

重庆邮电大学

学生实验实习报告册

学年学期： 2020 -2021学年 春☒秋学期

课程名称： 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： 2018210191

学生姓名： 黄俊杰

联系电话： 19922123079

重庆邮电大学教务处制

课程名称	信号处理实验	课程编号	A2010550
实验地点	YF304	实验时间	2020. 10. 27
校外指导教师	无	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	
<p>一、实验目的</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. 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； 2. 学会运用 MATLAB 分析离散时间系统的系统函数的零极点； 3. 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； 4. 学会运用 MATLAB 进行离散时间系统的频率特性分析。 <p>二、实验原理</p> <p>3.2.1 有理函数 z 变换的部分分式展开</p> <p>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</p> $X(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \dots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \dots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (3-1)$ <p>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 <code>residuez</code>，其语句格式为</p> $[R,P,K]=\text{residuez}(B,A)$ <p>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。</p>			

3.2.2 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

$$H(z) = \frac{Y(z)}{X(z)} \quad (3-2)$$

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

$$H(z) = \frac{b_1 z^m + b_2 z^{m-1} + \cdots + b_m z + b_{m+1}}{a_1 z^n + a_2 z^{n-1} + \cdots + a_n z + a_{n+1}} \quad (3-3)$$

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 $H(z)$ 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

$$H(z) = k \frac{(z - z_1)(z - z_2) \cdots (z - z_m)}{(z - p_1)(z - p_2) \cdots (z - p_n)} \quad (3-4)$$

3.2.3 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 $H(z)$ 从形式可以反映 $h(n)$ 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。

3.2.4 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 $x(n) = A \sin(n\omega)u(n)$ ，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， $H(e^{j\omega})$ 通常是复数。离散时间系统的频率响应定义为

$$H(e^{j\omega}) = |H(e^{j\omega})| e^{j\varphi(\omega)} \quad (3-5)$$

其中， $|H(e^{j\omega})|$ 称为离散时间系统的幅频特性； $\varphi(\omega)$ 称为离散时间系统的相频特性； $H(e^{j\omega})$ 是以 ω_s ($\omega_s = \frac{2\pi}{T}$ ，若零 $T=1$ ， $\omega_s = 2\pi$) 为周期的周期函数。因此，只要分析 $H(e^{j\omega})$ 在 $|\omega| \leq \pi$ 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

$$[H,w] = \text{freqz}(B,A,N)$$

8

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 $[0, \pi]$ 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 $H(e^{j\omega})$ 在 $0 \sim \pi$ 范围内 N 个频率处的值。另一种形式为

$$[H,w] = \text{freqz}(B,A,N,'whole')$$

与第一种方式不同之处在于角频率的范围由 $[0, \pi]$ 扩展到 $[0, 2\pi]$ 。

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。

源代码：

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

结果如图：

```
>> til

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
```

图一：部分分式的展开和

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。

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

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

题2. (1)

