过渡带宽度为 W_p-W_s ,

根据hann窗近似过渡带宽度为 $6.2*\pi/N$,可求出滤波器长度 N

滤波器阶数 $M=N-1$

截频 W_c 通常取 $W_c=(W_p+W_s)/2$



例 利用I型线性相位滤波器设计满足下列指标的FIR高通滤波器。

$$\Omega_p = 0.6\pi \text{ rad}, \Omega_s = 0.4\pi \text{ rad}, A_p \leq 0.3\text{dB}, A_s \geq 40\text{dB}$$

解:

%Hann窗设计FIR高通

Wp=0.6*pi;Ws=0.4*pi;Ap=0.3;As=40;

N=ceil(6.2*pi/(Wp-Ws));

%确定滤波器阶数,并使滤波器为I型

N=mod(N+1,2)+N;

M=N-1 %阶数M

w=hanning(N); %选用Hann窗

Wc=(Wp+Ws)/2; %理想高通截频

k=0:M;

hd=-(Wc/pi)*sinc(Wc*(k-0.5*M)/pi);

hd(0.5*M+1)=hd(0.5*M+1)+1;

h=hd.*w;

omega=linspace(0,pi,512);

%产生包含了512个点值的0到 π 数组

mag=freqz(h,[1],omega); %求频率响应

%画出增益响应

plot(omega/pi, 20*log10(abs(mag)))

xlabel('Normalized frequency');

ylabel('Gain,db'); figure;

%画出幅度响应

plot(omega/pi, (abs(mag)), 'linewidth', 3); grid on

xlabel('Normalized frequency');

ylabel('A(\Omega)');

thet2=unwrap(angle(mag)); %求相位响应

figure;

%画出相位响应

plot(omega/pi, thet2, 'LineWidth', 2); grid on;

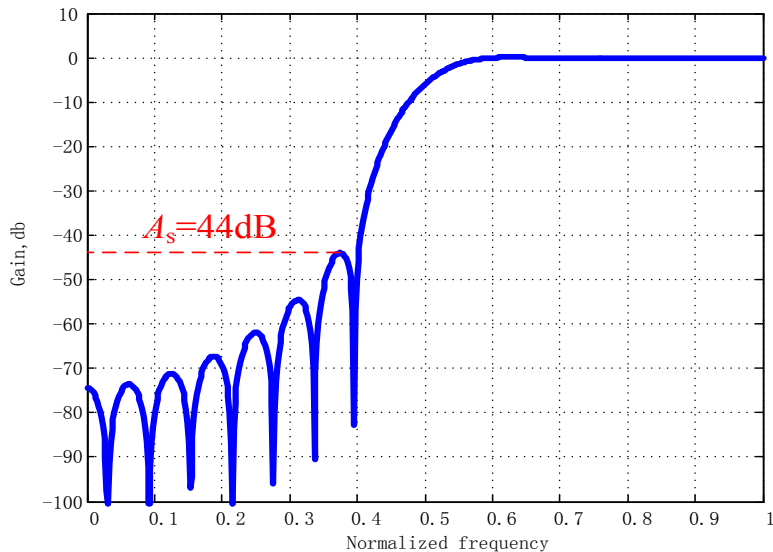
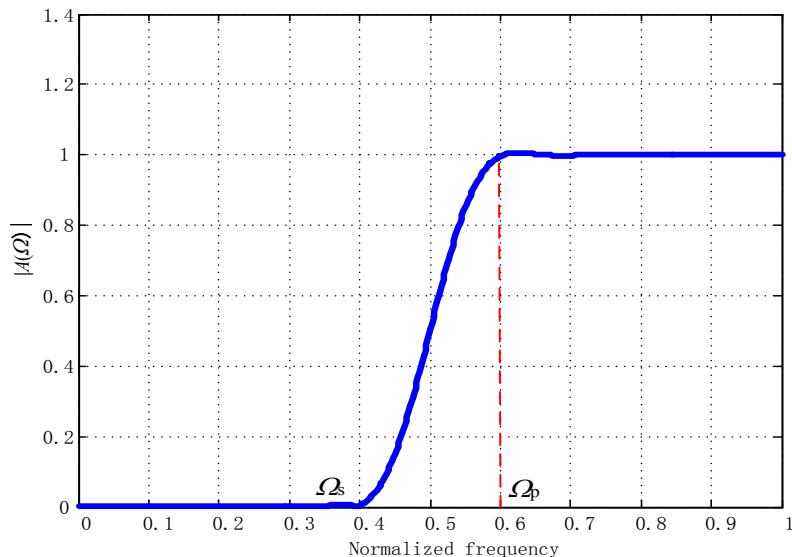
xlabel('Normalized frequency');

ylabel('Phase Frequency'); grid on



例 利用I型线性相位滤波器设计满足下列指标的FIR高通滤波器。
 $\Omega_p=0.6\pi$ rad, $\Omega_s=0.4\pi$ rad, $A_p\leq 0.3\text{dB}$, $A_s\geq 40\text{dB}$

