



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滤波器优化设计

- ◆ 利用MATLAB实现优化设计
- ◆ FIR 数字滤波器设计应用举例



# 利用MATLAB实现FIR滤波器优化设计

- ◆ 利用MATLAB实现优化设计
- ◆ FIR 数字滤波器设计应用举例



例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3$ dB,  $A_s\geq 40$ dB 的 FIR 高通数字滤波器。

利用积分加权平方误差准则设计

关键函数：  $h = \text{firls}(M, f, a, w)$  调用积分加权平方误差准则设计 FIR 滤波器的函数

关键参数：阶数  $M=17$ ,  $F_p=0.6$ ,  $F_s=0.4$ ,  
高通滤波频带  $f=[0 \ F_s \ F_p \ 1]$ ,  
滤波器在  $f$  中各频带的幅度  $a=[0 \ 0 \ 1 \ 1]$ ,  
各频带的加权值相同， $w$  可缺省。

将参数代入函数  $h = \text{firls}(M, f, a, w)$ , 即  $h = \text{firls}(M, [0 \ F_s \ F_p \ 1], [0 \ 0 \ 1 \ 1]);$



例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3\text{dB}$ ,  $A_s\geq 40\text{dB}$  的FIR 高通数字滤波器。

解：利用积分加权平方误差准则设计

%根据积分加权平方误差准则设计FIR滤波器

M=17;Fp=0.6;Fs=0.4; %定义滤波器参数

h=firls(M,[0 Fs Fp 1],[0 0 1 1]); %低通滤波

w=linspace(0,pi-0.001,1000);

mag=freqz(h,[1],w); %求频率响应

plot(w/pi,abs(mag), 'LineWidth',2);grid on; %画幅度响应

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

figure;

plot(w/pi,20\*log10(abs(mag)), 'LineWidth',2);grid on; %画增益响应

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

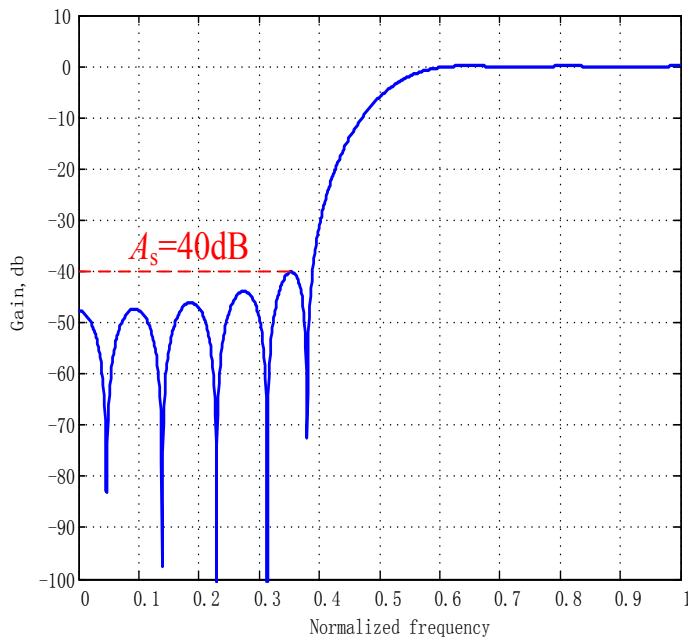
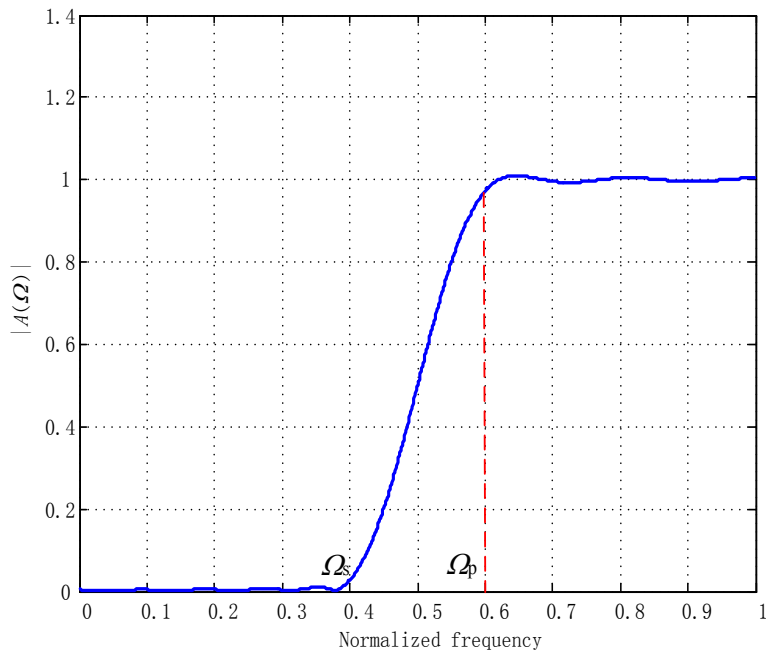
axis([0 1 -100 10]);



