



数字信号处理实验

数字滤波器设计

北京航空航天大学

电子信息工程学院

雷鹏, 王俊

peng.lei@buaa.edu.cn



主要内容

- 1. MATLAB基础函数
- 2. IIR滤波器设计示例
- 3. FIR滤波器设计示例
- 3. 实验内容及要求



1. MATLAB基础函数

■ Butterworth滤波器阶数估计

➤ $[N, W_n] = \text{buttord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$

- N : 满足设计指标的IIR滤波器最小阶数
- W_n : 归一化的通带截止频率, 范围0~1
- W_p : 归一化的通带边界频率, 范围0~1
- W_s : 归一化的阻带边界频率, 范围0~1
- R_p : 通带纹波大小的度量, 单位dB
- R_s : 阻带的最小衰减, 单位dB

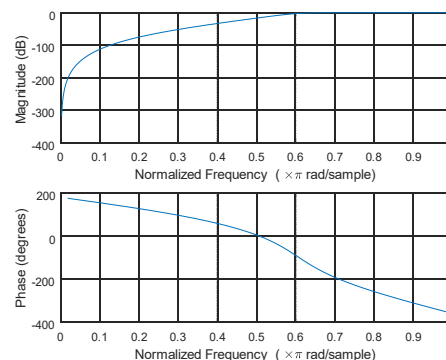
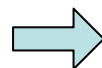
1. MATLAB基础函数

■ Butterworth滤波器设计

➤ $[b_coef, a_coef] = butter(N, Wn, 'ftype')$

- b_coef : IIR滤波器系数函数分子各项的系数
- a_coef : IIR滤波器系统函数分母各项的系数
- N : IIR滤波器阶数
- Wn : 归一化的通带截止频率
- $ftype$: 滤波器类型

```
N = 6;  
Wn = 0.6;  
[b,a] = butter(N,Wn,'high');  
figure(1);  
freqz(b,a,512);
```



滤波器幅相响应

1. MATLAB基础函数

■ Chebyshev I型滤波器阶数估计

➤ $[N, W_p] = \text{cheb1ord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$

- N : 满足设计指标的IIR滤波器最小阶数
- W_p : 归一化的通带边界频率, 范围0~1
- W_s : 归一化的阻带边界频率, 范围0~1
- R_p : 通带纹波大小的度量, 单位dB
- R_s : 阻带的最小衰减, 单位dB

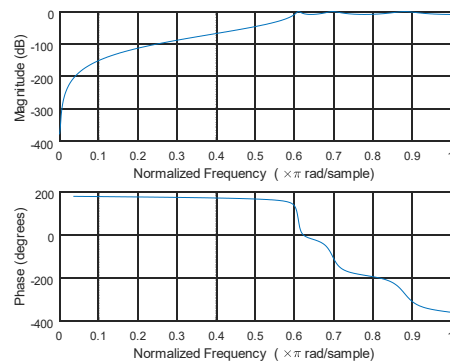
1. MATLAB基础函数

■ Chebyshev I型滤波器设计

➤ `[b_coef, a_coef] = cheby1(N,Rp,Wp,'ftype')`

- `b_coef` : IIR滤波器系数函数分子各项的系数
- `a_coef` : IIR滤波器系统函数分母各项的系数
- `N` : IIR滤波器阶数
- `Rp` : 通带纹波大小的度量
- `Wp` : 归一化的通带边界频率
- `ftype` : 滤波器类型

```
N = 6;  
Rp = 40*log10((1+0.25)/(1-0.25));  
Wp = 0.6;  
[b,a] = cheby1(N,Rp,Wp,'high');  
figure(1); freqz(b,a,512);
```



滤波器幅相响应

1. MATLAB基础函数

■ Chebyshev II型滤波器阶数估计

➤ $[N, Ws] = \text{cheb2ord}(Wp, Ws, Rp, Rs)$

- N : 满足设计指标的IIR滤波器最小阶数
- Wp : 归一化的通带边界频率, 范围0~1
- Ws : 归一化的阻带边界频率, 范围0~1
- Rp : 通带纹波大小的度量, 单位dB
- Rs : 阻带的最小衰减, 单位dB