解:



$$M=30, A_p=0.055\text{dB}, A_s=44\text{dB}$$



利用MATLAB实现窗函数法

- ※ 常用窗函数及其MATLAB实现
- ※ 窗函数法设计的MATLAB实现
- ※ 多通带滤波器的MATLAB实现



窗函数法设计的MATLAB实现

```
h = fir1(M,Wc,'ftype',window)
```

M表示滤波器的阶数

Wc表示理想FIR滤波器的 B 个频带

ftype表示滤波器的类型，缺省值为空

window是一长度为 $M+1$ 的窗函数。

若调用时没选择窗函数，则自动使用Hamming窗

h 即是所设计FIR滤波器的 $h[k]$

ftype: {

- 空（低通）：
- ‘high’（高通）：
- ‘stop’（带阻）：
- ‘DC-0’（多带滤波器第1个频带为阻带）
- ‘DC-1’（多带滤波器第1个频带为通带）



例 利用I型线性相位滤波器和Firl函数设计满足下列指标的FIR高通滤波器。 $\Omega_p=0.8\pi$ rad, $\Omega_s=0.7\pi$ rad, $A_p\leq 0.3$ dB, $A_s\geq 40$ dB

关键函数:

$N=\text{ceil}(6.2*\pi/(W_p-W_s))$;确定滤波器长度 N

$h1=\text{firl}(M,wp0, 'ftype',\text{window})$;窗函数法设计滤波器

关键参数:

‘ftype’取'high'表示高通滤波

window取hanning(N), 使用hann窗设计

$W_p=0.8*\pi$; $W_s=0.7*\pi$; $A_p=0.3$; $A_s=40$;表示滤波器参数

高通滤波过渡带宽度为 W_p-W_s ,

根据hamming窗近似过渡带宽度为 $(6.2*\pi/N)$,可求出滤波器长度 N

滤波器阶数 $M=N-1$

截频通常取 $W_c=(W_p+W_s)/2$,取一个频带 $W_{p0}=W_c/\pi$



例 利用I型线性相位滤波器和Fir1函数设计满足下列指标的FIR高通滤波器。 $\Omega_p=0.8\pi$ rad, $\Omega_s=0.7\pi$ rad, $A_p\leq 0.3$ dB, $A_s\geq 40$ dB

解:

%fir1设计高通滤波器

Wp=0.8*pi; Ws=0.7*pi; Ap=0.3; As=40;

%确定滤波器阶数,并使滤波器为I型

N=ceil(6.2*pi/(Wp-Ws));

N=mod(N+1,2)+N;

M=N-1 %阶数M

wp0=(Wp+Ws)/2/pi; %理想高通截频

h1=fir1(M,wp0, 'high'); %高通滤波器

omega=linspace(0,pi,512);

%画幅度响应

plot(omega/pi,abs(mag),'LineWidth',2);grid on;

xlabel('Normalized frequency');ylabel('A(\Omega)');

figure;

mag=freqz(h1,1,omega); %求频率响应

%画增益响应

plot(omega/pi,

20*log10(abs(mag)),'linewidth',2);grid on;

xlabel('Normalized frequency');ylabel('Gain,db');

thet2=unwrap(angle(mag)); %求相位响应

figure;

%画相位响应

plot(omega/pi,thet2,'LineWidth',2);grid on;