源代码：

```
B=[0,2,-1.6,-0.9];
```

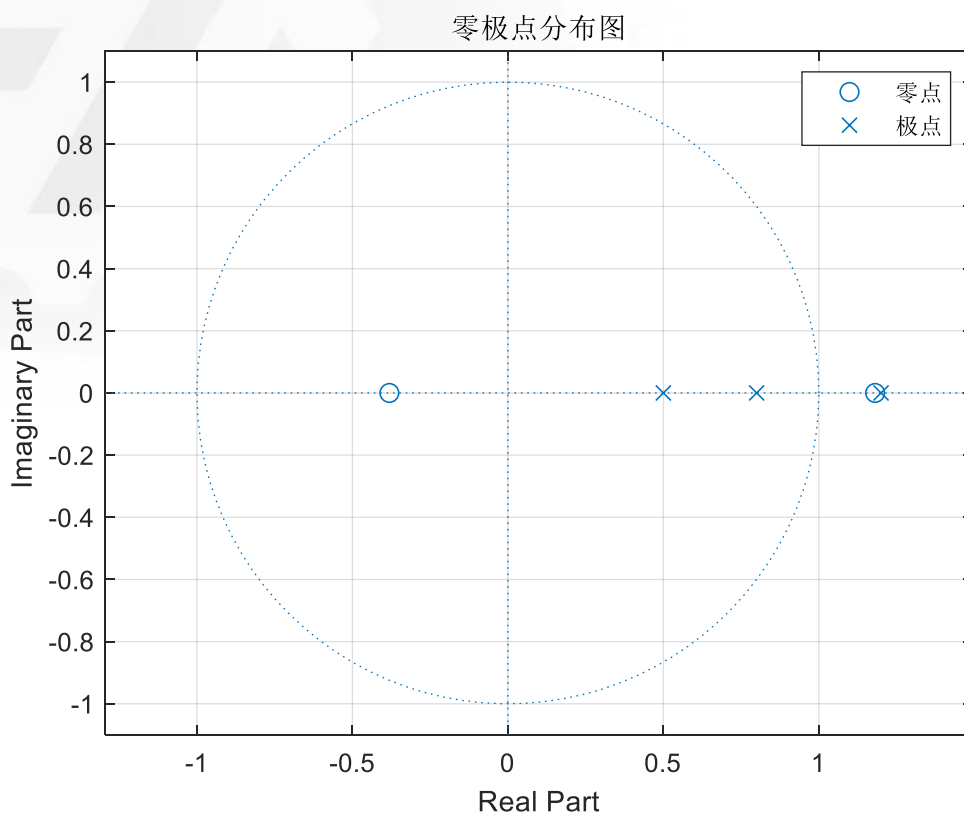
```
A=[1,-2.5,1.96,-0.48];
```

```
zplane(B,A),grid on
```

```
legend('零点','极点')
```

```
title('零极点分布图')
```

结果截图：



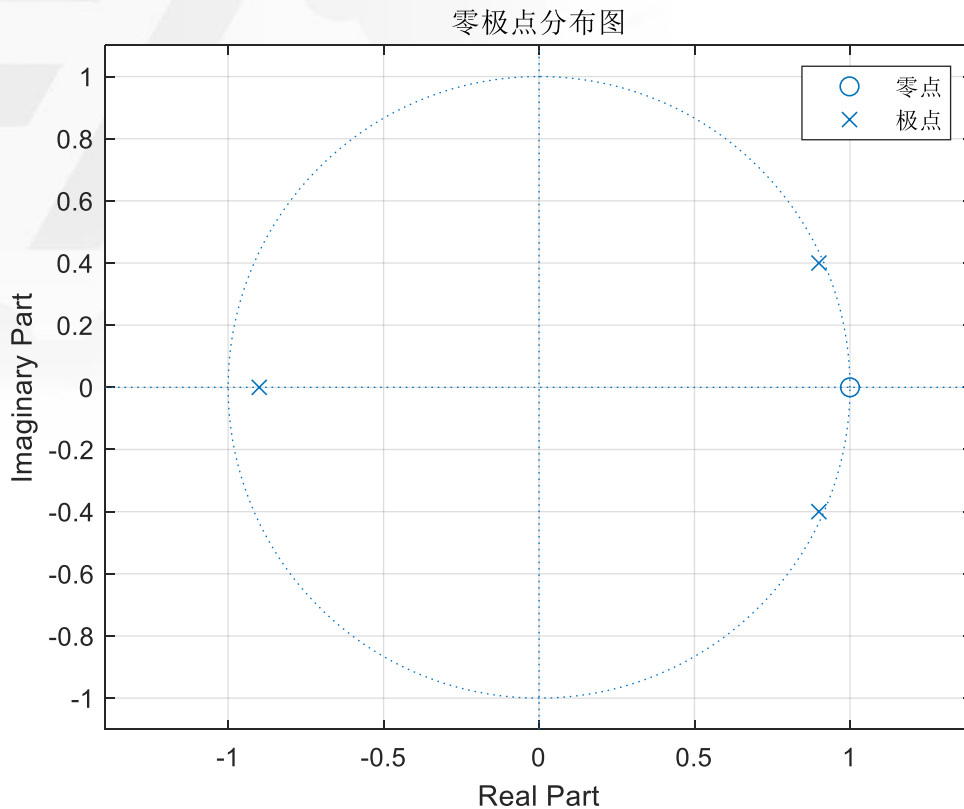
图二： 2.(1) 零极点分布图

题2.(2)

