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： 2018210188

学生姓名： 蔡东君

联系电话： 15730807595

重庆邮电大学教务处制

课程名称	信号处理实验	课程编号	
实验地点	YF304	实验时间	2020/10/27
校外指导教师		校内指导教师	邵凯
实验名称	系统响应及系统稳定性		
评阅人签字		成绩	

一、实验目的

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；
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。

二、实验原理

1.MATLAB 中可以通过 residuez 函数对有理函数 z 变换进行部分分式展开，其调用格式为：[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.MATLAB 中可以通过 tf2zp 获得系统函数的零极点，其调用形式为：[Z,P,K]=tf2zp(B,A)，其中 B，A 分别表示 H(x)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。

3.MATLAB 中可以通过 zplane 将零极点图画出来，其调用格式为：zplane(B,A)，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。它的作用是在 Z 平面上画出单位圆、零点与极点。

4.MATLAB 中可以通过 freqz 函数对系统进行频率响应分析，其调用格式为：[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, 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$H(e^{j\omega})$在 0~π 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, π]扩展到[0,2π]。

三、实验程序及结果分析

1. 试用 MATLAB 的 residuez 函数，求出下式的部分分式展开和。

$$X(z)=\frac{2z^4+16z^3+44z^2+56z+32}{3z^4+3z^3-15z^2+18z-12}$$

代码：

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

实验结果：

```
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. 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。

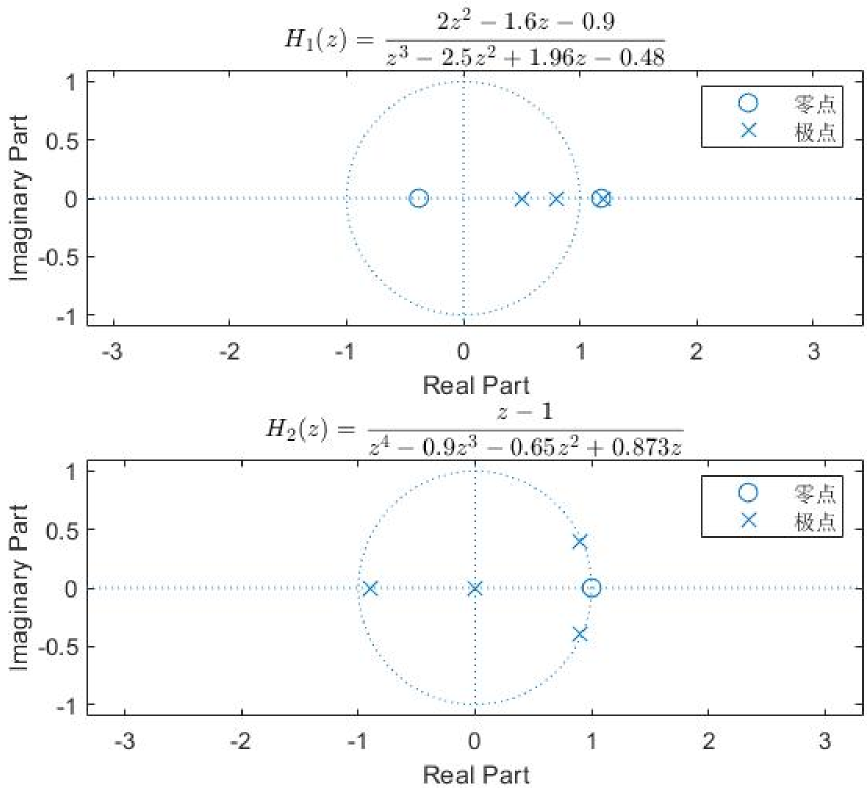
(1) $H(z)=\dfrac{2z^2-1.6z-0.9}{z^3-2.5z^2+1.96z-0.48}$

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

代码：

```matlab
B1 = [0 2 -1.6 -0.9];  % 分母分子的位数要一样，如果相差就补0
A1 = [1 -2.5 1.96 -0.48];
% impz(B1, A1);
[Z1, P1, K1] = tf2zp(B1, A1);
subplot(2, 1, 1);
zplane(B1, A1);
legend('零点', '极点');
title('$$ H_1(z)=\frac{2z^2-1.6z-0.9}{z^3-2.5z^2+1.96z-0.48} $$', ...
    'Interpreter', 'latex');
% title('H1(z)零极点分布图');