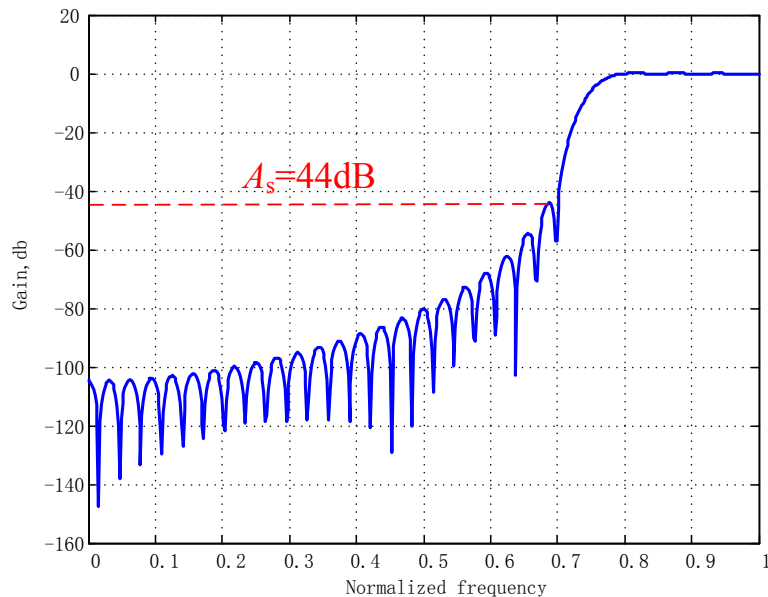
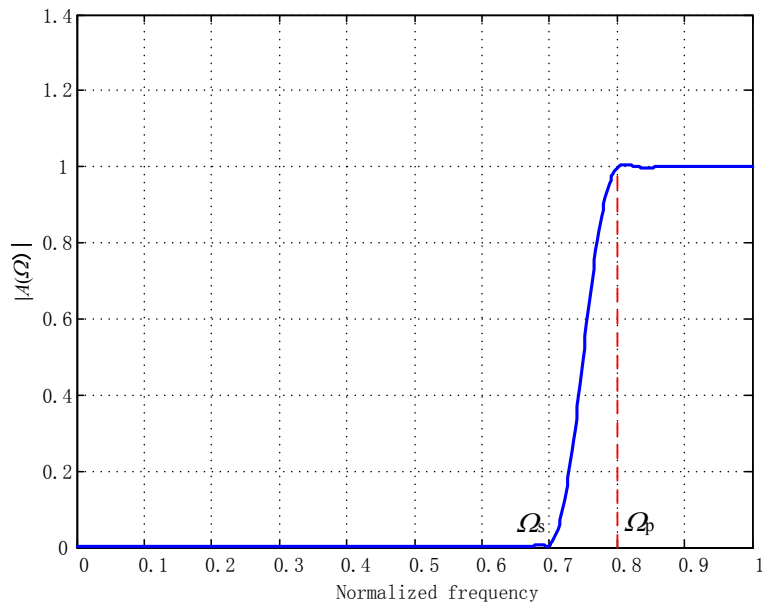
xlabel('Normalized frequency');ylabel('Phase

Frequency');



例 利用I型线性相位滤波器和Fir1函数设计满足下列指标的FIR高通滤波器。 $\Omega_p=0.8\pi$ rad, $\Omega_s=0.7\pi$ rad, $A_p\leq 0.3\text{dB}$, $A_s\geq 40\text{dB}$

解:



$$M=62, A_p=0.053\text{dB}, A_s=44\text{dB}$$



利用MATLAB实现窗函数法

- ※ 常用窗函数及其MATLAB实现
- ※ 窗函数法设计的MATLAB实现
- ※ 多通带滤波器的MATLAB实现



多通带滤波器的MATLAB实现

$[M, Wc, beta, ftype] = kaiserord(f, a, dev);$ 计算凯泽窗阶数等参数

输入量

f: 需设计的FIR滤波器 B 个频带

若FIR滤波器有4个频带,分别为 $0 \leq \Omega \leq \pi f_1$ $\pi f_2 \leq \Omega \leq \pi f_3$ $\pi f_4 \leq \Omega \leq \pi f_5$ $\pi f_6 \leq \Omega \leq \pi$

$f = [f_1 \quad f_2 \quad f_3 \quad f_4 \quad f_5 \quad f_6];$

a: 需设计的FIR滤波器 B 个频带的幅度值

若FIR滤波器在4个频带中的幅度值为 $a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4$ (通带取1, 阻带取0)

