

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： 信息与通信工程学院

专业班级： 01011803

学生学号： 2018210210

学生姓名： 刘鸿睿

联系电话： 13752877348

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	移动通信技术实验室 YF304	实验时间	第八周周二(2020/10/27)1.2节
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	

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 域表示式是有理函数，设 的有理分式表示为

$$X(z) = \frac{b_0 + b_1 z^{-1} + b_2 z^{-2} + \cdots + b_m z^{-m}}{1 + a_1 z^{-1} + a_2 z^{-2} + \cdots + a_n z^{-n}} = \frac{B(z)}{A(z)} \quad (3-1)$$

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

$$[R, P, K] = \text{residuez}(B, A)$$

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

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

如果系统函数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. 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与 z 域函数之间的对应关系。因此，z 变换的函数从形式可以反映的部分内在性质。

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^{jw})通常是复数。离散时间系统的频率响应定义为

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

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^{jw}) 是以 ($\omega_s = 2\pi/T$ ，若零 T=1， $\omega_s = 2\pi$) 为周期的周期函数。因此，只要分析 H(e^{jw}) 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

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

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在 H(e^{jw}) 在 0 到 π 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, 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。

实验程序：

%实验三 z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析

%时间：2020/10/27

%操作人：刘鸿睿

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

运行结果：

```
>> test3_1

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

fx
```

实验分析：

根据实验任务要求对 residuez 函数进行试用，可得出与所要求的答案相匹配的结果。

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。

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

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

实验程序：

```
%实验三 z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析
%时间：2020/10/27
%操作人：刘鸿睿
B1=[0,2,-1.6,-0.9];
A1=[1,-2.5,1.96,-0.48];
subplot(1,2,1);
```

```

zplane(B1,A1),grid on
legend('零点','极点')
title('零极点分布图')
axis([-1.5 1.5 -1.2 1.2])
B2=[0 0 0 1 -1];
A2=[1 -0.9 -0.65 0.873 0];
subplot(1,2,2);
zplane(B2,A2),grid on
legend('零点','极点')
title('零点极点分布图')
axis([-1.5 1.5 -1.2 1.2])

```

运行结果：

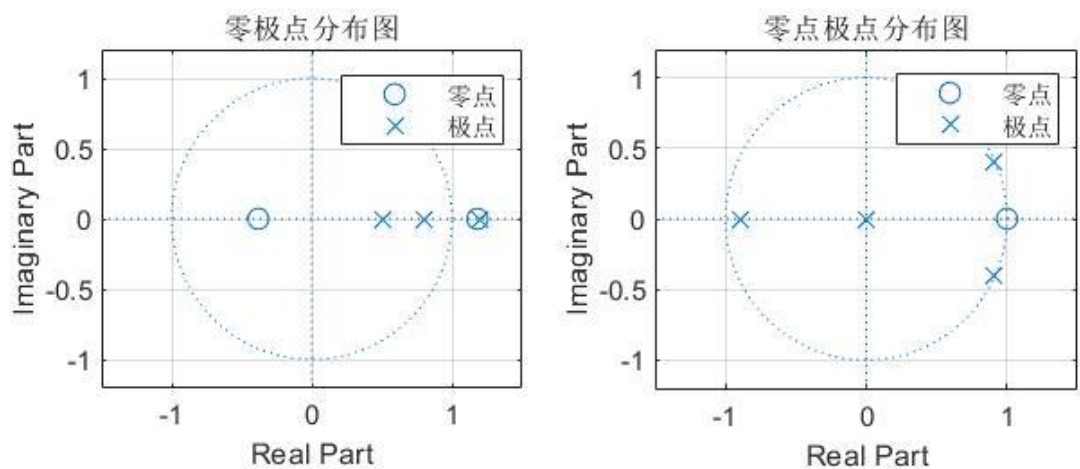


图 1

实验分析：

根据实验任务要求画出该系统函数的零极点分布图，可得出与所要求的答案相匹配的结果，并可知（1）中由于极点位于单位圆外故系统不稳定，（2）中有一阶共轭极点，并且有极点位于虚轴左侧，故系统不稳定。

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。

实验程序：

%实验三 z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析

%时间：2020/10/27

%操作人：刘鸿睿

```
b=[1 0 0];
```

```
a=[1 -0.75 0.125];
```

```
[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');
```

```
Hm=abs(H);
```

```
Hp=angle(H);
```

```
subplot(2,1,1)
```

```
plot(w,Hm),grid on
```

```
xlabel('ω(rad/s)'),ylabel('Magnitude')
```

```
title('离散系统幅频特性曲线')
```

```
subplot(2,1,2)
```

```
plot(w,Hp),grid on
```

```
xlabel('ω(rad/s)'),ylabel('Phase')
```

```
title('离散系统相频特性曲线')
```

