

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: 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: 2018210186

学生姓名: 孙展

联系电话: 13368399165

重庆邮电大学教务处制

课程名称	数字信号处理	课程编号	A2010550
实验地点	移动通信技术实验室 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	实验三 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

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

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

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

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

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

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

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

3、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

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

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 $[0, \pi]$ 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

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

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

实验程序代码：

%第三次实验课

%2018210186 孙展 2020.10.27

%求 $X(z) = \frac{2z^4+16z^3+44z^2+56z+32}{3z^4+3z^3-15z^2+18z-12}$ 的部分分式展开和

B=[2 16 44 56 32];%分子多项式系数

A=[3 3 -15 18 -12];%分母多项式系数

[R1 P1 K1]=residuez(B,A) %部分展开函数

%求零极点分布图，判断是否稳定

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

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

figure(1);

B=[2 -1.6 -0.9]; %分子多项式系数

A=[1 -2.5 1.96 -0.48]; %分母多项式系数

[R2 P2 K2]=tf2zp(B,A) %零极点计算函数

zplane(B,A),grid on

legend('零点','极点')

title('零极点分布图')

figure(2);

B=[1 -1]; %分子多项式系数

A=[1 -0.9 -0.65 0.873]; %分母多项式系数

[R3 P3 K3]=tf2zp(B,A) %零极点计算函数

zplane(B,A),grid on

legend('零点','极点')

title('零极点分布图')

%绘制 $H(z) = \frac{z^2}{z^2-0.75z+0.125}$ 频率响应曲线

B=[1]; %分子多项式系数

A=[1 -0.75 0.125]; %分母多项式系数

```

[H,w]=freqz(B,A,400,'whole'); %系统频率响应特性曲线函数
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
figure(3);
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')

```

实验程序运行结果和分析：

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。

```

命令窗口
不熟悉 MATLAB? 请参阅有关快速入门的资源。

R1 =

    -0.0177 + 0.0000i
     9.4914 + 0.0000i
    -3.0702 + 2.3398i
    -3.0702 - 2.3398i

P1 =

    -3.2361 + 0.0000i
     1.2361 + 0.0000i
     0.5000 + 0.8660i
     0.5000 - 0.8660i

K1 =

    -2.6667

```

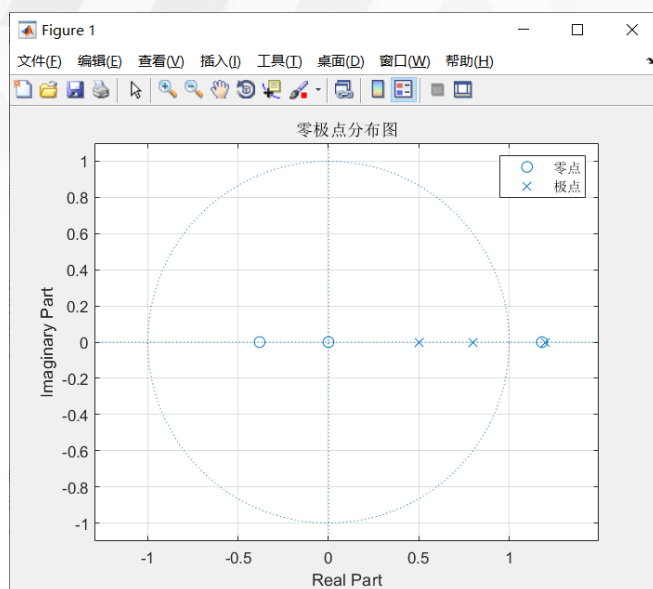
上图为 matlab 程序运行结果。

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。由 matlab 程序运行得出 R, P, K 即可求得上式部分分式展开和。