$a = [a_1 \quad a_2 \quad a_3 \quad a_4];$

dev: 需设计的FIR滤波器 B 个频带的波动值

若FIR滤波器在4个频带中的波动 $\delta_1 \quad \delta_2 \quad \delta_3 \quad \delta_4$

$dev = [d_1 \quad d_2 \quad d_3 \quad d_4];$



多通带滤波器的MATLAB实现

$[M, Wc, beta, ftype] = \text{kaiserord}(f, a, dev);$ 计算凯泽窗阶数等参数

输出量

M: 估计的待设计FIR滤波器阶数

Wc: 理想FIR滤波器的 B 个频带

beta: kaiser的参数

ftype: { 空 (低通) :
 'high' (高通) :
 'stop' (带阻) :
 'DC-0' (多带滤波器第1个频带为阻带)
 'DC-1' (多带滤波器第1个频带为通带)

$h = \text{fir1}(M, Wc, ftype, \text{kaiser}(M+1, beta))$

输入量

f: 需设计的FIR滤波器 B 个频带

a: 需设计的FIR滤波器 B 个频带的幅度值
(通带取1, 阻带取0)

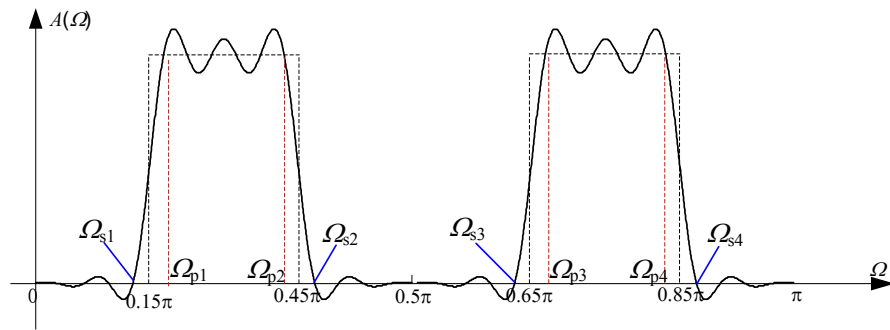
dev: 需设计的FIR滤波器 B 个频带的波动值

获得所设计FIR滤波器的 $h[k]$



例 试用Kaiser窗设计满足下列指标的有2个通带FIR滤波器

$$\Omega_{s1}=0.1\pi \text{ rad}, \Omega_{p1}=0.2\pi \text{ rad}, \Omega_{p2}=0.4\pi \text{ rad}, \Omega_{s2}=0.5\pi \text{ rad}, \Omega_{s3}=0.6\pi \text{ rad}, \\ \Omega_{p3}=0.7\pi \text{ rad}, \Omega_{p4}=0.8\pi \text{ rad}, \Omega_{s4}=0.9\pi \text{ rad}, \delta_s=0.008$$



频带示意图

关键函数： `[N,Wc,beta,ftype] = kaiserord(f,a,dev);` 用kaiserord函数估算阶数 N 和 β
`h = fir1(N,Wc,ftype,kaiser(N+1,beta));` 使用fir1函数构造滤波器
`mag=freqz(h,[1],omega);` 求频率响应

关键参数： $f=[0.1 \ 0.2 \ 0.4 \ 0.5 \ 0.6 \ 0.7 \ 0.8 \ 0.9]$; 需要设计的滤波器的频带
 $a=[0,1,0,1,0]$; 滤波器各频带的幅值
 $R_s=0.008$; $dev=R_s*ones(1,length(a))$; 阻带的波动



例 试用Kaiser窗设计满足下列指标的有2个通带FIR滤波器

$$\Omega_{s1}=0.1\pi \text{ rad}, \Omega_{p1}=0.2\pi \text{ rad}, \Omega_{p2}=0.4\pi \text{ rad}, \Omega_{s2}=0.5\pi \text{ rad}, \Omega_{s3}=0.6\pi \text{ rad}, \\ \Omega_{p3}=0.7\pi \text{ rad}, \Omega_{p4}=0.8\pi \text{ rad}, \Omega_{s4}=0.9\pi \text{ rad}, \delta_s=0.008$$

解:

`f=[0.1 0.2 0.4 0.5 0.6 0.7 0.8 0.9]; %滤波器参数`

`a=[0,1,0,1,0];Rs=0.008;%通带幅度为1，阻带幅度为0`

`dev=Rs*ones(1,length(a)); %阻带的波动`

`[N,Wc,beta,ftype] = kaiserord(f,a,dev); %用kaiser函数估算阶数N和参数beta`

`h = fir1(N,Wc,ftype,kaiser(N+1,beta)); %使用fir1函数构造滤波器`

`omega=linspace(0,pi,512);`

`mag=freqz(h,[1],omega); %求频率响应`

`plot(omega/pi,20*log10(abs(mag))); %画增益响应`

`xlabel('Normalized frequency');`

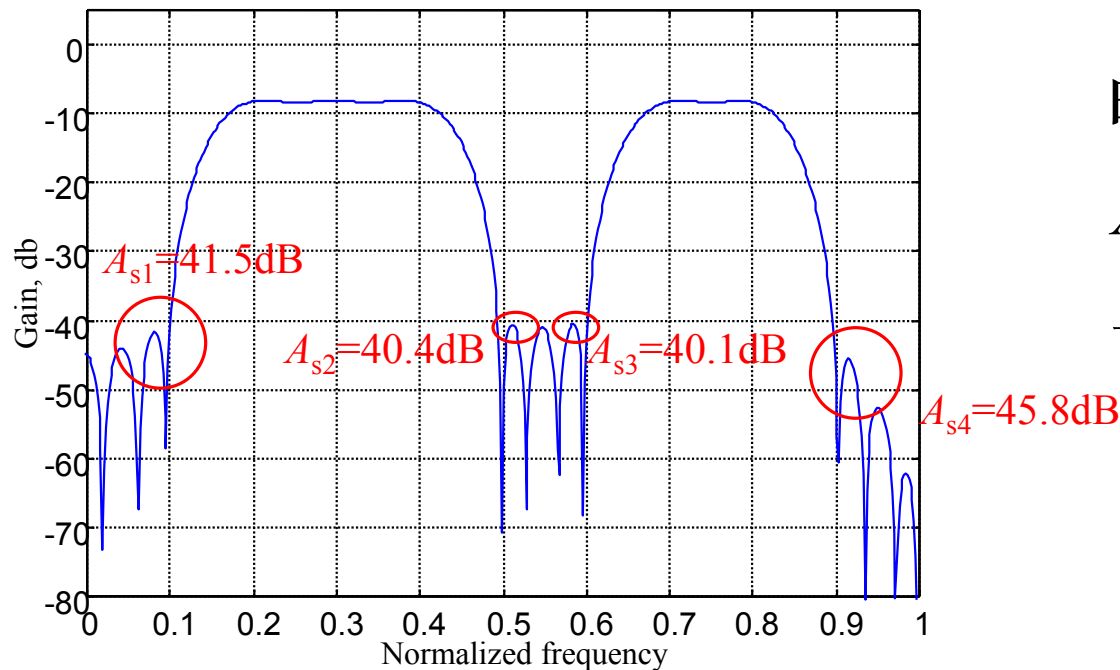
`ylabel('Gain, dB');grid;`

`axis([0 1 -80 5]); %规定坐标轴显示范围`



例 试用Kaiser窗设计满足下列指标的有2个通带FIR滤波器

$$\Omega_{s1}=0.1\pi \text{ rad}, \Omega_{p1}=0.2\pi \text{ rad}, \Omega_{p2}=0.4\pi \text{ rad}, \Omega_{s2}=0.5\pi \text{ rad}, \Omega_{s3}=0.6\pi \text{ rad}, \\ \Omega_{p3}=0.7\pi \text{ rad}, \Omega_{p4}=0.8\pi \text{ rad}, \Omega_{s4}=0.9\pi \text{ rad}, \delta_s=0.008$$



