

实验五 IIR 滤波器的设计与信号滤波

一 实验目的

1. 熟悉脉冲响应不变法和双线性变换法设计 IIR 数字滤波器的特点。
2. 掌握利用 MATLAB 设计 IIR 数字滤波器的方法。
3. 通过观察对实际信号的滤波处理，深入理解数字滤波的技术指标和滤波器的作用。

二 实验基础

1 实验原理

MATLAB 工具箱中的各种 IIR 数字滤波器的设计步骤如下：

- (1) 根据实际工程需求确定所需类型滤波器的技术指标；
- (2) 将所需数字滤波器的边界频率转换为相应类型的模拟滤波器的边界频率，转换公式为
$$\Omega = \frac{2}{T} \tan(\omega/2)。$$
- (3) 将相应类型（高通，带通，带阻）的模拟滤波器技术指标转换为模拟低通滤波器的技术指标。
- (4) 设计模拟低通滤波器。
- (5) 通过频率变换将模拟低通转换为相应类型（高通，带通，带阻）的模拟滤波器。
- (6) 采用双线性变换法将相应类型的模拟滤波器转换为数字滤波器。

设计滤波器的 MATLAB 函数，具体用法可参考教材 175 页，182 页，184 页或 MATLAB help 文档。

```
[N,wc]=buttord(wp,ws,Ap,As,'s') %由指标计算巴特沃斯型模拟滤波器的阶数和 3dB 截频  
[num,den]=butter(N,wc,'s') %由阶数和 3dB 截频计算得到滤波器的系统分子分母多项式系数  
% wp,ws 均为角频率，以 rad/s 为单位, Ap,As 为衰减值，以 dB 为单位
```

```
[N,wc]=cheb1ord(wp,ws,Ap,As,'s') %由指标计算切比雪夫 I 型模拟滤波器的阶数，wc=通带截频  
[num,den]=cheby1(N,Ap,wc,'s') %由阶数和通带指标计算得到滤波器的系统分子分母多项式系数
```

```
[N,wc]=cheb2ord(wp,ws,Ap,As,'s') %由指标计算切比雪夫 II 型模拟滤波器的阶数，wc=阻带截频  
[num,den]=cheby2(N,As,wc,'s') %由阶数和阻带指标计算得到滤波器的系统分子分母多项式系数
```

```
[N,wc]=ellipord(wp,ws,Ap,As,'s') %由指标计算椭圆型模拟滤波器的阶数，wc=通带截频  
[num,den]=ellip(N,Ap,As,wc,'s') %由阶数和阻带指标计算得到滤波器的系统分子分母多项式系数
```

```
[numt,dent] = lp2hp(num,den,W0) %低通映射为高通，W0 为高通滤波器的截止频率  
[numt,dent] = lp2bp(num,den,W0,B) %低通映射为带通，W0 为通带几何中心频率，B 为通带带宽  
[numt,dent] = lp2bs(num,den,W0,B) %低通映射为带阻，W0 为阻带几何中心频率，B 为阻带带宽
```

数字信号处理实验任务书

山东科技大学 电子信息工程学院—电科

% lp2hp lp2bp lp2bs 函数中滤波器原型均为归一化滤波器原型，即截止频率为 1 rad/s。

[bz,az] =impinvar(b,a,fs) %脉冲响应不变法把模拟滤波器转换为数字滤波器

[numd,dend] = bilinear(num,den,fs) %双线性变换法把模拟滤波器转换为数字滤波器， $fs=1/T$

[numd,dend] = bilinear(num,den,fs,fp) % $fs=1/T$ ，fp 指定匹配频率，以 Hz 为单位

此外，buttord butter 等函数可以直接由数字指标得到各型数字滤波器的系统函数。具体用法可以参考 MATLAB help 文档。

[N,wc]=buttord(wp,ws,Ap,As) %由指标计算巴特沃斯型数字滤波器的阶数和 3dB 截频

% wp,ws 均为归一化数字角频率，即 1 对应 π ，Ap,As 为衰减值，以 dB 为单位

[num,den]=butter(N,wc,ftype) %ftype 可设置'low' | 'bandpass' | 'high' | 'stop'

[N,wc]=cheb1ord(wp,ws,Ap,As) %由指标计算切比雪夫 I 型数字滤波器的阶数，wc=通带截频

[num,den]=cheby1(N,Ap,wc,ftype)

[N,wc]=cheb2ord(wp,ws,Ap,As) %由指标计算切比雪夫 II 型数字滤波器的阶数，wc=阻带截频

[num,den]=cheby2(N,As,wc,ftype)

