重慶郵電大學

学生实验实习报告册

学年学期：2020 -2021 学年 口春 √秋学期

课程名称：数字信号处理实验

学生学院：通信与信息工程学院

专业班级：01011803

学生学号：2018210197

学生姓名：刘小琴

联系电话：17823290472

重庆邮电大学教务处制

课程名称	数字信号处理实验	课程编号	A2010550
实验地点	YF304	实验时间	20201027
校外指导教师		校内指导教师	邵凯
实验名称	z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析		
评阅人签字		成绩	

一、实验目的

学会运用MATLAB求离散时间信号的有理函数z变换的部分分式展开；
学会运用MATLAB分析离散时间系统的系统函数的零极点；
学会运用MATLAB分析系统函数的零极点分布与其时域特性的关系；
学会运用MATLAB进行离散时间系统的频率特性分析。

二、实验原理

1. 有理函数 z 变换的部分分式展开

如果信号的z域表示式X(z)是有理函数，设X(z)的有理分式表示为

$$X(z)=\frac{b_0+b_1z^{-1}+b_2z^{-2}+\cdots+b_mz^{-m}}{1+a_1z^{-1}+a_2z^{-2}+\cdots+a_nz^{-n}}=\frac{B(z)}{A(z)}$$

MATLAB信号处理工具箱提供了一个对X(z)进行部分分式展开的函数residuez，其语句格式为

[R,P,K]=residuez(B,A)

其中，B，A 分别表示 X(z)的分子与分母多项式的系数向量；R 为部分分式的系数向量；P 为极点向量；K 为多项式的系数。若 X(z)为有理真分式，则 K 为零。

2.系统函数的零极点分析

离散时间系统的系统函数定义为系统零状态响应的 z 变换与激励的 z 变换之比，即

$$H(z)=\frac{Y(z)}{X(z)}$$

如果系统函数 的有理函数表示式为

$$H(z)=\frac{b_1z^m+b_2z^{m-1}+\cdots+b_mz+b_{m+1}}{a_1z^n+a_2z^{n-1}+\cdots+a_nz+a_{n+1}}$$

那么，在 MATLAB 中系统函数的零极点就可通过函数 roots 得到，也可借助函数 tf2zp 得到，tf2zp 的语句格式为[Z,P,K]=tf2zp(B,A)其中，B 与 A 分别表示的分子与分母多项式的系数向量。它的作用是将 H(z)的有理分式表示式转换为零极点增益形式，即

$$H(z)=k\frac{(z-z_1)(z-z_2)\cdots(z-z_m)}{(z-p_1)(z-p_2)\cdots(z-p_n)}$$

若要获得系统函数 的零极点分布图，可直接应用 zplane 函数，其语句格式为

zplane(B,A)

其中，B 与 A 分别表示的分子和分母多项式的系数向量。它的作用是在 Z 平面上画出单位圆、零点与极点。

3. 系统函数的零极点分布与其时域特性的关系

与拉氏变换在连续系统中的作用类似，在离散系统中，z 变换建立了时域离散函数 h(n)与 z 域函数 H(z)之间的对应关系。因此，z 变换的函数 H(z)从形式可以反 h(n)的部分内在性质。我们仍旧通过讨论 H(z)的一阶极点情况，来说明系统函数的零极点分布与系统时域特性的关系。

4. 离散时间 LTI 系统的频率特性分析

对于因果稳定的离散时间系统，如果激励序列为正弦序列 x(n)=Asin(nω)u(n)，则系统的稳态响应为$y_{ss}(n)=A|H(e^{j\omega})|\sin[n\omega+\varphi(\omega)]u(n)$。其中，$H(e^{jw})$通常是复数。离散时间系统的频率响应定义为

$$H(e^{j\omega})=|H(e^{j\omega})|e^{j\psi(\omega)}$$

其中，$|H(e^{j\omega})|$称为离散时间系统的幅频特性；ψ(ω称为离散时间系统的相频特性；$H(e^{jw})$是以ω_0（$\omega_0=\frac{2\pi}{T}$，若零 T=1，$\omega_0=2\pi$），为周期的周期函数。因此，只要分析$H(e^{jw})$在$|\omega|\le\pi$范围内的情况，便可分析出系统的整个频率特性。

MATLAB 提供了求离散时间系统频响特性的函数 freqz，调用 freqz 的格式 主要有两种。一种形式为

[H,w]=freqz(B,A,N)