运行结果：

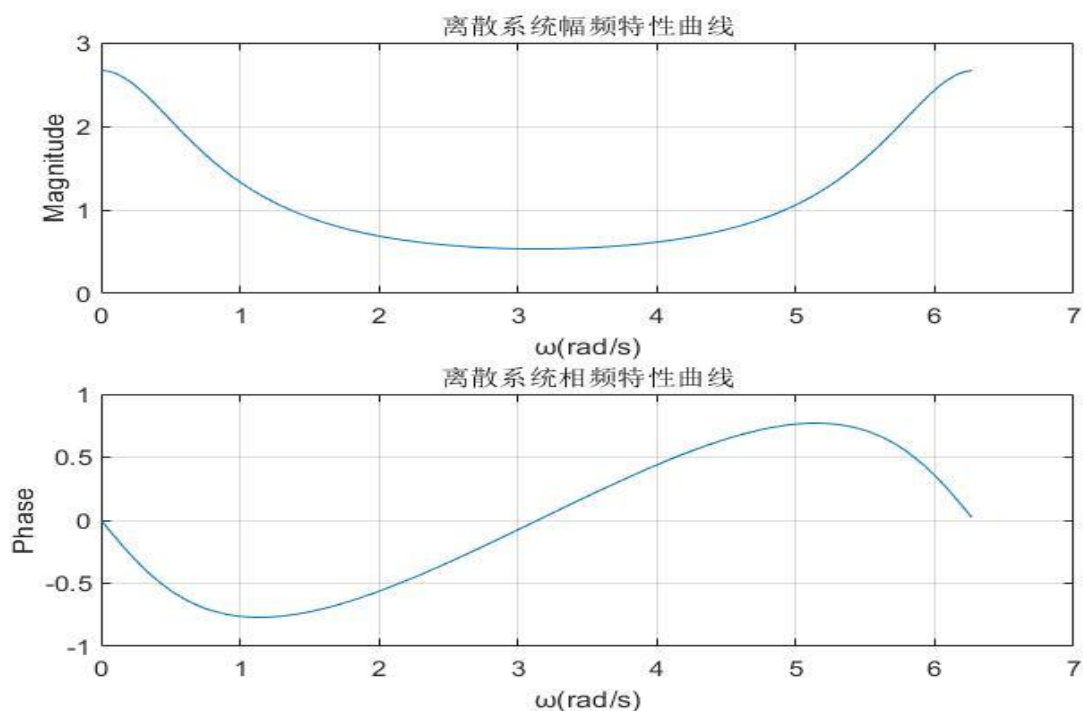


图 2

实验分析:

根据实验任务要求画出该系统函数的频率响应曲线,可得出与所要求的答案相匹配的结果。这里主要是 freqz 函数的运用。需好好理解。

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。

实验程序:

%实验三 z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析

%时间: 2020/10/27

%操作人: 刘鸿睿

```
a=[1,0,0,0,0,0,0,0,-0.9];
```

```
b=[1,0,0,0,0,0,0,0,-1];
```

```
[H,w]=freqz(b,a,400,'whole');
```

```
Hm=abs(H);
```

```
Hp=angle(H);
```

```
subplot(3,1,1)
```

```
zplane(b,a),grid on
```

```
legend('零点','极点')
```

```
title('零极点分布图')
```

```
subplot(3,1,2)
```

```
plot(w,Hm),grid on
```

```
xlabel('ω(rad/s)'),ylabel('Magnitude')
```

```
title('离散系统幅频特性曲线')
```

```
axis([0 2.*pi 0 1]);
```

```
subplot(3,1,3)
```

```
plot(w,Hp),grid on
```

```
xlabel('ω(rad/s)'),ylabel('Phase')
```

```
title('离散系统相频特性曲线')
```

```
axis([0 2.*pi -1 1]);
```