源代码：

```
B=[0,0,1,-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')
```

结果截图：



图三 2.(2) 零极点分布图

系统稳定性分析:

由图二可知, 极点既有位于圆外的, 也有位于圆内的, 因此系统1不稳定;

由图三可知, 极点既有位于圆上的, 也有位于圆内的, 故系统2临界稳定。

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

源代码:

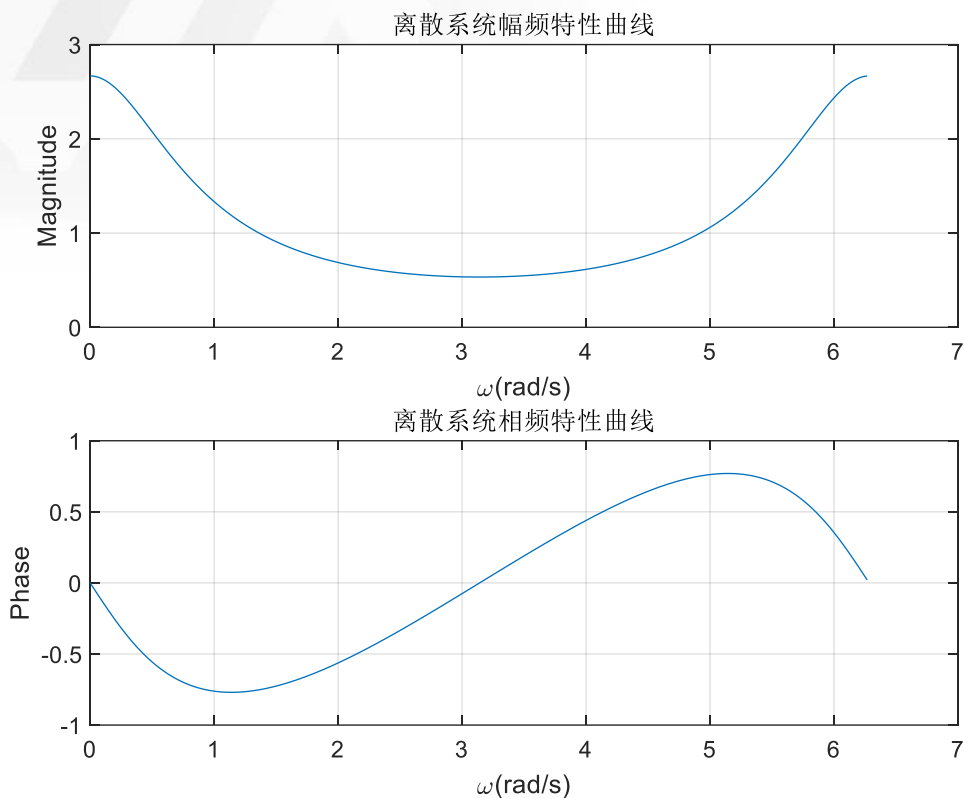
```
b=[1];
a=[1 -0.75 0.125];
[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
subplot(211)
plot(w,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')

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')
```

结果截图，如图四：



图四 频率响应曲线

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 $0 \sim 2\pi$ 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。