其中，B 与 A 分别表示 H(z)的分子和分母多项式的系数向量；N 为正整数，默认值为 512；返回值 w 包含[0, π]范围内的 N 个频率等分点；返回值 H 则是离散时间系统频率响应$H(e^{jw})$在(0~π)范围内 N 个频率处的值。另一种形式为

[H,w]=freqz(B,A,N,’whole’)

与第一种方式不同之处在于角频率的范围由[0,π]扩展到[0,2π]。

三、实验程序及结果分析

1. 试用 MATLAB 的 residuez 函数，求出$X(z)=\frac{2z^4+16z^3+44z^2+56z+32}{3z^4+3z^3-15z^2+18z-12}$的部分分式展开和。

源程序：

```
B=[2,16,44,56,32];
A=[3,3,-15,18,-12];
[R,P,K]=residuez(B,A)
```

程序运行结果：

```
R =

  -0.0177 + 0.0000i
```

```
    9.4914 + 0.0000i

  -3.0702 + 2.3398i

  -3.0702 - 2.3398i

P =

  -3.2361 + 0.0000i

   1.2361 + 0.0000i

   0.5000 + 0.8660i

   0.5000 - 0.8660i

K =

   -2.6667
```

2. 试用 MATLAB 画出下列因果系统的系统函数零极点分布图，并判断系统的稳定性。

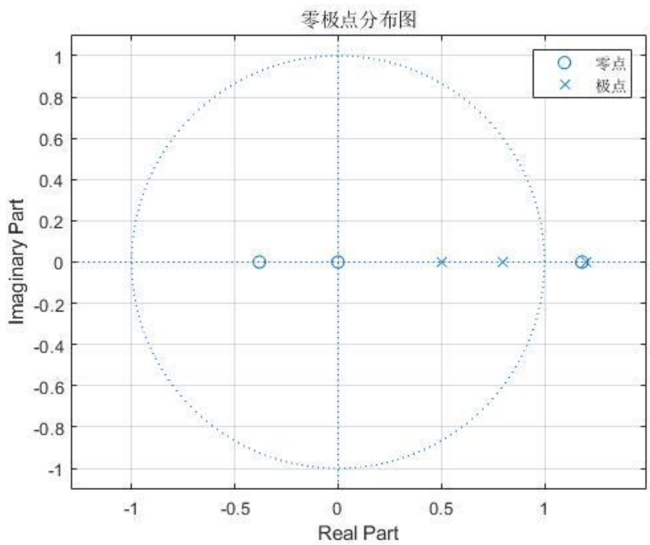
（1） $H(z)=\dfrac{2z^2-1.6z-0.9}{z^3-2.5z^2+1.96z-0.48}$

（2） $H(z)=\dfrac{z-1}{z^4-0.9z^3-0.65z^2+0.873z}$

源程序（1）:

```
B=[0,2,-1.6,-0.9];
A=[1,-2.5,1.96,-0.48];
zplane(B,A),grid on
legend('零点','极点')
title('零极点分布图')
```

程序运行结果（1）:



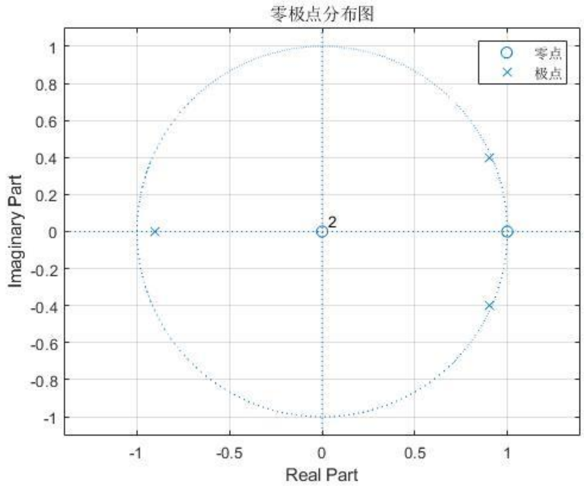
分析：

系统的极点位于单位圆外，故系统不稳定。

源程序（2）：

```
B=[1,-1];
A=[1,-0.9,-0.65,0.873]
zplane(B,A),grid on
legend('零点','极点')
title('零极点分布图')
```