由设计指标

$$A_s = -20 \lg \delta_s = 40 \text{ dB}$$

可知满足设计要求



利用MATLAB实现窗函数法和频率取样法

- ◆ 利用MATLAB实现窗函数法
- ◆ 利用MATLAB实现频率取样法



利用MATLAB实现频率取样法

1. 根据滤波器频率响应确定取样点上的值 $H_d[m]$
2. 对 $H_d[m]$ 做 $M+1$ 点IDFT即可得到 $h[k]$ 。

过渡点 \longrightarrow 在过渡带 $[\Omega_p, \Omega_s]$ 之间设置 \longrightarrow 过渡点幅度值



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。

分析：频率取样法 无过渡点

关键函数：

求出采样点对应的频率

$W_m=2*\pi*m./(M+1);$

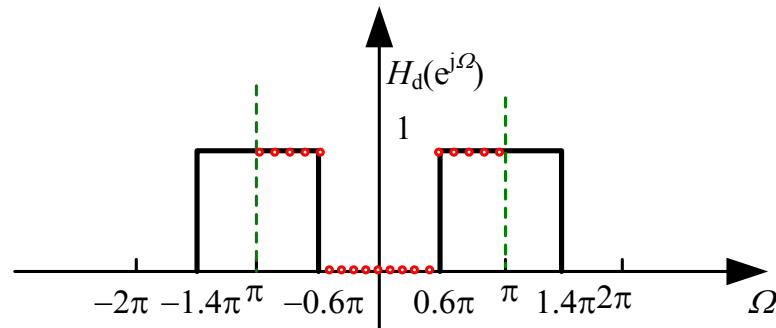
设置为高通

$Ad=double([W_m \geq W_p]);$

确定滤波器在取样点上的值

$H_d=Ad.*\exp(-j*0.5*M*W_m);$

$H_d=[H_d \text{ conj}(\text{fliplr}(H_d(2:\text{end})))];$ 由 H_d 共轭对称特性确定在 $[M/2, M]$ 范围内的值



关键参数：

$M=32; W_p=0.6*\pi; m=0:M/2; M$ 为滤波器阶数， m 为通带上的采样点



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。

解：

%用频率取样法设计I型高通滤波器

M=32; Wp=0.6*pi; m=0:M/2; %定义滤波器参数，m为通带上的采样点

Wm=2*pi*m./(M+1); %采样点对应的频率

Ad=double([Wm>=Wp]); %设置为高通

Hd=Ad.*exp(-j*0.5*M*Wm); %确定滤波器在取样点上的值

Hd=[Hd conj(fliplr(Hd(2:end)))]; %由Hd的共轭对称

特性确定它在[M/2,M]范围内的值

h=real(ifft(Hd)); %离散傅里叶反变换并取实数部分

w=linspace(0.1,pi,1000);

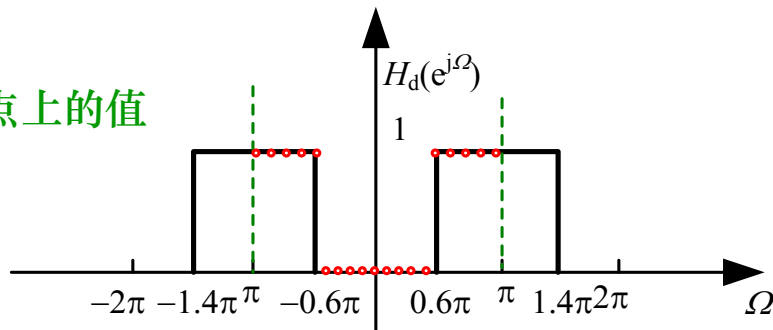
H=freqz(h,[1],w); %求频率响应

plot(w/pi,(abs(H)), 'linewidth',3); grid; %画出幅度响应

xlabel('\Omega/\pi'); ylabel('A(\Omega)');

figure; plot(w/pi,20*log10(abs(H)), 'linewidth',3); grid; %画出增益响应

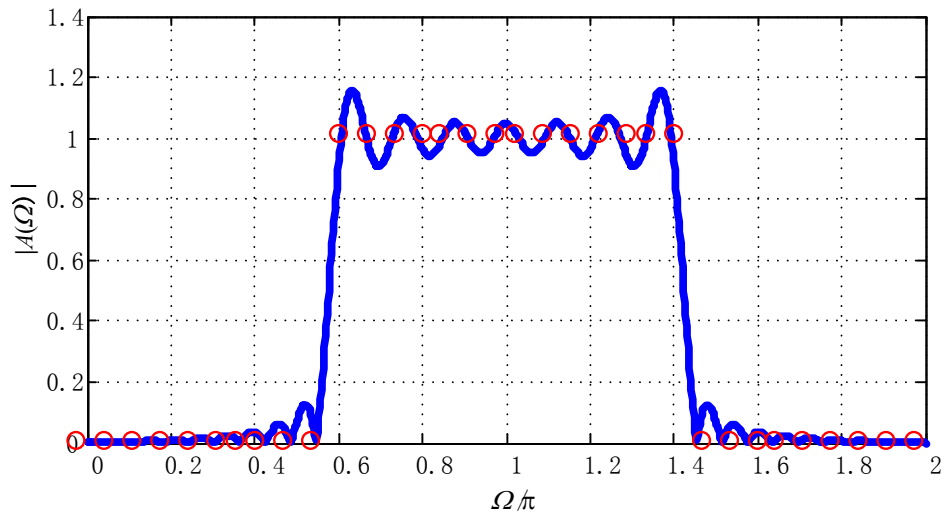
xlabel('Normalized frequency'); ylabel('Gain, dB');