B2 = [0 0 0 1 -1];
A2 = [1 -0.9 -0.65 0.873 0];
% impz(B2, A2);
[Z2, P2, K2] = tf2zp(B1, A1);
subplot(2, 1, 2);
zplane(B2, A2);
legend('零点', '极点');
title('$$ H_2(z)=\frac{z-1}{z^4-0.9z^3-0.65z^2+0.873z} $$', ...
    'Interpreter', 'latex');

```

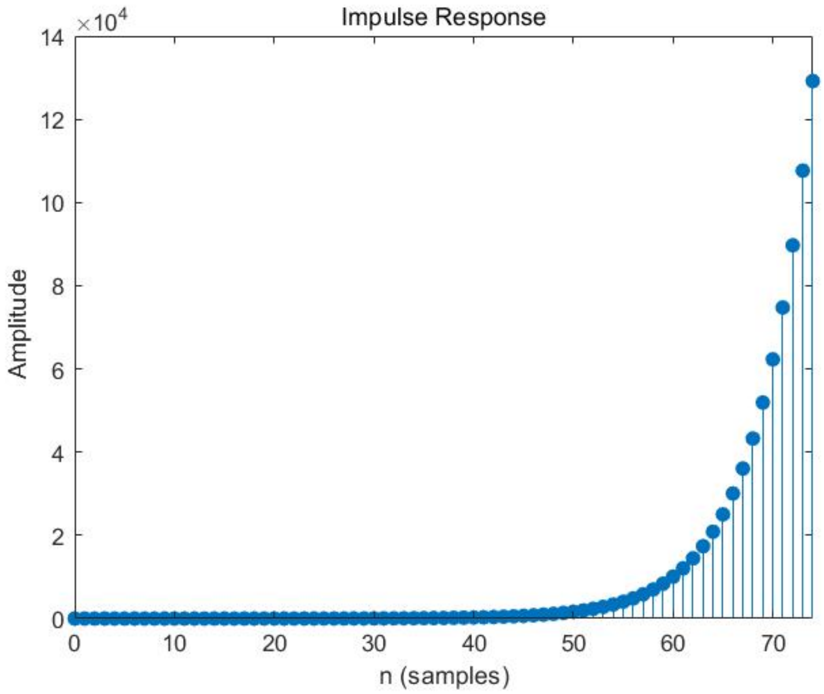
实验结果截图：



图一

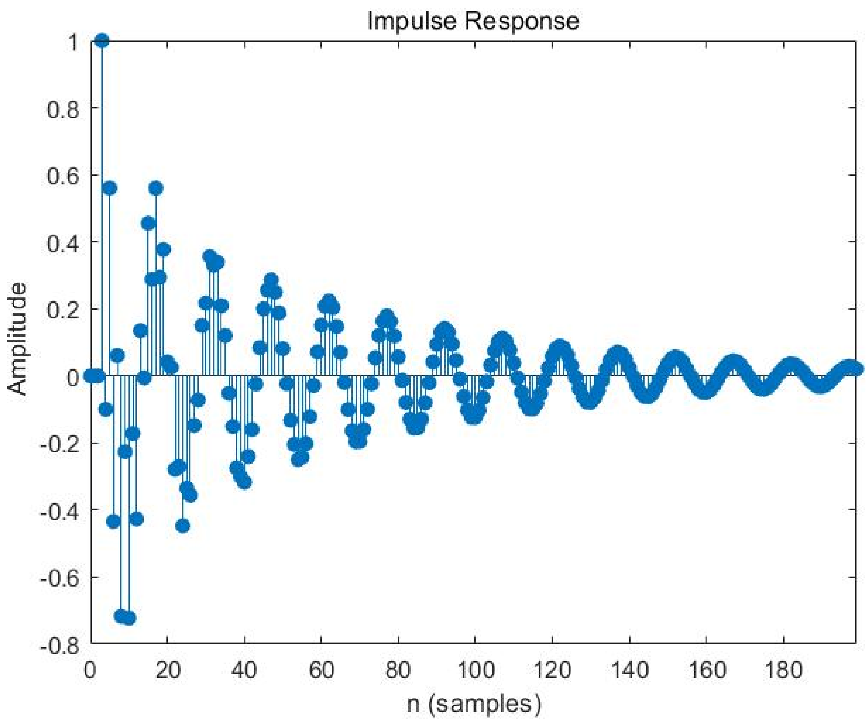
判断系统的稳定性：

系统一（图一中的第一个小图）有 2 个零点（z1=-0.381, z2=1.181）和 3 个极点(p1=1.2, p2=0.8, p3=0.5)，由于单位圆外的零点和极点是没有重合的，所以该系统是不稳定的，通过 impz 画出该系统的单位冲激响应如下：



图二

系统二（图一中的第二个小图）只有 1 个零点（z1=1）和 4 个极点（p1=0, p2=-0.9, p3=0.9+0.4i, p4=0.9-0.4i）。由于这四个极点都在单位圆内，因此该系统是稳定的，通过 impz 画出该系统的单位冲激响应为：



图三

3. 试用 MATLAB 绘制如下系统的频率响应曲线。

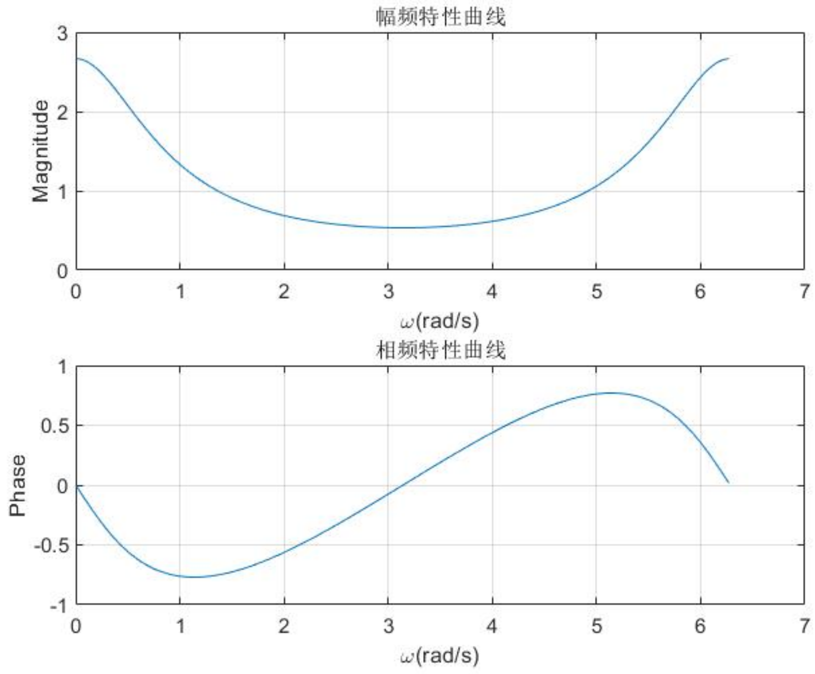
$$H(z) = \frac{z^2}{z^2 - \frac{3}{4}z + \frac{1}{8}}$$

代码：