程序运行结果（2）：



分析：

系统的极点在单位圆上，系统不稳定。

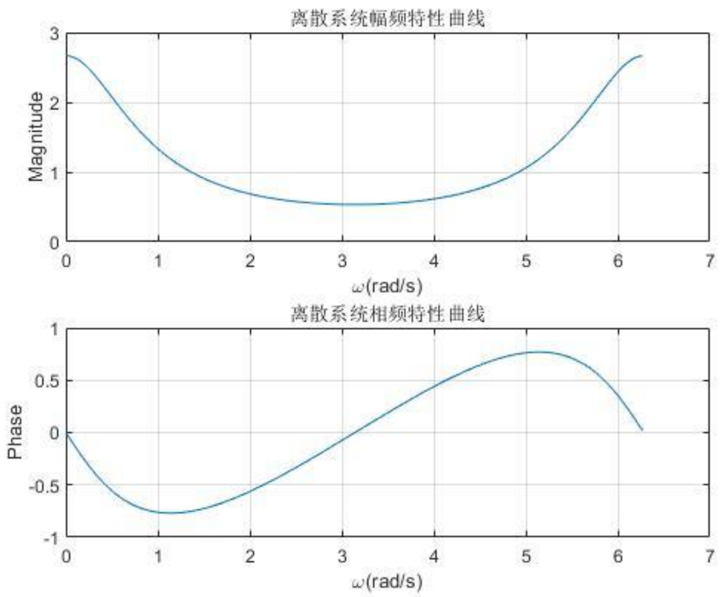
3. 试用 MATLAB 绘制系统 $H(z)=\dfrac{z^2}{z^2-\frac{3}{4}z+\frac{1}{8}}$ 的频率响应曲线。

源程序：

```
b=[1,0,0];
a=[1,-0.75,0.125];
[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
subplot(211)
plot(w,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')
title('离散系统幅频特性曲线')
```

```
subplot(212)
plot(w,Hp),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Phase')
title('离散系统相频特性曲线')
```

程序运行结果：



四、思考题

1、编写 MATLAB 程序，已知系统的差分方程$y(n)-0.9y(n-8) = x(n)-x(n-8)$。

（1）画出该系统的零极点分布图，判断系统的稳定性；

（2）画出系统在 0~2π范围内的幅频特性曲线和相频特性曲线；

（3）查找资料说明该系统的功能。

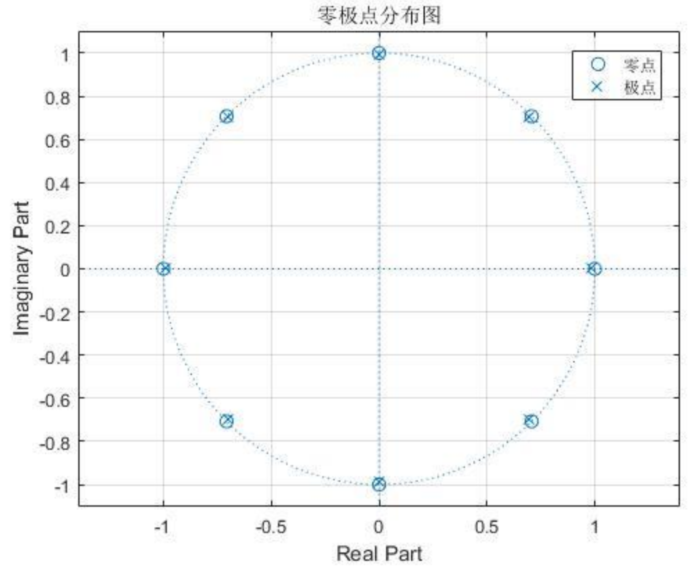
源程序：

```
clear all
a=[1,0,0,0,0,0,0,0,-0.9];
b=[1,0,0,0,0,0,0,0,-1];

figure(1);
zplane(b,a),grid on
legend('零点','极点')
title('零极点分布图')

[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
figure(2);
subplot(211)
```

```
plot(w,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')
title('离散系统幅频特性曲线')
subplot(212)
plot(w,Hp),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Phase')
title('离散系统相频特性曲线')
```

