

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： 2018210200

学生姓名： 韩坤

联系电话： 15310404664

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	10.27 第八周周二
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 $X(z)$ 是有理函数，设 $X(z)$ 的有理分式表示为

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

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

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

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

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

如果系统函数 $H(z)$ 的有理函数表示式为

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

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

$$[Z, P, K] = \text{tf2zp}(B, A)$$

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

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

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。

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

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

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;

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

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

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. 实验代码

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

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. (1) 实验代码

```
B=[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')
```

运行结果

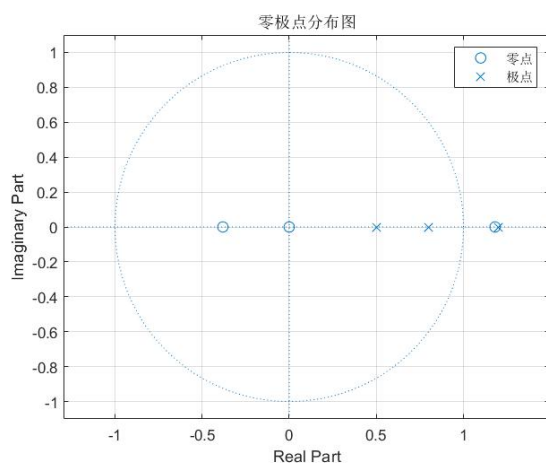


图 1

(2) 实验代码

```
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')
```

运行结果

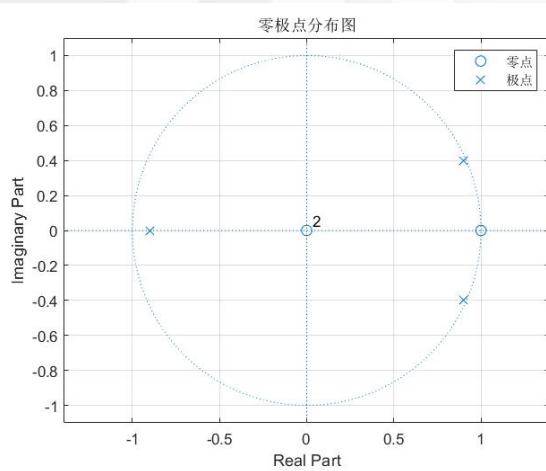


图 2

由图 1 图 2 可得，第二个系统比第一个系统稳定。

3. 实验代码

```
b=[1]
a=[1 -3/4 1/8]
[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')
```

运行结果

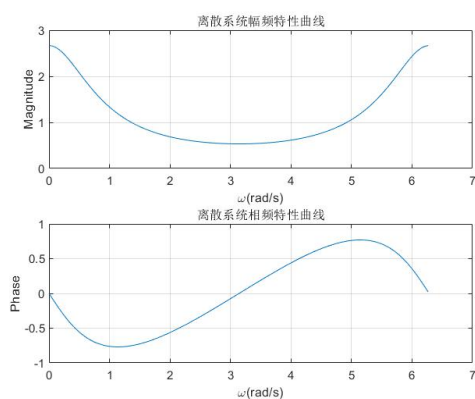


图 3

四、思考题

1. 实验代码

```
B=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -0.9]
A=[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')
b=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -0.9]
a=[1, 0, 0, 0, 0, 0, 0, 0, -1]
[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')
运行结果
```

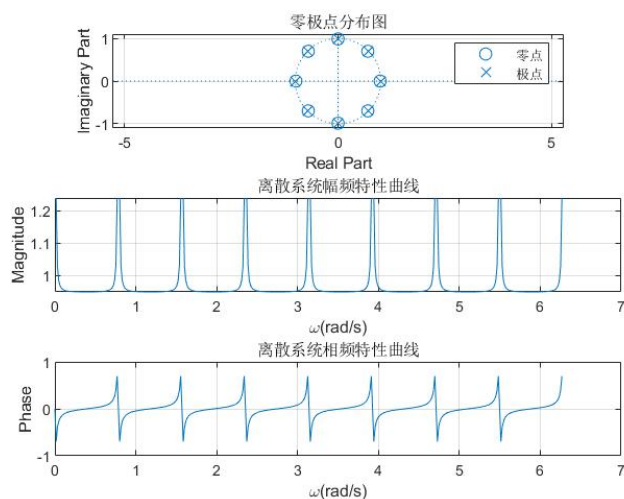


图 4

由图 4 中零极点分布图可得该系统稳定

2. 实验代码

```
[xn, fs]=audioread('C:\Users\HanKun\Documents\TencentFiles\2460404886\FileRecv\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);
title('H1 (z) 滤波后波形图');
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);
title('H2 (z) 滤波后波形图');
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);
title('H3 (z) 滤波后波形图');
subplot(4, 1, 4)
chang4=length(xn);
t4=(0:chang4-1)/fs;
plot(t4, xn);
title('滤波前波形图');

```

运行结果

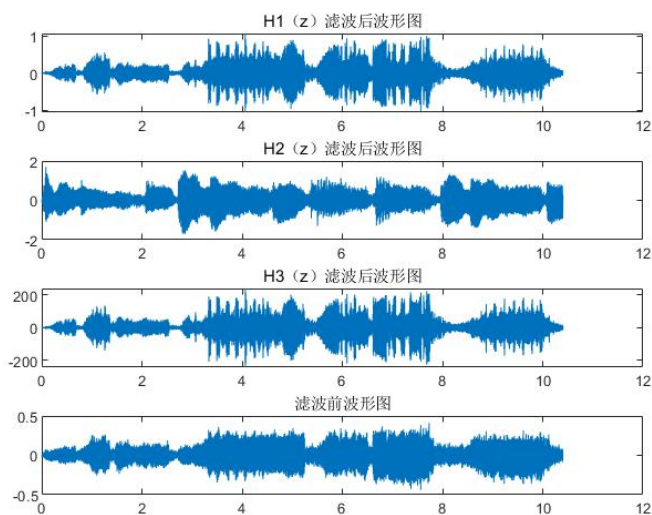


图 5