例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3\text{dB}$ ,  $A_s\geq 40\text{dB}$  的FIR 高通数字滤波器。

解：利用积分加权平方误差准则设计

$M=17$ ,  $A_s=40\text{dB}$





例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3\text{dB}$ ,  $A_s\geq 40\text{dB}$  的FIR 高通数字滤波器。

解：PM算法

关键函数：  $[M,fo,ao,w] = \text{firpmord}(f,a,dev)$  估计滤波器阶数  $M$   
 $h = \text{firpm}(M,fo,ao,w)$  实现PM算法设计

关键参数：  $F_p=0.2, F_s=0.4$ ,

$$\delta_p = 1 - 10^{-0.05A_p} = 0.034, \delta_s = 10^{-0.05A_s} = 0.01$$

低通滤波频带  $f=[F_p, F_s]$ , 滤波器在  $f$  中各频带的幅度  $a=[1 \ 0]$ ,  
滤波器在  $f$  中各个频带中的波动值  $dev=[\delta_p \ \delta_s]$

将参数代入函数  $[M,fo,ao,w] = \text{firpmord}(f,a,dev)$



例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3$ dB,  $A_s\geq 40$ dB的FIR 高通数字滤波器。

解：PM算法

% PM算法FIR滤波器设计

Fp=0.6;Fs=0.4; ds=0.01;dp=0.034;

f=[Fs Fp];a=[0 1];dev=[ds dp]; %确定滤波器参数

[M,fo,ao,w] = firpmord (f,a,dev); %确定滤波器阶数

h = firpm (M,fo,ao,w); %设计PM算法FIR滤波器

w=linspace(0,pi,1000);

mag=freqz(h,[1],w); %求频率响应

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

xlabel('Normalized frequency');ylabel('A(\Omega)'); %画幅度响应

figure;

plot(w/pi,20\*log10(abs(mag)), 'LineWidth',2);grid on; %画增益响应

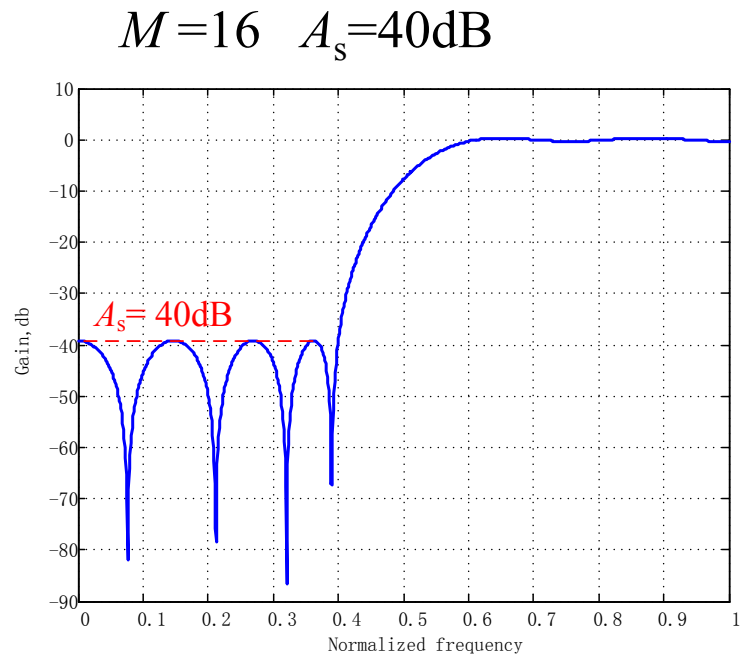
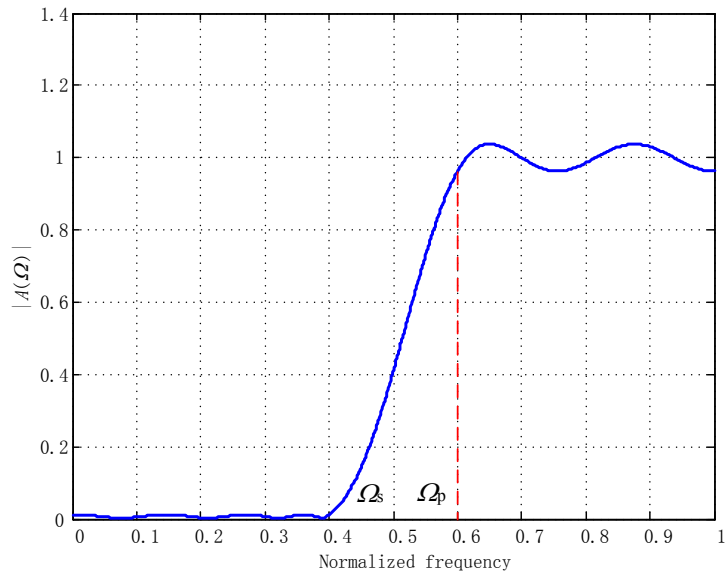
xlabel('Normalized frequency');ylabel('Gain,db');