[N,wc]=ellipord(wp,ws,Ap,As) %由指标计算椭圆型数字滤波器的阶数，wc=通带截频

[num,den]=ellip(N,Ap,As,wc,ftype)

信号通过滤波器处理，需要用到 `filter(b,a,x)` 函数，其中 b,a 为滤波器系数，x 为输入序列。

2 参考例程

wp=0.2*pi; ws=0.3*pi; ap=1; as=20; %数字指标

%脉冲响应不变法

T1=1; Wp1=wp/T1; Ws1=ws/T1; %T 取任意值

[N1,wc1]=buttord(Wp1,Ws1,ap,as,'s');[BS1,AS1]=butter(N1,wc1,'s');

[BZ1,AZ1]=impinvar(BS1,AS1,1/T1);

%双线性变换法

T2=2; Wp2=2/T2*tan(wp/2); Ws2=2/T2*tan(ws/2);

[N2,Wc2]=buttord(Wp2,Ws2,ap,as,'s');[BS2,AS2]=butter(N2,Wc2,'s');

[BZ2,AZ2]=bilinear(BS2,AS2,1/T2);

%比较频率响应

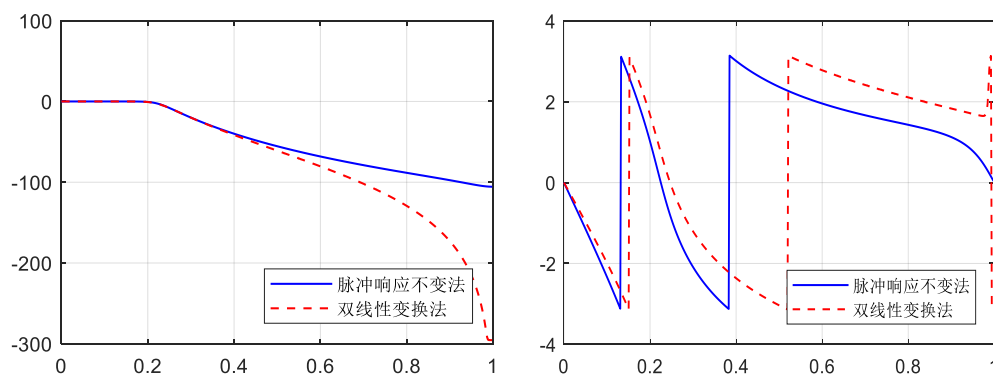
[H1,w1]=freqz(BZ1,AZ1); [H2,w2]=freqz(BZ2,AZ2);

plot(w1/pi,20*log10(abs(H1)), 'b', 'LineWidth', 1);hold on;grid on;

plot(w2/pi,20*log10(abs(H2)), 'r--', 'LineWidth', 1);

legend('脉冲响应不变法','双线性变换法','Location','southeast');hold off

```
figure(2)
plot(w1/pi,angle(H1),'b','LineWidth',1);hold on;grid on;
plot(w2/pi,angle(H2),'r--','LineWidth',1);
legend('脉冲响应不变法','双线性变换法','Location','southeast');hold off
```



三 实验内容

- 希望设计一个巴特沃斯低通数字滤波器，其通带截止频率为 0.25π ，阻带截止频率为 0.35π ，要求通带内最大衰减为 1dB；在阻带内最小衰减 40dB。给定抽样频率为 8000Hz。
 - ① 用冲激响应不变法设计该低通滤波器，写出其系统函数 $H(z)$ 。
 - ② 用双线性变换法设计该低通滤波器，写出其系统函数 $H(z)$ 。
 - ③ 绘出两种设计方法得到的数字滤波器幅频特性曲线，并检验指标。
- 测试实验中，需要模拟一些特定的噪声信号，请设计一个带通滤波器，用于产生特定频段的噪声信号，可以选用巴特沃斯型或者切比雪夫型滤波器。
 - ① 利用 **randn** 函数产生白噪声，然后通过带通滤波器对其滤波处理，以产生特定频段的噪声信号，噪声频段可取 3500Hz 至 5000Hz 之间任取一频段，设置采样频率为 8000Hz，噪声序列时长为 5 秒，带通滤波器指标请自行设定。（报告中写明技术指标，画出滤波器的衰减特性图，并要求列出滤波器的系数向量。）
 - ② 请分析噪声序列在滤波前和滤波后的频谱特性，画出频谱图并分析。

四 实验报告要求

1. 实验报告中简述实验目的和实验原理要点。
2. 按实验内容要求回答问题，并附实验代码和输出图形。（要求对每行代码注释）
3. 总结实验中用到的 MATLAB 函数及功能。
4. 报告中除程序代码和程序输出结果和绘图外，其余部分必须手写。（统一 A4 纸左侧装订）