

重庆邮电大学

学生实验实习报告册

学年学期: 2019 -2020 学年 ☐春☒秋学期

课程名称: 数字处理实验

学生学院: 通信与信息工程学院

专业班级: 01011803

学生学号: 2018210189

学生姓名: 范彬

联系电话: 15223745747

重庆邮电大学教务处制

| | | | |
|--------|-------------------------|--------|-------------------|
| 课程名称 | 信号处理实验 | 课程编号 | S01201A2010550003 |
| 实验地点 | YF304 | 实验时间 | 周二，一二节 |
| 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式。
- 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于其时域特性的关系
- 学会运用 matlab 进行离散时间系统的频率响应特性曲线

二、 实验原理

2.1 有理函数 z 变换的部分分式展开

如果信号的 z 域表达式 $X(z)$ 是有理数，设 $X(z)$ 的有理式表达为：

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

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。

2.2 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 $H(z)$ 的有理函数表达式为：

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

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 分别表示的分子与分母多项式的系数向量。它的作用是将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

$$\text{zplane}(B, A)$$

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。

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 $h(n)$ 函数与 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 $H(z)$ 说明系统函数的零极点分布与系统时域特性的关系。

当极点位于单位圆内时， $h(n)$ 为衰减序列；当极点位于单位圆上时， $h(n)$ 为等幅序列；当极点位于单位圆外时， $h(n)$ 为增幅序列。若 $h(n)$ 有一阶实数极点，则 $h(n)$ 为指数序列；若 $h(n)$ 有一阶共轭极点，则 $h(n)$ 为指数振荡序列；若 $h(n)$ 的极点位于虚轴左边，则 $h(n)$ 序列按一正一负的规律交替变化。

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：

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

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 $\omega_s \left(\omega_s = \frac{2\pi}{T}, \text{若 } T=1, \omega_s = 2\pi \right)$ 为周期的周期

函数。因此，只要分析 $H(e^{jw})$ 在 $|w| \leq \pi$ 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 $H(e^{jw})$ 在 $0 - \pi$ 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

实验内容 1

1. %% 实验一，有理函数部分分式展开式
2. $B=[2 \ 16 \ 44 \ 56 \ 32]$;
3. $A=[3 \ 3 \ -15 \ 18 \ -12]$;
4. $[R, P, K]=\text{residuez}(B, A)$

结果如下：

```
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
```

实验内容 2

1. %% 实验 2，零极点图，并判断系统是否稳定
2. `figure(1)`
3. $B1=[2 \ -1.6 \ -0.9]$;

```

4. A1=[1 -2.5 1.96 -0.48];
5. subplot(2,1,1)
6. zplane(B1,A1);
7. title("零极点分布图")
8. subplot(2,1,2)
9. B2=[1 -1];
10. A2=[1 -0.9 -0.65 0.873 0];
11. zplane(B2,A2)
12. title("零极点分布图")