例：设计指标为  $\Omega_p=0.6\pi$  rad,  $\Omega_s=0.4\pi$  rad,  $A_p\leq 0.3\text{dB}$ ,  $A_s\geq 40\text{dB}$  的FIR 高通数字滤波器。

解：PM算法



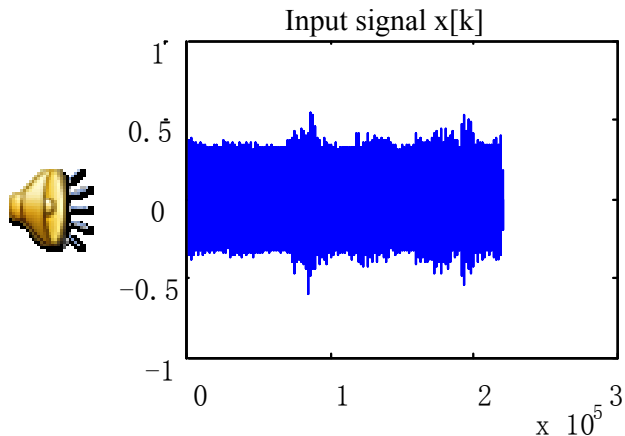


# 利用MATLAB实现FIR滤波器优化设计

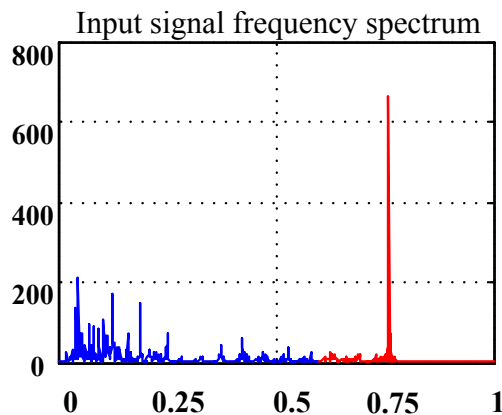
- ◆ 利用MATLAB实现优化设计
- ◆ FIR 数字滤波器设计应用举例



例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )



原音频时域波形



数字音频的频谱

分析：由频谱可确定设计指标如下：

$$\Omega_p=0.7\pi \text{ rad} , \Omega_s=0.75\pi \text{ rad}, A_p\leq 1\text{dB}, A_s\geq 48\text{dB}$$