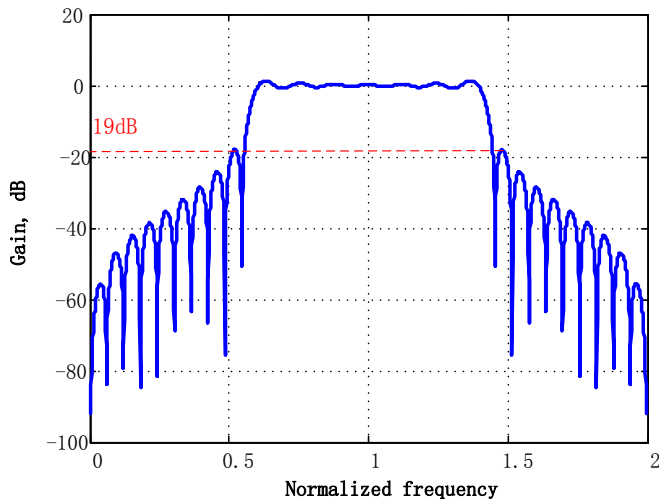
取样点示意



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。



幅度响应



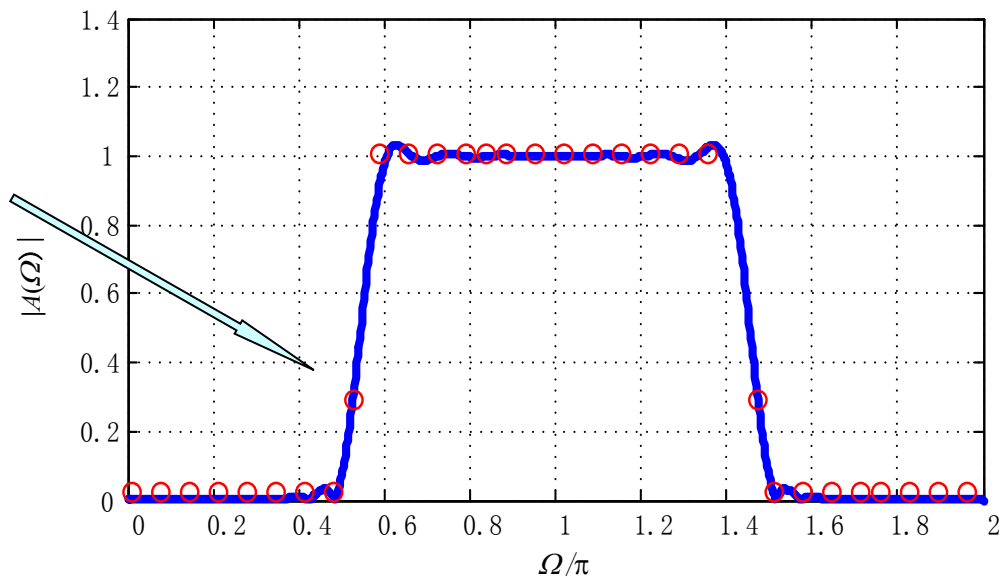
增益响应

$$M=32 \quad A_p=0.8473\text{dB}, \quad A_s=19\text{dB}$$



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。

设置一个过渡点后频率取样法设计的高通滤波器幅度函数。



增加两条语句：

```
mtr=ceil(Wp*(M+1)/(2*pi));  
Ad(mtr)=0.28; %设置过渡点值为0.28
```



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。

分析：频率取样法 有过渡点

关键函数：

求出采样点对应的频率

$$W_m = 2\pi m / (M+1);$$

求出通带截频对应的采样点，并向上取整

$$m_{tr} = \text{ceil}(W_p * (M+1) / (2\pi));$$

设置为高通

$$Ad = \text{double}([W_m \geq W_p]);$$

确定滤波器在采样点上的值

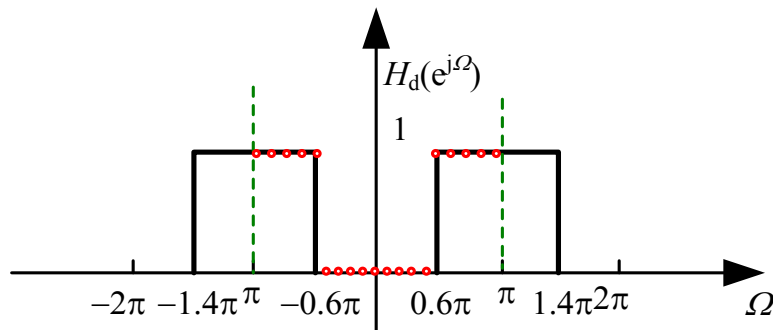
$$H_d = Ad * \exp(-j * 0.5 * M * W_m);$$

$H_d = [H_d \text{ conj}(\text{fliplr}(H_d(2:\text{end})))]$; 由 H_d 共轭对称特性确定在 $[M/2, M]$ 范围内的值

关键参数：

$M=32; W_p=0.6\pi$; $m=0:M/2$; M 为滤波器阶数， m 为通带上的采样点

$Ad(m_{tr})=0.28$; 根据实验选择合适的过渡点值