```

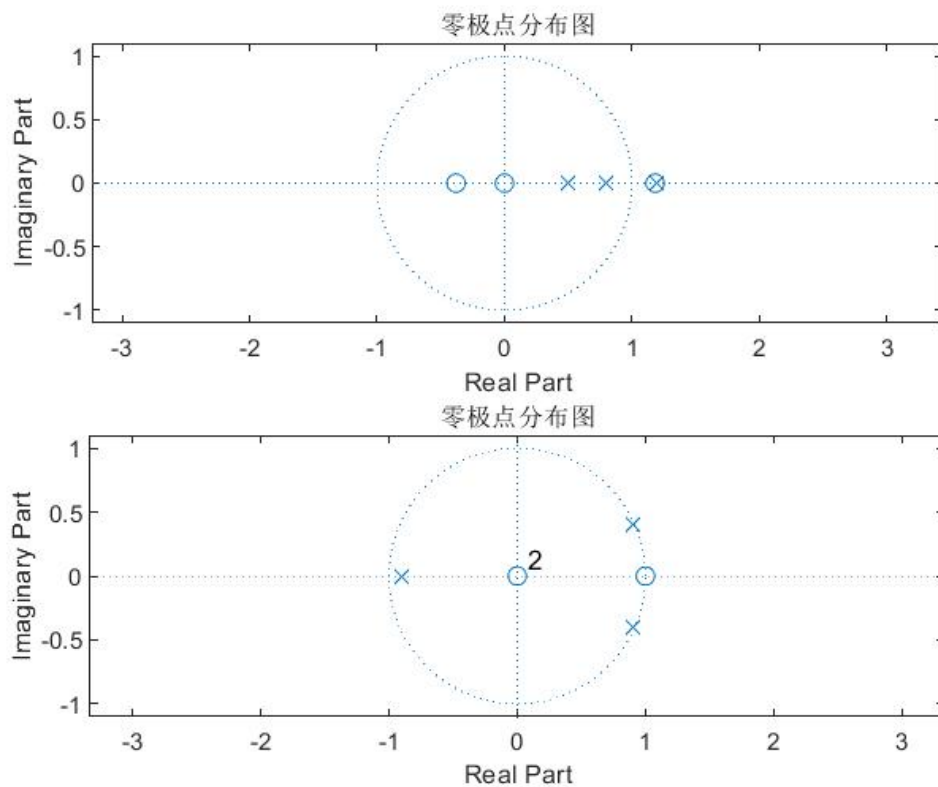


图 1 实验二结果图

实验内容 3

```

1. %% 实验 3, 绘制频率响应曲线
2. B3=[1 0 0];
3. A3=[1 -3/4 1/8];
4. [H w]=freqz(B3,A3,400,'whole');
5. Hm=abs(H);
6. Hp=angle(H);
7. subplot(2,1,1)
8. plot(w,Hm)
9. grid on
10. xlabel('\omega(rad\s)')

```

```

11. ylabel('Magnitude')
12. title('离散系统曲线')
13. subplot(2,1,2)
14. plot(w,Hp)
15. grid on
16. xlabel('\omega(rad/s)')
17. ylabel('Phase')
18. title('离散系统频率响应特性')

```

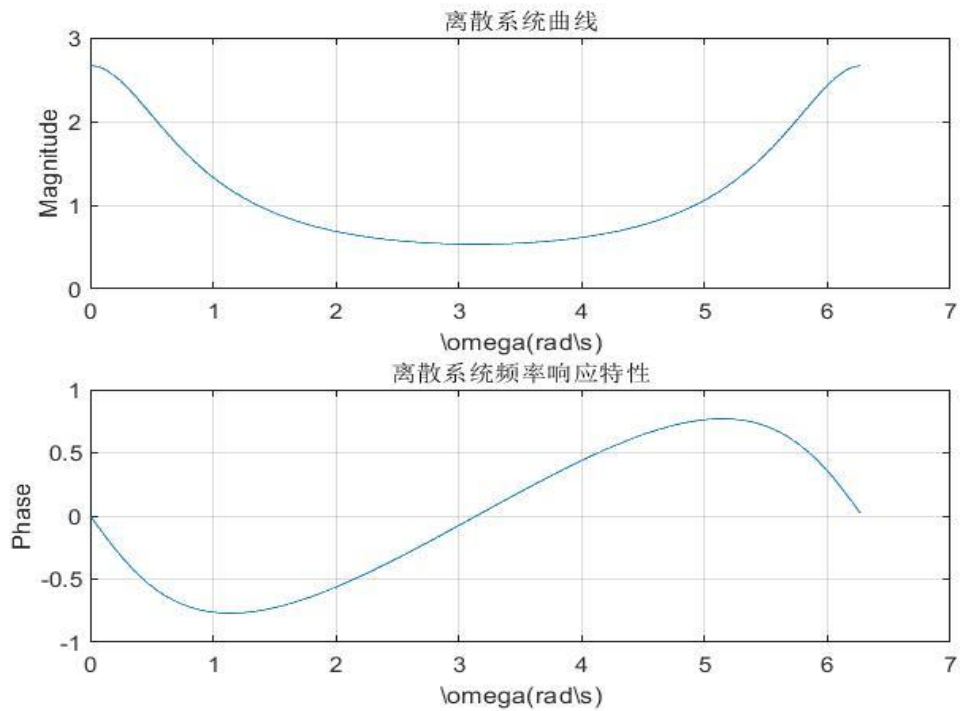


图 2 实验三结果图

四、思考题

思考题一

```

1. clc
2. clear all
3. %% 思考题 1
4. %第一小问
5. B=[1 0 0 0 0 0 0 -1];
6. A=[1 0 0 0 0 0 0 -0.9];
7. figure(1)
8. zplane(B,A);
9. title("零极点分布图")
10. %第二小问