```
B = [1 0 0];
A = [1 -3/4 1/8];
[H, w] = freqz(B, A, 500, 'whole');
Hm = abs(H);
Hp = angle(H);
subplot(2, 1, 1);
plot(w, Hm), grid on;
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Magnitude');
title('幅频特性曲线');
subplot(2, 1, 2);
plot(w, Hp), grid on;
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Phase');
title('相频特性曲线');

```

实验效果截图：

可以看出该系统是一个低通滤波器。



图四

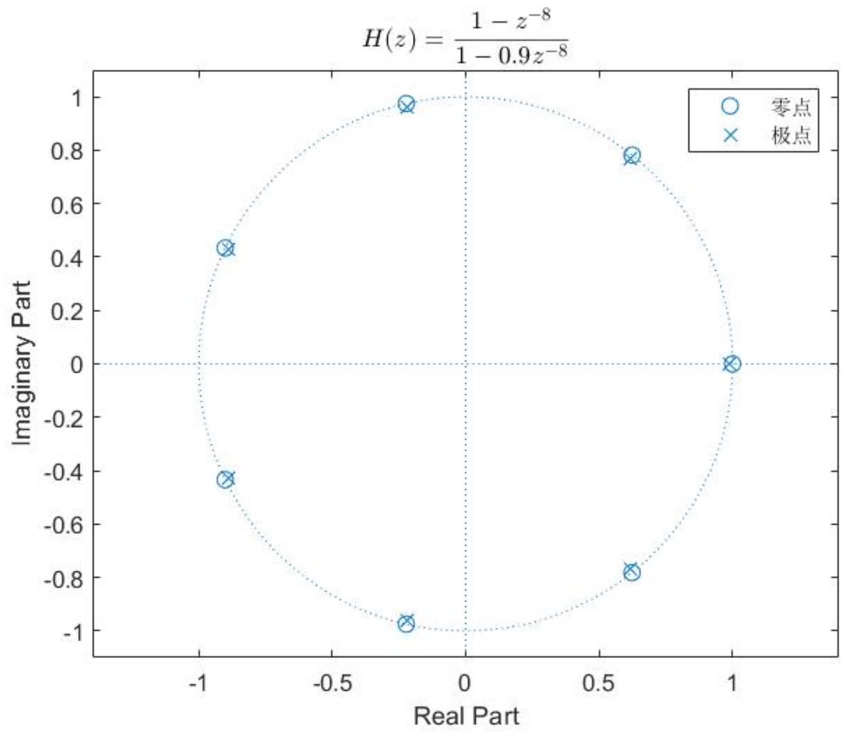
思考题：

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0~2π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。