源代码：

```
a=[1 0 0 0 0 0 0 0 -0.9];  
b=[1 0 0 0 0 0 0 0 -1];  
subplot(311);  
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);
subplot(312)
plot(w,Hm),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Magnitude')

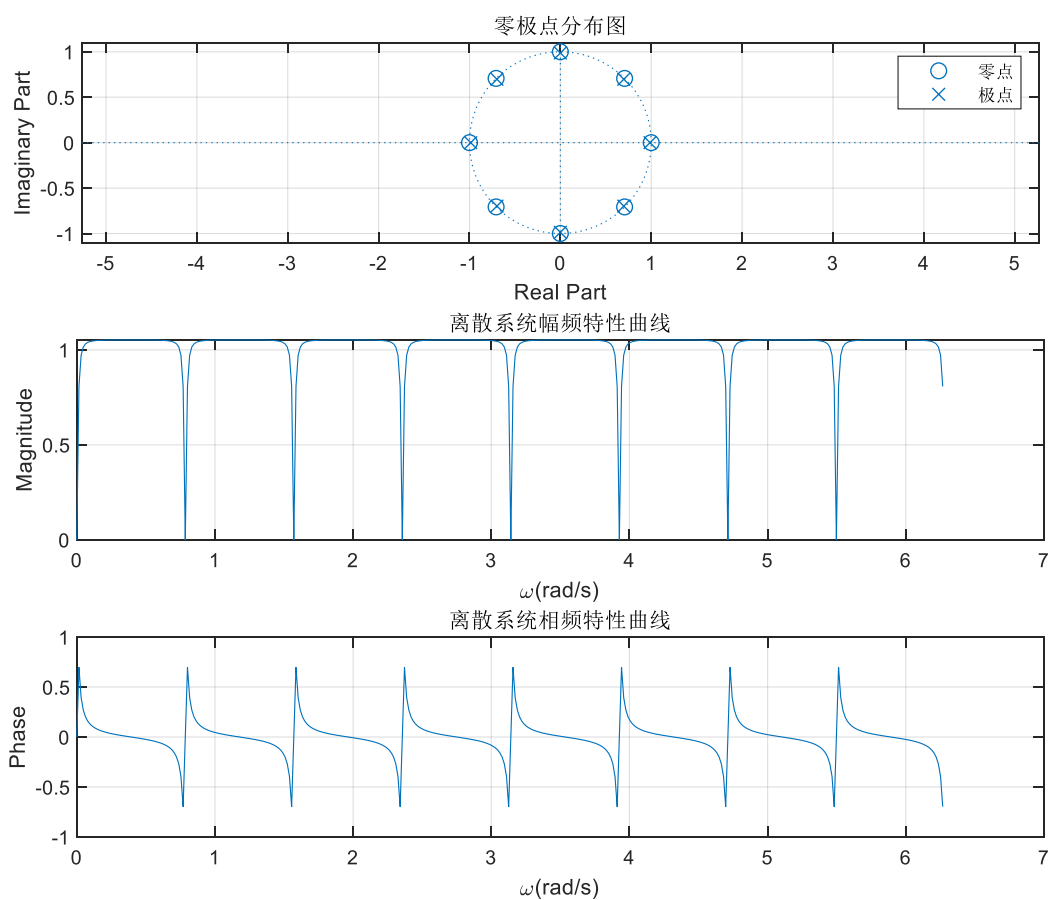
title('离散系统幅频特性曲线')

subplot(313)
plot(w,Hp),grid on
xlabel('\omega(rad/s)'),ylabel('Phase')

title('离散系统相频特性曲线')

```

结果截图，如图五：



图五：零极点分布图，幅频与相频特性曲线

系统的稳定性分析：由图五可知，全部的零点与极点位于圆上，该系统于临界稳定状态；该系统的是一个梳妆滤波器，它是由许多按一定频率间隔相同排列的带通和阻带，只让某些特定的频率范围的信号通过。

2、编写MATLAB程序，分别采用系统 $H_1(z) = \frac{z}{z+0.8}$ 、 $H_2(z) = \frac{z}{z-1}$ 、 $H_3(z) = \frac{z}{z+1.2}$