```

```

11. [H w]=freqz(B,A,400,'whole');
12. Hm=abs(H);
13. Hp=angle(H);
14. figure(2)
15. subplot(2,1,1)
16. plot(w,Hm)
17. title("幅频特性曲线")
18. subplot(2,1,2)
19. plot(w,Hp)
20. title("相平曲线图")

```

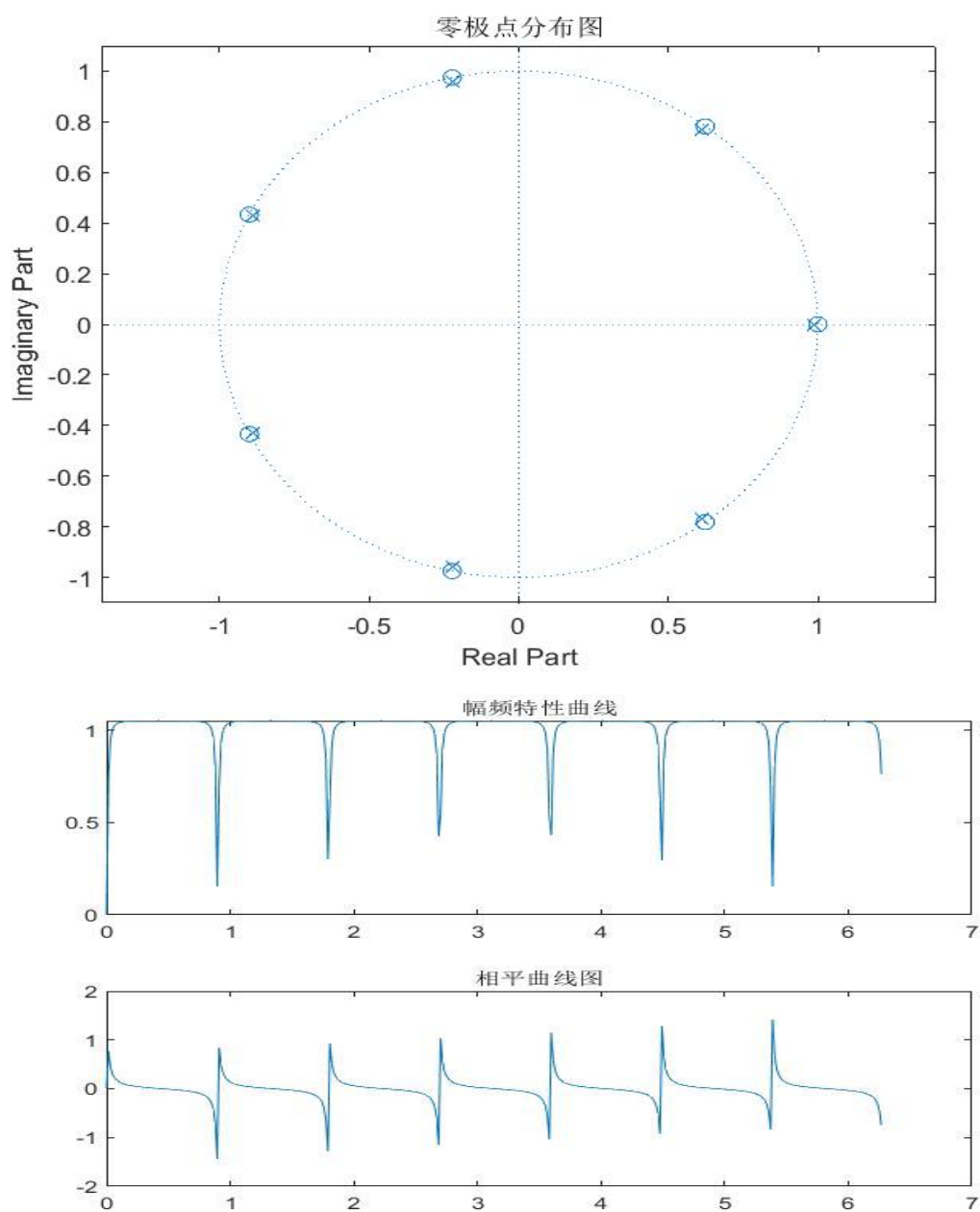


图 3 思考题一结果图

思考题 2

```
1. %% 思考题 2
2. %  $H1=z/(z+0.8)$ ;
3. %  $H2=z/(z-1)$ ;
4. %  $H3=z/(z+1.2)$ ;
5. [xn,fs]=audioread("motherland.wav");
6. b1=[1 0];
7. a1=[1 0.8];
8. n=0:30;
9. x=(n==0)