选取窗函数法和PM算法设计FIR DF



## 例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

解：选用汉明窗

```
% hamming窗FIR滤波器的设计和应用
[x,Fs,nBit]=wavread('C:\yourn.wav'); %读取音频
N=length(x);
subplot(2,2,1); plot(x); %画出输入信号
title('Input signal x[k]');
% 显示输入信号的频谱
w=linspace(0,pi,1000);
X=freqz(x,[1],w); %得到滤波器幅频
subplot(2,2,2)
plot(w/pi,abs(X)); grid on; %画输入信号的频谱
title('Input signal frequency spectrum');
%设计低通FIR滤波器
Wp=0.7; Ws=0.75; %定义滤波器参数
Wc=(Wp+Ws)/2;
N=ceil(7.0/(Ws-Wp)); %滤波器长度N
```

```
M=N-1 %阶数M
k=0:M;
h=Wc*sinc(Wc*(k-M/2));
w0=hamming(N); %使用hamming窗
h=h.*w0';
w=linspace(0,pi,1000);
mag=freqz(h,[1],w); %求频率响应
%画滤波器的幅度响应
subplot(2,2,4); plot(w/pi,abs(mag),'r-'); grid on;
title('FIR Filter frequency response');
y=filter(h,[1],x); %滤波
Y=freqz(y,[1],w); %信号滤波后的频响特性
%画信号通过滤波器后的幅度响应
subplot(2,2,3); plot(w/pi,abs(Y)); grid on;
```



例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

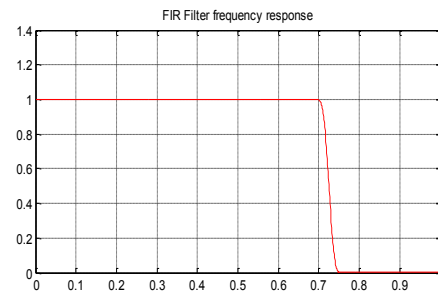
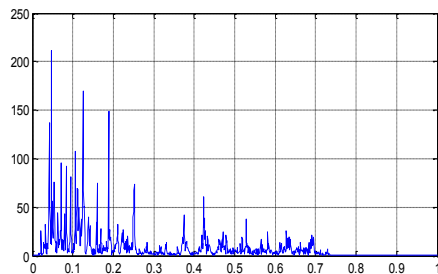
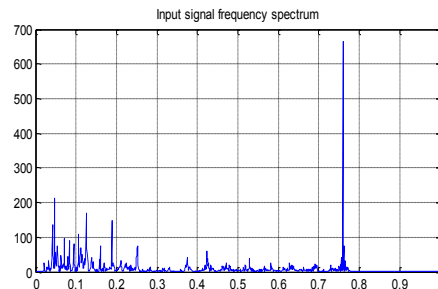
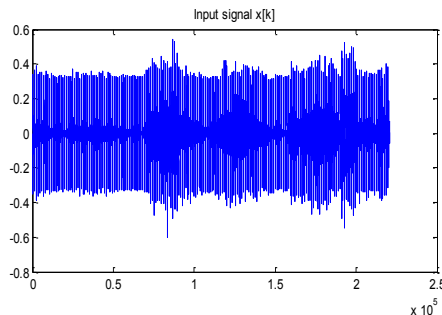
解：选用汉明窗

```
title('Output signal frequency spectrum');  
wavwrite(y,Fs,nBit, 'C:\your22.wav') ; %保存音频  
figure;  
%画滤波器的增益响应  
plot(w/pi,20*log10(abs(mag)),'linewidth',3); grid on;  
axis([0,1,-100,10])  
xlabel('Normalized frequency'); ylabel('Gain, dB');  
figure;  
thet2=unwrap(angle(mag)); %求相位响应  
figure;  
%画滤波器的相位响应  
plot(w/pi,thet2,'LineWidth',3);grid on;  
xlabel('Normalized frequency');ylabel('Phase Frequency');
```



例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

解：选用汉明窗



$A_p=0.01\text{dB}$   
 $A_s=54\text{dB}$   
 $M=139$



例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

分析：选用PM算法设计数字滤波器

关键函数：  $[M,fo,ao,w] = \text{firpmord}(f,a,dev)$  估计滤波器阶数 $M$   
 $h = \text{firpm}(M,fo,ao,w)$  实现PM算法FIR滤波器设计