```
B = [1 0 0 0 0 0 0 0 -1];
A = [1 0 0 0 0 0 0 0 -0.9];
% [Z, P, K] = tf2zp(B, A)
zplane(B, A);
legend('零点', '极点');
title('$$ H(z) = \frac{1-z^{-8}}{1-0.9z^{-8}}$$', ...
    'Interpreter', 'latex');

[H, w] = freqz(B, A, 500, 'whole');
Hm = abs(H);
Hp = angle(H);
subplot(2, 1, 1);
plot(w, Hm), grid on;
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Magnitude');
title('幅频特性曲线');
subplot(2, 1, 2);
plot(w, Hp), grid on;
```

```
xlabel('\omega(rad/s)');
ylabel('Phase');
title('相频特性曲线');
```

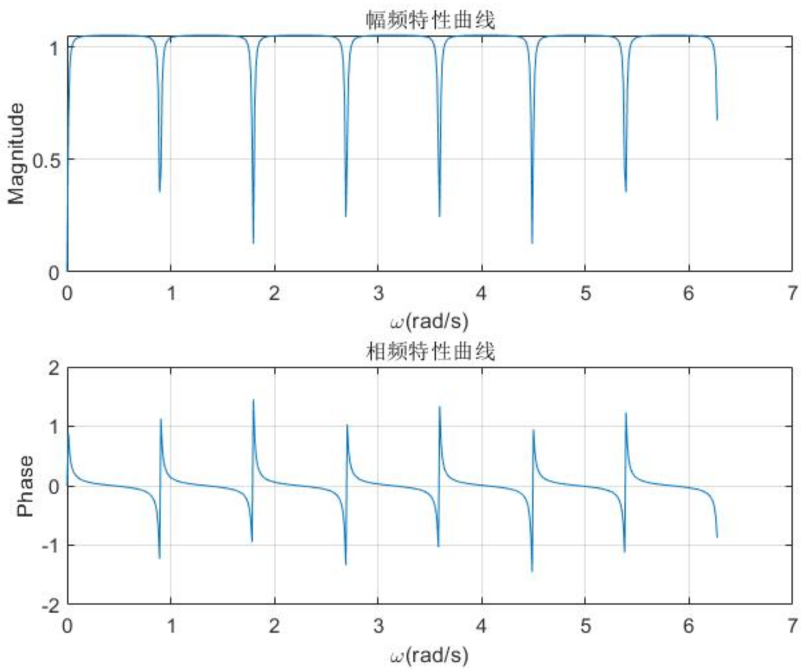