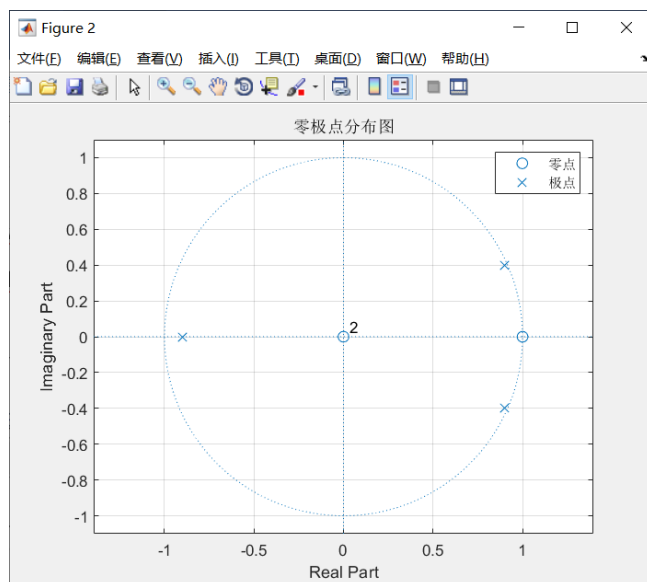
2. 试用 MATLAB 画出下列因果系统的系统函数零极点分布图, 并判断系统的稳定性。

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

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



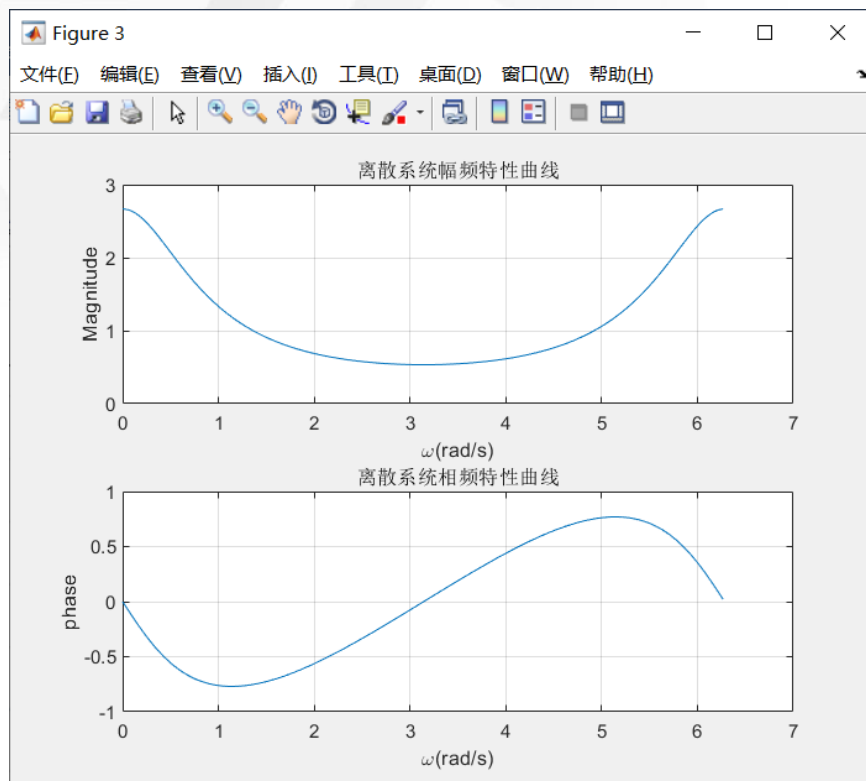
图一



图二

由 matlab 程序运行后可得式子 (1) (2) 的零极点图, 如图一和图二所示。由上面两图可以得出 (2) 中因果系统的极点全部在单位圆内, 系统稳定, 式子 (1) 因果系统的极点不全部在单位圆内, 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。



图三

图三为 matlab 通过程序绘制系统对应的频率响应曲线，上面为幅频特性曲线，下面为相频特性曲线

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。

%思考题 1

```
figure(4);
```

```
Y=[1 -0.9];
```

```
X=[1 -1];
```

```
[R4 P4 K4]=tf2zp(Y,X)
```

```
zplane(Y,X), grid on
```