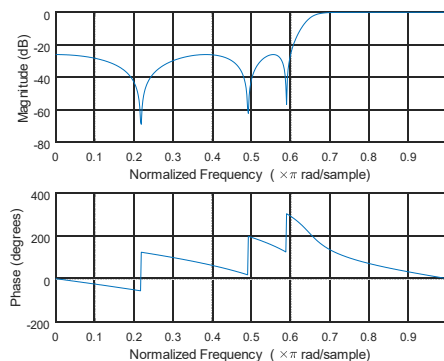
1. MATLAB基础函数

■ Chebyshev II型滤波器设计

➤ `[b_coef, a_coef] = cheby2(N, Rs, Ws, 'ftype')`

- `b_coef` : IIR滤波器系数函数分子各项的系数
- `a_coef` : IIR滤波器系统函数分母各项的系数
- `N` : IIR滤波器阶数
- `Rs` : 阻带的最小衰减
- `Ws` : 归一化的阻带边界频率
- `ftype` : 滤波器类型

```
N = 6;  
Rs = -20*log10(0.05);  
Ws = 0.6;  
[b,a] = cheby2(N, Rs, Ws, 'high');  
figure(1); freqz(b,a,512);
```



滤波器幅相响应

1. MATLAB基础函数

■ 椭圆滤波器阶数估计

➤ $[N, W_p] = \text{ellipord}(W_p, W_s, R_p, R_s)$

- N : 满足设计指标的IIR滤波器最小阶数
- W_p : 归一化的通带边界频率, 范围0~1
- W_s : 归一化的阻带边界频率, 范围0~1
- R_p : 通带纹波大小的度量, 单位dB
- R_s : 阻带的最小衰减, 单位dB



1. MATLAB基础函数

■ 椭圆滤波器设计

➤ $[b_coef, a_coef] = \text{ellip}(N, R_p, R_s, W_p, 'ftype')$

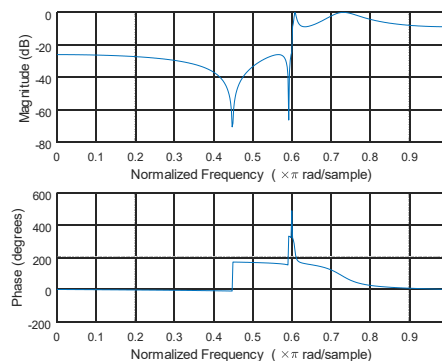
- b_coef : IIR滤波器系数函数分子各项的系数
- a_coef : IIR滤波器系统函数分母各项的系数
- N : IIR滤波器阶数
- R_p : 通带纹波大小的度量
- R_s : 阻带的最小衰减
- W_p : 归一化的通带边界频率
- $ftype$: 滤波器类型

```
N = 6; Rp = 40*log10((1+0.25)/(1-0.25));
```

```
Rs = -20*log10(0.05); Wp = 0.6;
```

```
[b,a] = ellip(N,Rp,Rs,Wp,'high');
```

```
figure(1); freqz(b,a,512);
```



滤波器幅相响应

1. MATLAB基础函数

■ 基于Kaiser窗函数的FIR滤波器参数估计

➤ $[N, Wn, \beta, ftype] = \text{kaiserord}(f, a, dev, fs)$

- N : FIR滤波器阶数
- Wn : 归一化的通带截止频率
- β : Kaiser窗函数参数
- $ftype$: 滤波器类型
- f : FIR滤波器幅频响应通带与阻带的边界频率
- a : FIR滤波器幅频响应在各频带的理想幅度
- dev : FIR滤波器幅频响应的通带纹波与阻带纹波大小（相对值，非dB值），该向量大小与向量 a 大小相同
- fs : 采样频率

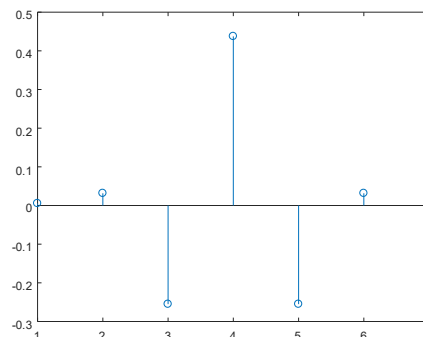
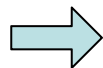
1. MATLAB基础函数

■ 基于窗函数的FIR滤波器设计

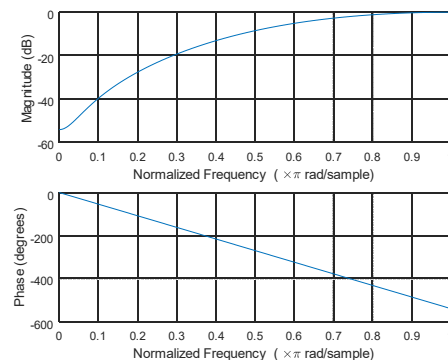
➤ $F_{coef} = \text{fir1}(N, W_n, 'ftype', \text{win})$