关键参数：  $F_p=0.7, F_s=0.75,$

$$\delta_p = 1 - 10^{-0.05A_p} = 0.1 \quad \delta_s = 10^{-0.05A_s} = 0.003$$

低通滤波频带 $f=[F_p, F_s],$

滤波器在 $f$ 中各频带的幅度 $a=[1 \ 0],$

滤波器在 $f$ 中各个频带中的波动值 $dev=[\delta_p \ \delta_s]$

将参数代入函数 $[M,fo,ao,w] = \text{firpmord}(f,a,dev)$



## 例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

解：选用PM算法数字滤波器

%FIR滤波器的设计及应用

%读取音频信号

[x,Fs,nBit]=wavread('C:\yourn.wav');

N=length(x);

subplot(2,2,1); plot(x); %画出输入信号

title('Input signal x[k]');

% 显示输入信号的频谱

w=linspace(0,pi,1000);

X=freqz(x,[1],w); %得到滤波器幅频

subplot(2,2,2)

plot(w/pi,abs(X)); grid on; %画输入信号的频谱

title('Input signal frequency spectrum');

%设计低通FIR滤波器

Fp=0.7;Fs=0.75;ds=0.003;dp=0.1; %定义滤波器参数

f=[Fp Fs]; a=[1 0]; dev=[dp ds]; %定义为低通滤波

[M,fo,ao,w]=firpmord(f,a,dev); %求滤波器的阶数

h=firpm(M,fo,ao,w); %构造滤波器

w=linspace(0,pi,1000);

H=freqz(h,[1],w); %求频率响应

%画滤波器的幅度响应

subplot(2,2,4); plot(w/pi,abs(H),'r-'); grid on;

title('FIR Filter frequency response');

y=filter(h,[1],x); %滤波

Y=freqz(y,[1],w); %信号滤波后的频率响应

%画信号通过滤波器后的幅度响应

subplot(2,2,3); plot(w/pi,abs(Y)); grid on;

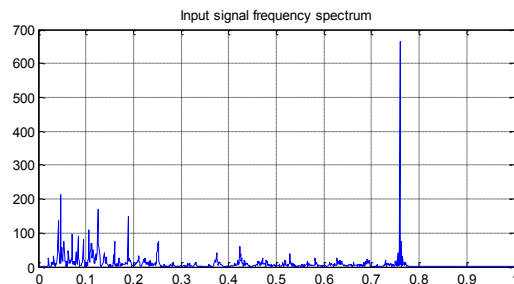
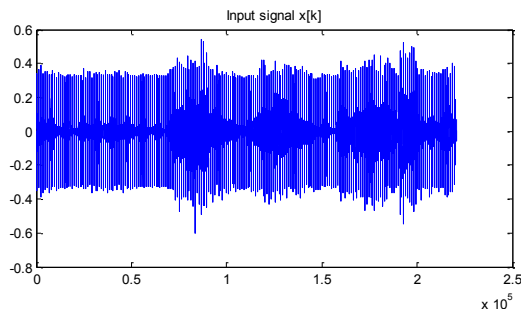
title('Output signal frequency spectrum');



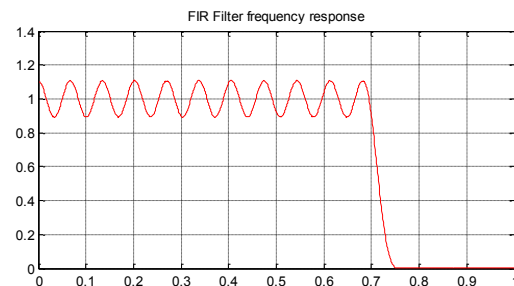
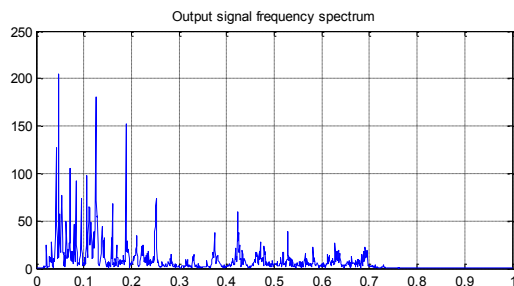


例：设计FIR DF滤除所给数字音频中的噪音( $f_{\text{sam}}=11025\text{Hz}$ )

解：选用PM算法数字滤波器



$A_p=0.98\text{dB}$   
 $A_s=50\text{dB}$   
 $M=61$





# 利用MATLAB实现FIR滤波器优化设计

## 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！