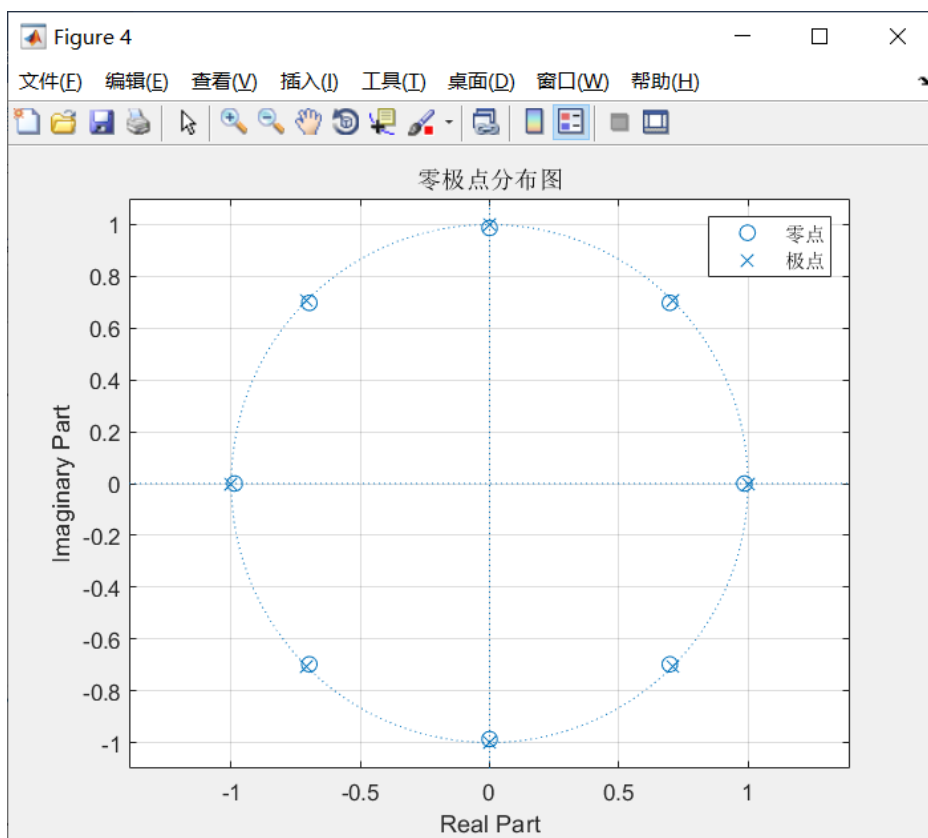
```
legend('零点','极点')
```

```

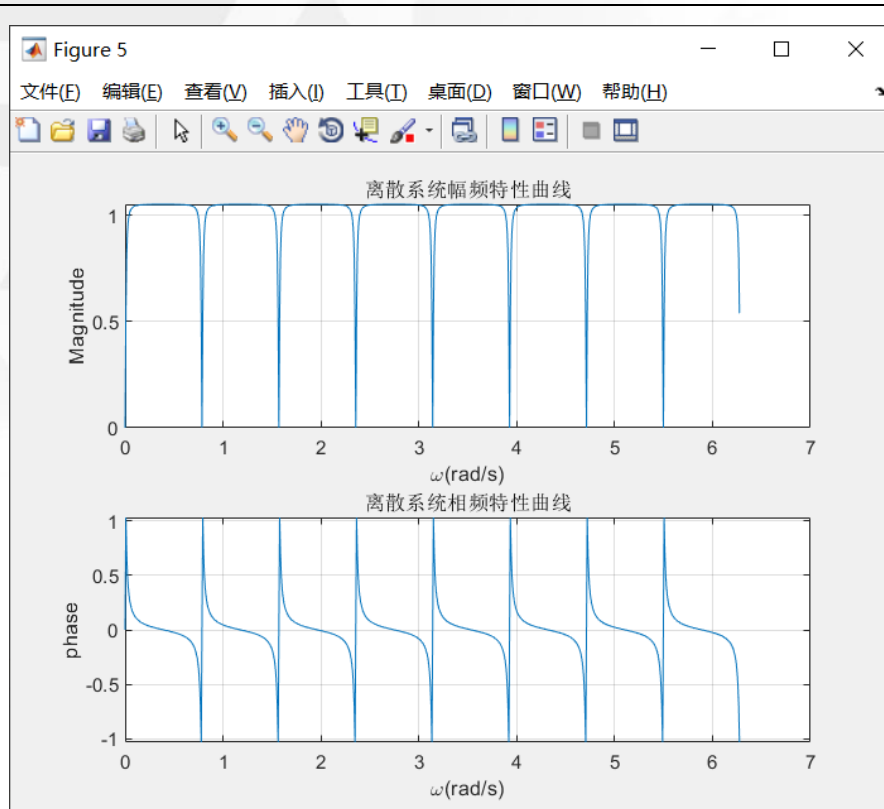
title('零极点分布图')

[H,w]=freqz(Y,X,800,'whole');
Hm=abs(H);
Hp=angle(H);
figure(5);
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')