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。

源代码：

```
%[xn,fs]=audioerad('C:\Users\Jerry\Dsktop\motherland.wav');
%画音频系统滤波图像

[xn,fs]=audioread('motherland.wav');
N=length(xn);
t=[0:N-1]/fs;
b1=[1];a1=[1 0.8];
b2=[1];a2=[1 -1];
b3=[1];a3=[1 1.2];
h1=impz(b1,a1);
h2=impz(b2,a2);
h3=impz(b3,a3);
subplot(4,1,1);
%sound(xn,fs);

plot(t,xn);title('原音频时域图');

subplot(4,1,2);
y1=conv(h1,xn);
M=length(y1);

t1=[0:M-1]/fs;%卷积过后的时域长度
%sound(y1,fs);

plot(t1,y1);title('系统H1(z)滤波后的时域图');grid on;

subplot(4,1,3);
y2=conv(h2,xn);
M=length(y2);

t1=[0:M-1]/fs;%卷积过后的时域长度
%sound(y2,fs);

plot(t1,y2);title('系统H2(z)滤波后的时域图');
grid on;

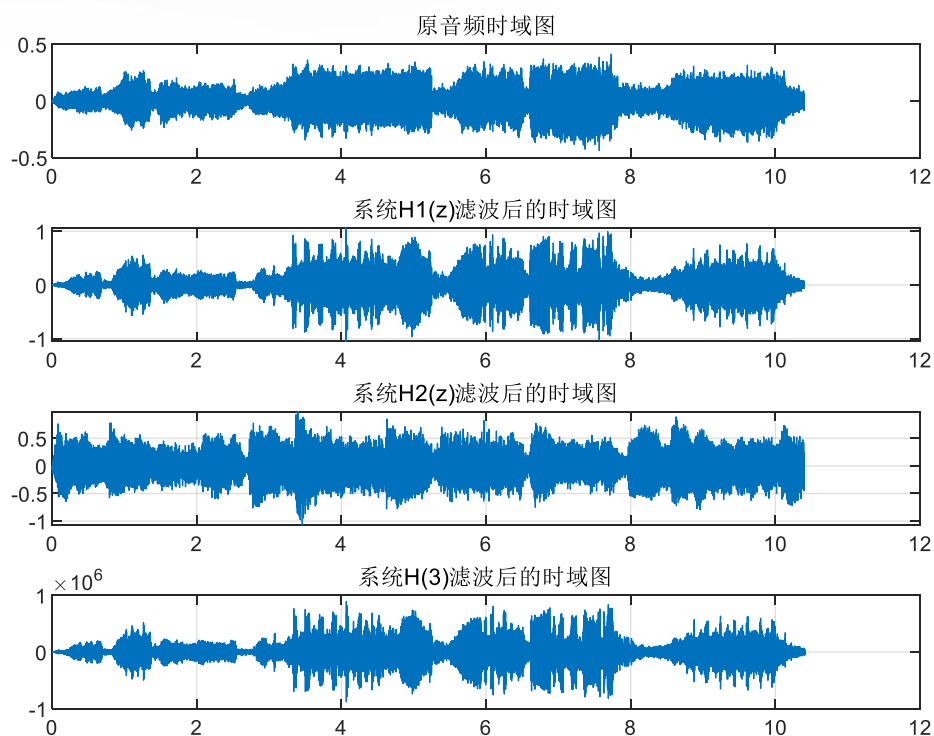
subplot(4,1,4);
y3=conv(h3,xn);
M=length(y3);
```

```

t1=[0:M-1]/fs;% 卷积过后的时域长度
%sound(y3,fs);
plot(t1,y3);title('系统H3(z)滤波后的时域图');
grid on;

```

结果截图，如图六：



图六： 滤波前后该音频的连续时域波形图

分析：

原音频经过系统 $H_1(z)$ ， $H_2(z)$ ， $H_3(z)$ 后波形都有一定量的变化，由连续时域波形图可知，第一个变化很小，第二个滤波器无论是在什么时刻都有一定的变化，第三个变化幅度也不是很大。