零极点分布图：



图五

稳定性分析：
由于所有的极点均在单位圆内，因此该系统是稳定的。

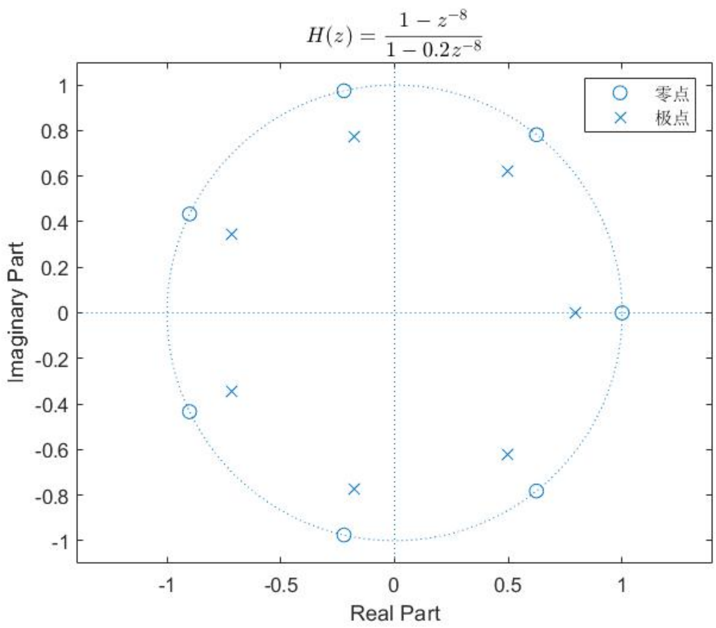
频率响应：



图六

从幅频特性曲线可以看出，该系统是梳妆滤波器。梳妆滤波器的系统函数一般为：$H(z^N)=\dfrac{1-z^{-N}}{1-az^{-N}}$，梳妆滤波器可以滤去输入信号中$\omega=\dfrac{2\pi}{N}k,\ k=0,1,\ldots,N-1$的频率分量。a 取值越接近 1，幅频特性曲线越平坦。如下是 a=0.2,N=8 时的零极点分布图和频率响应图：

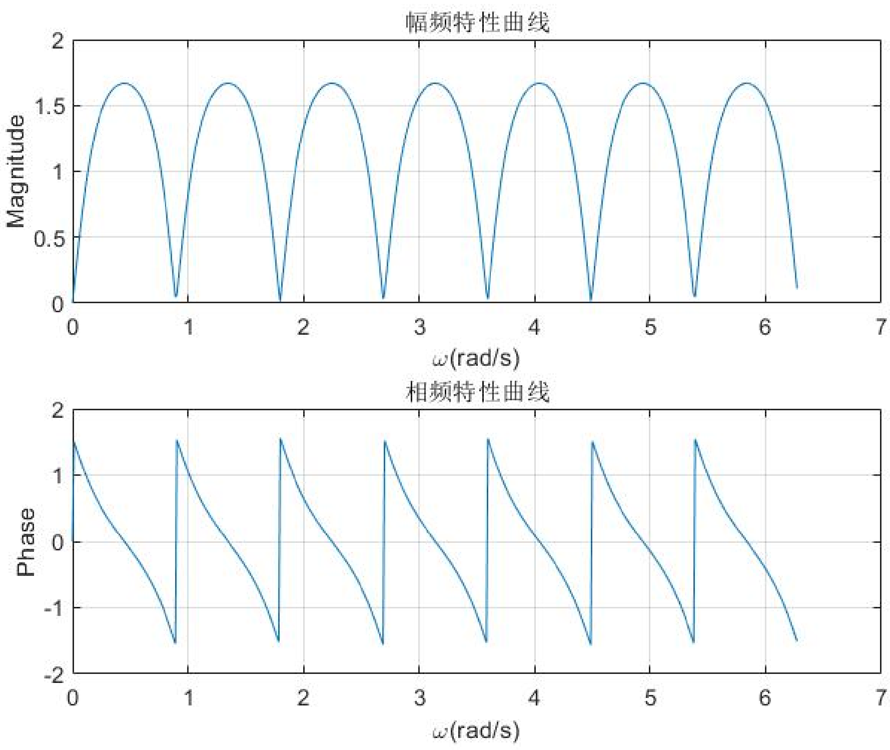
零极点分布图：



图七

频率响应：

可以看出，比 a=0.9（即图六）时更加陡峭。



图八

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;

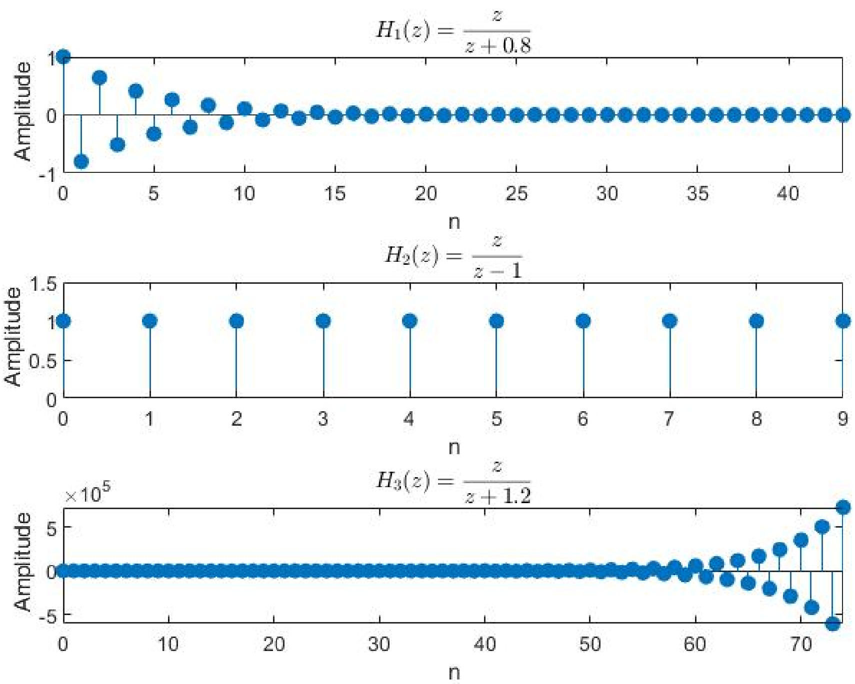
（2）分析说明滤波后信号幅度变化的原因。

代码:

```
filename = 'motherland.wav';
[Y, FS] = audioread(filename);

% 1.1 使用 filter 进行滤波
Y1 = filter([1 0], [1 0.8], Y);
Y2 = filter([1 0], [1 -1], Y);
Y3 = filter([1 0], [1 1.2], Y);

% 1.2 使用 conv 进行滤波
% h1 = impz([1 0], [1 0.8]);
% h2 = impz([1 0], [1 -1]);
% h3 = impz([1 0], [1 1.2]);
% Y1 = conv(h1, Y);
% Y2 = conv(h2, Y);
% Y3 = conv(h3, Y);

% 2. 画出各个系统的单位冲激响应
figure(1);
subplot(3, 1, 1);
impz([1 0], [1 0.8]);
title('$$H_1(z) = \frac{z}{z + 0.8}$$', 'Interpreter', 'latex');
xlabel('n');

subplot(3, 1, 2);
impz([1 0], [1 -1]);
ylim([0 1.5]);
title('$$H_2(z) = \frac{z}{z - 1}$$', 'Interpreter', 'latex');
xlabel('n');

subplot(3, 1, 3);
impz([1 0], [1 1.2]);
title('$$H_3(z) = \frac{z}{z + 1.2}$$', 'Interpreter', 'latex');
```

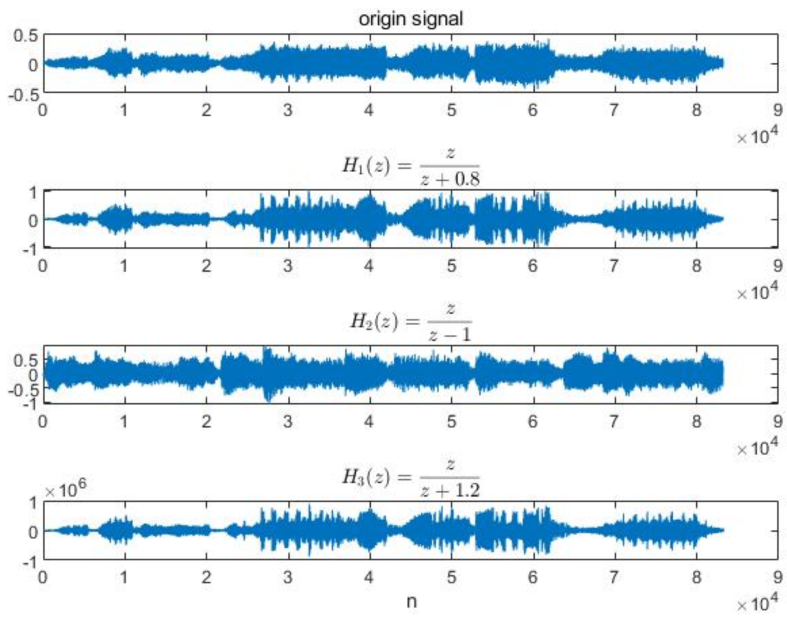
```
xlabel('n');