```



图四



图五

图四为使用 matlab 程序运行绘制得出的该系统的零极点分布图，由图可得因果系统的极点全部在单位圆内，系统稳定。

图五为 matlab 通过程序绘制系统对应的频率响应曲线，上面为幅频特性曲线，下面为相频特性曲线。

该系统的功能为梳状滤波器对信号进行滤波，只让特定频率的信号通过。因为其特性曲线像梳子一样就称为梳状滤波器。由幅频曲线图看出在特定的频率，系统对应的幅度值接近为 0，与初始信号卷积操作可以实现滤波功能

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。

%思考题 2

figure(6);

B1=[1, 0]; %分子多项式系数

A1=[1, 0.8]; %分母多项式系数

h1=impz(B1,A1); % impz求单位取样响应

B2=[1, 0]; %分子多项式系数

A2=[1, -1]; %分母多项式系数

h2=impz(B2,A2); % impz求单位取样响应

B3=[1, 0]; %分子多项式系数

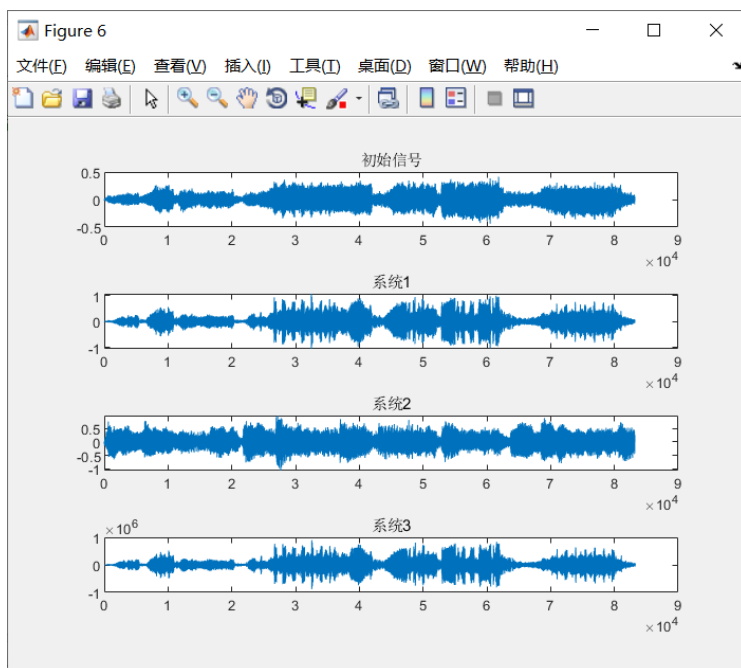
```

A3=[1, 1.2]; %分母多项式系数
h3=impz(B3,A3); % impz求单位取样响应
[xn,fs]=audioread('D:\motherland.wav'); %读取D盘内的音频文件

xn0=0:size(xn)-1; %初始信号的范围
g1=conv(h1,xn); %卷积运算
g2=conv(h2,xn);
g3=conv(h3,xn);

subplot(411)
plot(xn0,xn) %绘制初始信号图
title('初始信号');
x1=0:size(g1)-1; %系统1卷积结果显示范围
subplot(412)
plot(x1,g1) %绘制系统1滤波后结果
title('系统1');
x2=0:size(g2)-1; %系统2卷积结果显示范围
subplot(413)
plot(x2,g2) %绘制系统2滤波后结果
title('系统2');
x3=0:size(g3)-1; %系统3卷积结果显示范围
subplot(414)
plot(x3,g3) %绘制系统3滤波后结果
title('系统3');

```



图六

图六为滤波前初始信号的波形图以及通过三个不同的系统滤波后的波形图