运行结果：

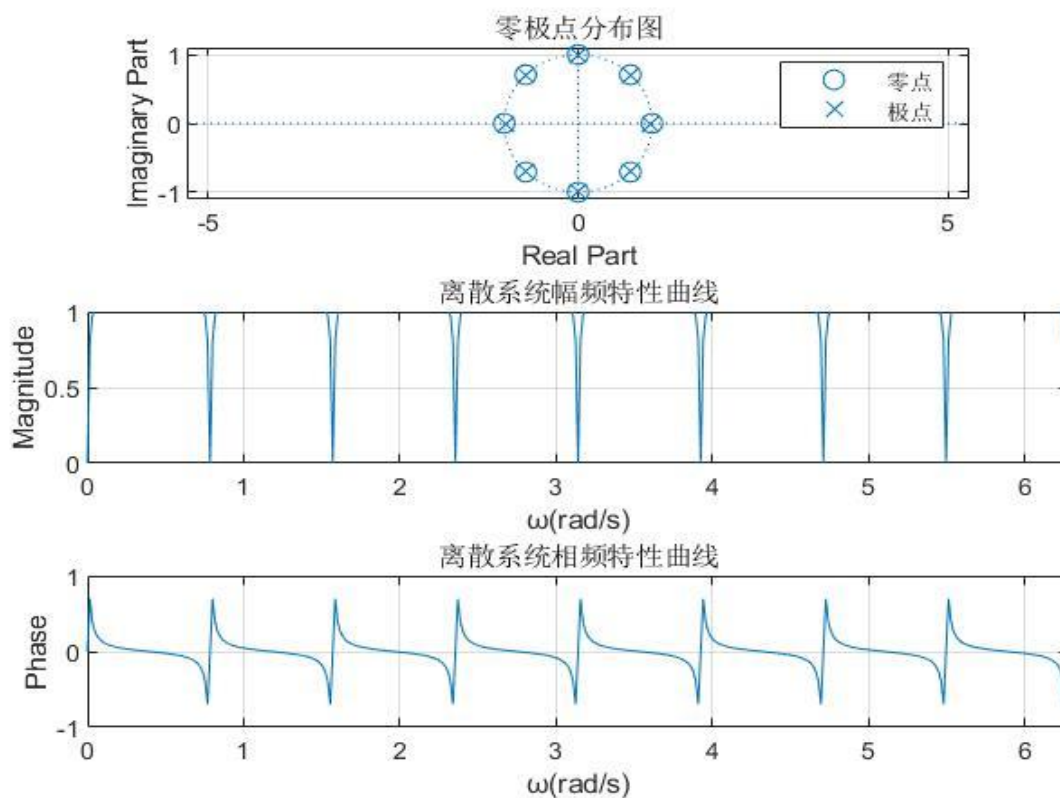


图 3

实验分析：

根据操作后的图谱得知该系统稳定，查阅资料后得知该系统可作为梳状滤波器使用。

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。

实验程序：

```
%实验三 z 变换及离散时间 LTI 系统的 z 域分析
%时间：2020/10/27
%操作人：刘鸿睿
[xn,fs]= audioread('D:/MATLABwork/motherland.wav');
subplot(4,1,1);
a1=[1,0.8];
b1=[1,0];
[h]=impz(b1,a1,30);
y1=conv(xn,h);
```



```

chang1=length(y1);
t1=(0:chang1-1)/fs;
plot(t1,y1);
subplot(4,1,2);
a2=[1,-1];
b2=[1,0];
[h2]=impz(b2,a2,30);
y2=conv(xn,h2);
chang2=length(y2);
t2=(0:chang2-1)/fs;
plot(t2,y2);
subplot(4,1,3);
a3=[1,1.2];
b3=[1,0];
[h3]=impz(b3,a3,30);
y3=conv(xn,h3);
chang3=length(y3);
t3=(0:chang3-1)/fs;
plot(t3,y3);
subplot(4,1,4)
chang4=length(xn);
t4=(0:chang4-1)/fs;
plot(t4,xn);

```

运行结果:

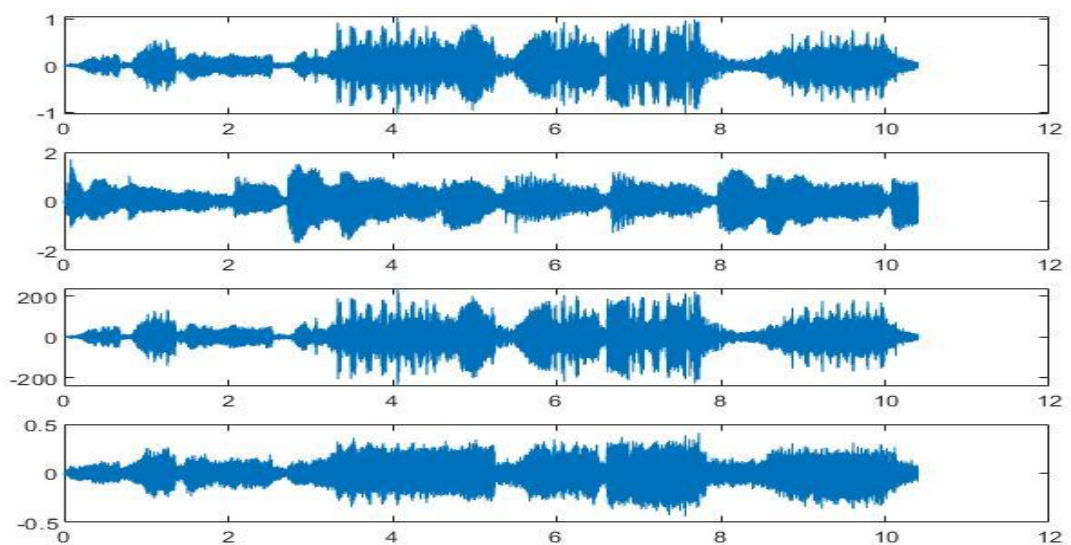


图 4

实验分析：

个人感觉此实验还是有些稍复杂，可能是自己初次接触，对函数的理解和运用还不太到位所致，这里用到了对音频的提取函数以及用到了单位冲击响应函数和卷积，涉及知识点比较多，有些混乱，需要掌握前面几个实验的函数才能完成此题。这里滤波后信号幅度变化的原因就是信号经过了滤波器。