% 3. 画出滤波后的效果
figure(2);
subplot(4, 1, 1);
plot(Y);
title('origin signal');

subplot(4, 1, 2);
plot(Y1);
title('$$H_1(z) = \frac{z}{z + 0.8}$$', 'Interpreter', 'latex');

subplot(4, 1, 3);
plot(Y2);
title('$$H_2(z) = \frac{z}{z - 1}$$', 'Interpreter', 'latex');

subplot(4, 1, 4);
plot(Y3);
title('$$H_3(z) = \frac{z}{z + 1.2}$$', 'Interpreter', 'latex');
xlabel('n');
```

单位冲激响应：
从系统的单位冲激响应可以知道系统一是稳定的，系统二是临界稳定的，系统三是不稳定的。



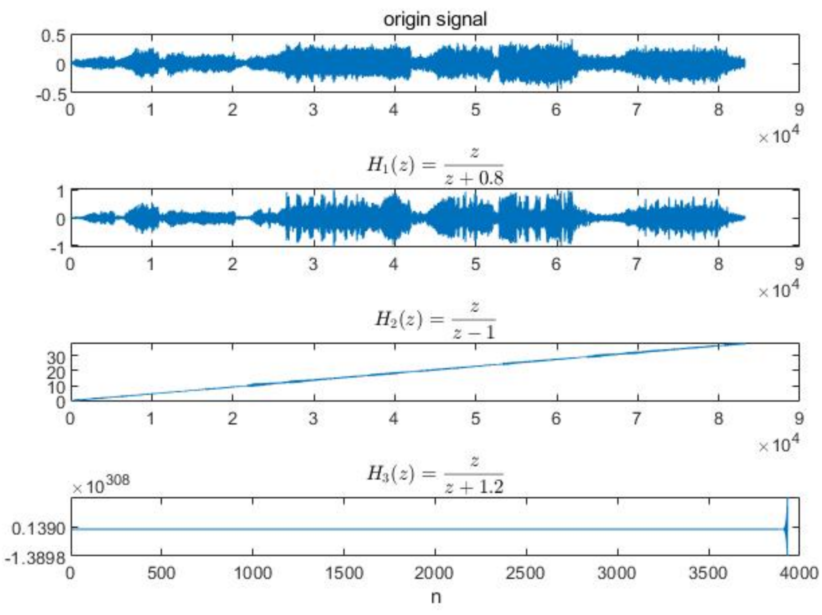
图九

滤波后的波形：
1）使用 conv 函数，即 conv(x,h)，其中 h=impz(B, A)。



图十

2）使用 filter 函数，即 filter(B, A, x)。



图十一

分析原因：
1.首先，要明白为什么用 conv 函数和 filter 函数对信号进行滤波的结果差异这么大。因为用 conv 函数进行滤波是用系统的单位冲激响应和输入信号相卷积，而由于系统二和系统三都不是（严格）稳定的，即其单位冲激响应不是收敛的，其长度为无限长，但传入 conv 的单位冲激响应 h 不可能是无限长的。事实上，h 是截取了一部分冲激响应的有限长脉冲序列，所以这相当于把系统都变成了稳

定的了（这也是为什么图十的结果都是收敛对的）。而用 filter 进行滤波时并没有发生截取这一操作，而是按照系统本来的特性进行滤波的。

2.有了上面的解释，我们就知道用 filter 进行滤波的结果才是更加真实的，即图十一的效果才能体现系统真正的特性。下面分析一下用 filter 进行滤波的结果（图十一）：

1）因为系统一是稳定的，所以用该系统对信号进行滤波后输出是稳定的，从图十一的第二幅小图可以看出输出信号的幅度在-1 到 1 之间。

2）系统二是临界稳定的，输入为单位冲激时，其输出是幅度为 1 的序列，且长度为无限长。所以用该系统对信号进行滤波，会使输出慢慢增加。

3）系统三是不稳定的，输入为单位冲激时输出都是无限长的发散序列，更何况输入为时间持续较长的序列。从图十一的第四幅小图可以看出，输出序列的第 3500 个值就已经非常大了（数量级为 10^308）。