例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。

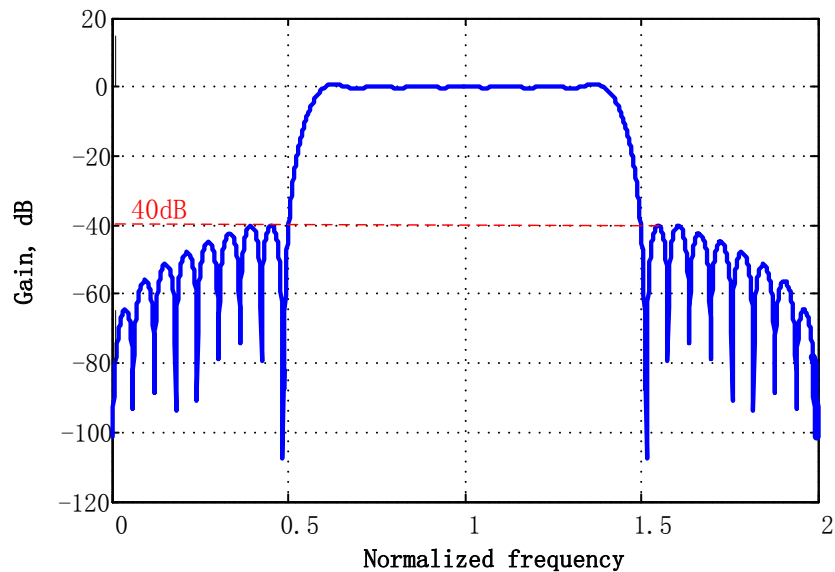
解：

设置一个
过渡点

```
M=32;Wp=0.6*pi; m=0:M/2; %定义滤波器参数，m为通带上的采样点
Wm=2*pi*m./(M+1); %采样点对应的频率
mtr=ceil(Wp*(M+1)/(2*pi)); %求出通带截频对应的采样点，并向上取整
Ad=double([Wm>=Wp]);%设置为高通
Ad(mtr)=0.28; %设置过渡点
Hd=Ad.*exp(-j*0.5*M*Wm); % 确定滤波器在取样点上的值
Hd=[Hd conj(fliplr(Hd(2:end)))]; %由Hd的共轭对称特性确定它在[M/2,M]范围的值
h=real(ifft(Hd)); %离散傅里叶反变换并取实数部分
w=linspace(0.1,pi,1000);
H=freqz(h,[1],w); %求频率响应
plot(w/pi,(abs(H)), 'linewidth',3);grid; %画出幅度响应
xlabel('\Omega/\pi');ylabel('A(\Omega)');
figure;plot(w/pi,20*log10(abs(H)), 'linewidth',3);grid; %画出增益响应
xlabel('Normalized frequency'); ylabel('Gain, dB');
```



例：利用频率取样法设计 $\Omega_p=0.6\pi$ rad的I型线性相位高通数字滤波器。



$$M=32, A_p=0.43\text{dB}, A_s=40\text{dB}$$



利用MATLAB实现FIR DF窗函数法和频率取样法

谢 谢

本课程所引用的一些素材为主讲老师多年的教学积累，来源于多种媒体及同事和同行的交流，难以一一注明出处，特此说明并表示感谢！