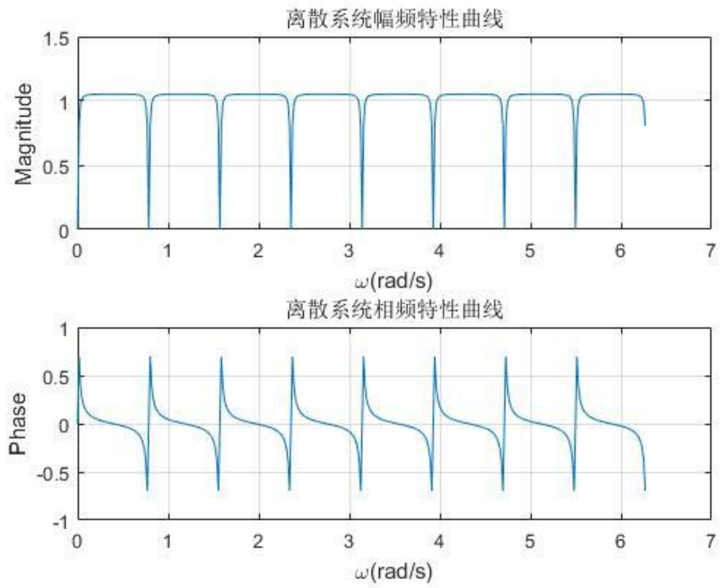
程序运行结果：

系统的零极点分布图如下



由图可知，系统的极点不在单位圆内，故系统不稳定。

幅频特性曲线和相频特性曲线如下



2、编写 MATLAB 程序，分别采用系统$H1(z)=z/(z+0.8)$ 、$H2(z)=z/(z-1)$、$H3(z)=z/(z+1.2)$

对音频文件 motherland.wav 进行滤波（可采用实验二的 conv 函数）。

（1）画出滤波前后该音频文的连续时域波形图；

（2）分析说明滤波后信号幅度变化的原因。

源程序：

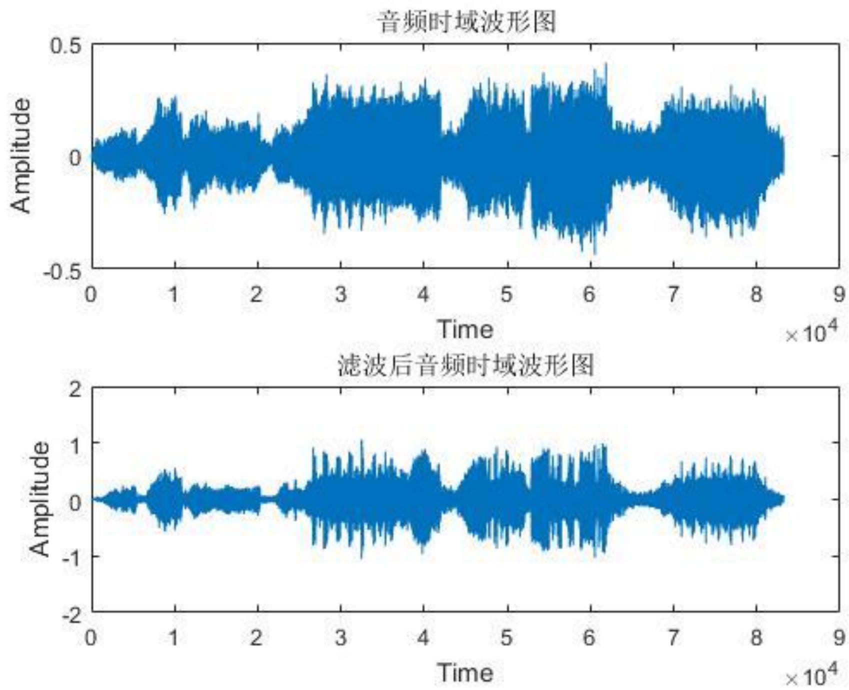
```
H1(z):
clc;
clear all
close all
[xn,fs]=audioread('F:\2020秋，大学\数字信号处理\实验\实验一\motherland.wav');
sound(xn,fs);
N=length(xn);
t=(0:N-1);
subplot(211);
plot(t,xn);
title('音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
b1=[1,0];
a1=[1,0.8];
[hn]=impz(b1,a1,30);
y=conv(xn,hn);
subplot(212);
plot(y);
title('滤波后音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');

H2(z):
clc;
clear all
close all
[xn,fs]=audioread('F:\2020秋，大学\数字信号处理\实验\实验一\motherland.wav');
sound(xn,fs);
N=length(xn);
t=(0:N-1);
subplot(211);
plot(t,xn);
title('音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
b1=[1,0];
a1=[1,-1];
[hn]=impz(b1,a1,30);
y=conv(xn,hn);
subplot(212);
plot(y);
title('滤波后音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
```