- F_{coef} : FIR滤波器系数向量（单位冲激响应）
- N : FIR滤波器阶数
- W_n : 归一化的通带截止频率
- $ftype$: 滤波器类型
- win : 窗函数向量，长度为 $N+1$

```
N = 6; Wn = 0.6;  
h = fir1(N,Wn,'high',  
    hamming(7));  
figure(1);  
stem(h); ylim([-0.3 0.5]);  
figure(2);  
freqz(h,1,512);
```



滤波器系数



滤波器幅相响应

2. IIR滤波器设计示例

■ 设计Butterworth带通滤波器

- 指标要求：采样频率7kHz，通带边界频率1.4kHz、2.1kHz，阻带边界频率1.05kHz、2.45kHz，通带纹波大小0.4dB，阻带最小衰减50dB；且滤波器阶数最小

```
fs = 7e3; Wp_f = [1.4e3, 2.1e3]; Ws_f = [1.05e3, 2.45e3];
```

```
Rp = 0.4; Rs = 50;
```

```
Wp = Wp_f/(fs/2);
```

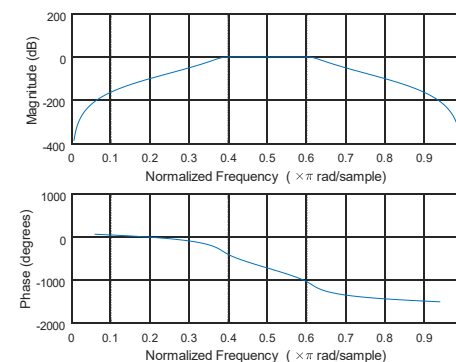
```
Ws = Ws_f/(fs/2);
```

```
[N,Wn] = buttord(Wp,Ws,Rp,Rs);
```

```
[b, a] = butter(N,Wn,'bandpass');
```

```
figure(1)
```

```
freqz(b,a,512);
```



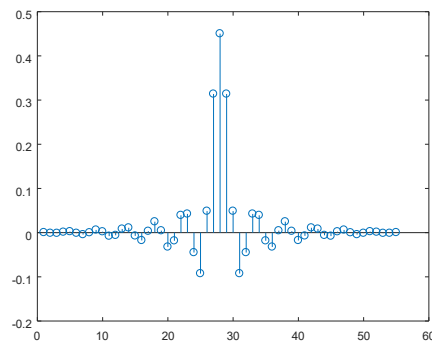
滤波器幅相响应

3. FIR滤波器设计示例

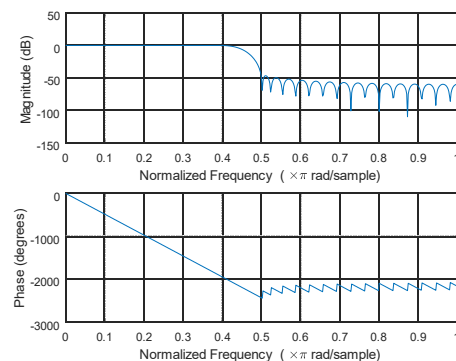
■ 设计FIR低通滤波器（Kaiser窗函数）

- 指标要求：采样频率10kHz，通带边界频率2kHz，阻带边界频率2.5kHz，通带纹波大小0.005，阻带纹波大小0.005，采用Kaiser窗函数

```
f_bands = [2e3,2.5e3]; a = [1,0];  
dev = [0.005,0.005]; fs = 10e3;  
[N, Wn, beta, ftype] =  
kaiserord(f_bands,a,dev,fs);  
h = fir1(N,Wn,'low',kaiser(N+1,beta));  
figure(1);  
stem(h); ylim([-0.2 0.5]);  
figure(2);  
freqz(h,1,512);
```



滤波器系数



滤波器幅相响应

4. 实验内容及要求

■ 实验一：IIR滤波器设计

- 给定模拟高通滤波器指标如下：采样频率3.5kHz，通带边界频率1.05kHz，阻带边界频率0.6kHz，通带纹波大小1dB，阻带最小衰减50dB。
- 分别使用Butterworth、Chebyshev I型、Chebyshev II型和椭圆多项式，设计满足上述指标且阶数最小的IIR高通滤波器，给出相应的阶数、以及系统函数表达式，画出幅频、相频响应曲线，并进行对比分析。

4. 实验内容及要求

■ 实验二：FIR滤波器设计

- 给定模拟带通滤波器指标如下：采样频率12kHz，通带边界频率1.8kHz、3.6kHz，阻带边界频率1.2kHz、4.2kHz，通带纹波大小0.1dB，阻带纹波0.02dB。
- 使用Kaiser窗函数，设计满足上述指标的FIR带通滤波器，给出相应的阶数，画出幅频、相频响应、以及系统单位冲激响应曲线，并进行对比分析。