10. h1=filter(b1,a1,x);
11. y1=conv(xn,h1);
12. figure(3)
13. subplot(3,1,1)
14. plot(y1);
15.
16. subplot(3,1,2)
17. b2=[1 0];
18. a2=[1 -1];
19. n=0:30;
20. x=(n==0)
21. h2=filter(b2,a2,x)
22. y2=conv(xn,h2);
23. subplot(3,1,2)
24. plot(y2);
25.
26. b3=[1 0];
27. a3=[1 1.2];
28. n=0:30;
29. x=(n==0)
30. h3=filter(b3,a3,x)
31. y3=conv(xn,h3);
32. subplot(3,1,3)
33. plot(y3);
```

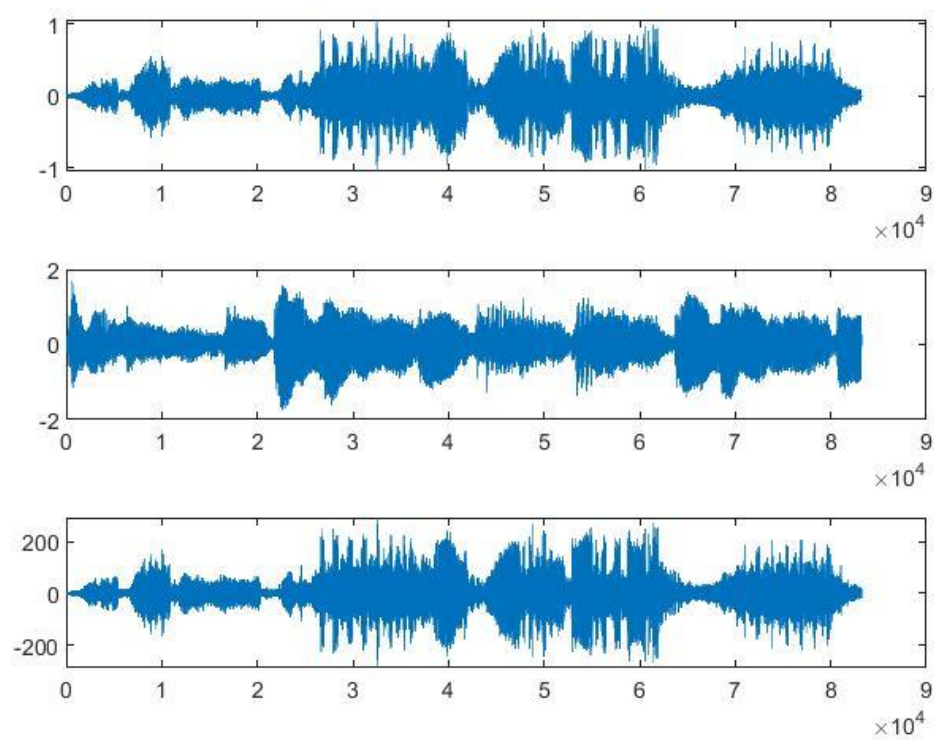



图 4 思考题 2 结果图