H3(z):

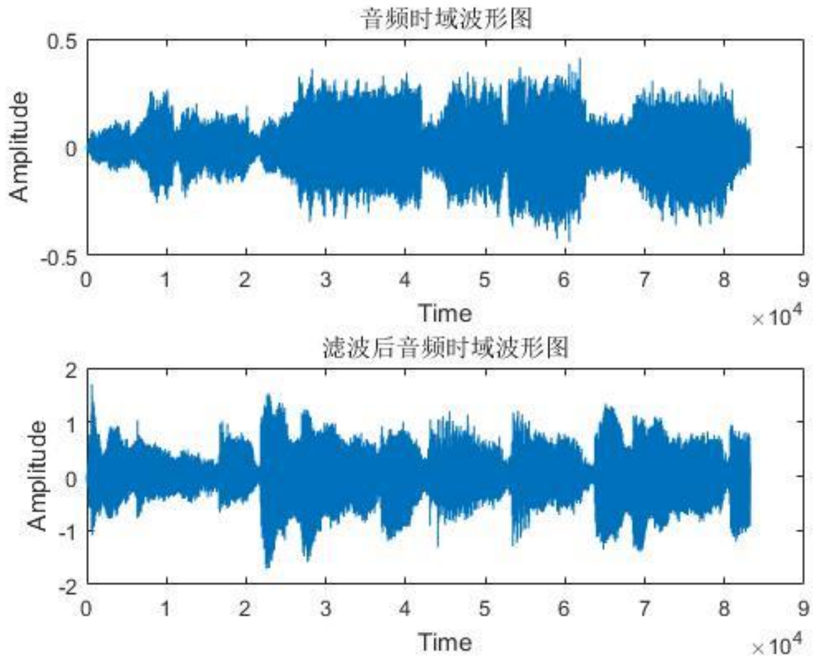
```
clc;
clear all
close all
[xn,fs]=audioread('F:\2020 秋，大学\数字信号处理\实验\实验一\motherland.wav');
sound(xn,fs);
N=length(xn);
t=(0:N-1);
subplot(211);
plot(t,xn);
title('音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
b1=[1,0];
a1=[1,1.2];
[hn]=impz(b1,a1,30);
y=conv(xn,hn);
subplot(212);
plot(y);
title('滤波后音频时域波形图');
xlabel('Time');
ylabel('Amplitude');
```

程序运行结果：

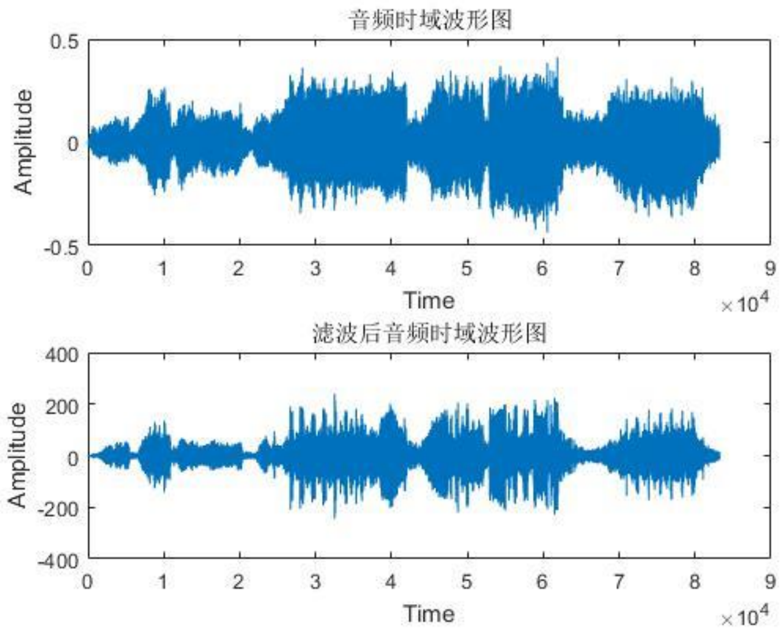
H1(z):



H2(z):



H3(z):



滤波后信号幅度变化的原因:系统对原来的信号进行了加权处理。