

实验一 离散时间信号与系统

1. 实验目的

1. 熟悉应用 MATLAB 表示离散时间信号。
2. 掌握线性卷积求解系统输出的基本方法。
3. 掌握求解离散时间系统输出的方法。
4. 理解采样率变化对信号离散化产生的影响。

2. 实验内容

1. 画出幅度按指数衰减的有限长复指数序列 $x(n) = (0.9e^{-0.2\pi j})^n R_{30}(n)$ 的实部、虚部、幅度和相位。提示：可以调用的函数有 `exp()`、`stem()`、`real()`、`imag()`、`abs()`、`angle()`等

```
close all
clear
n = 0:29;
xn = (0.9 .* exp(-0.2 * pi * i)).^n;
s1 = subplot(2, 2, 1); stem(n, real(xn));
title('实部')
s2 = subplot(2, 2, 2); stem(n, imag(xn));
title('虚部')
s3 = subplot(2, 2, 3); stem(n, abs(xn));
title('幅频')
s4 = subplot(2, 2, 4); stem(n, angle(xn));
title('相频')
```

1.1.m

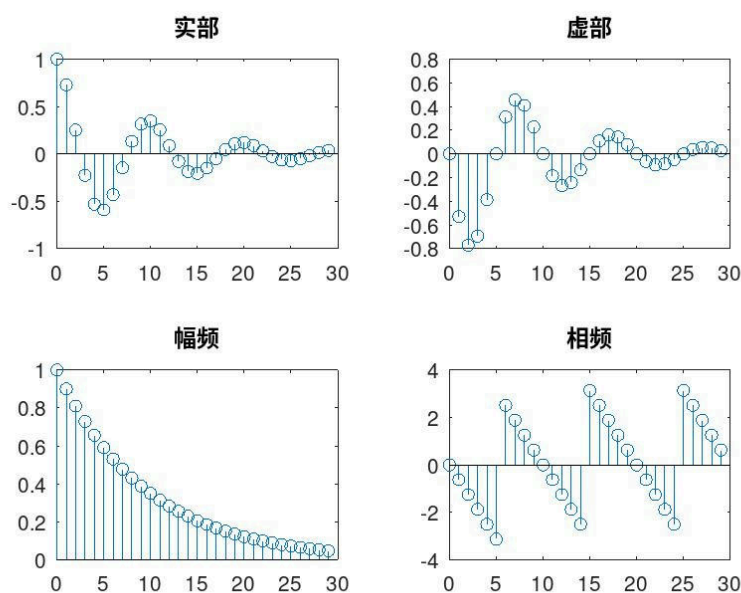


图 1 实验结果

2. 11 阶滑动平均系统的输入/输出关系是 $y(n) = \frac{1}{11} \sum_{k=0}^{10} x(n-k)$ ，输入信号是 $x(n) = 10 \cos(0.08\pi n) + w(n)$ ，其中 $w(n)$ 是一个在 $[-5, 5]$ 之间均匀分布的随机序列。试求：
 1. 用 `plot` 函数在 $0 \leq n \leq 100$ 之间画出输入信号 $x(n)$ 和输出信号 $y(n)$
 2. 画出 $x(n)$ 的 2 阶差分信号 $v(n) = x(n) - 2x(n-1) + x(n-2)$
 3. 画出 $v(n)$ 与 $w(n)$ 的相关序列
 4. 再产生一个随机序列，画出它与 $v(n)$ 的相关序列。

```

close all
clear

% 11 阶滑动平均系统
n = 0:100;
wn = floor(rand(1,101) * 11) - 5;
xn = 10*cos(0.08*pi.*n)+wn;
yn = filter(1/11*ones(1,11),1,xn);

s1 = subplot(5,1,1);plot(n,xn);
title('x(n)');
s2 = subplot(5,1,2);plot(n,yn);
title('y(n)');

% x(n) 的 2 阶差分信号
vn = filter([1,-2,1],1,xn);
s3 = subplot(5,1,3);plot(n,vn);
title('v(n)');

% v 与 w 的相关序列
s4 = subplot(5,1,4);plot(-100:100,xcorr(vn,wn));
title('v(n), w(n) 相关序列');

% v 与随机的相关序列
wn = floor(rand(1,101) * 11) - 5;
s5 = subplot(5,1,5);plot(-100:100,xcorr(vn,wn));
title('v(n) 与其他随机的相关序列');

```

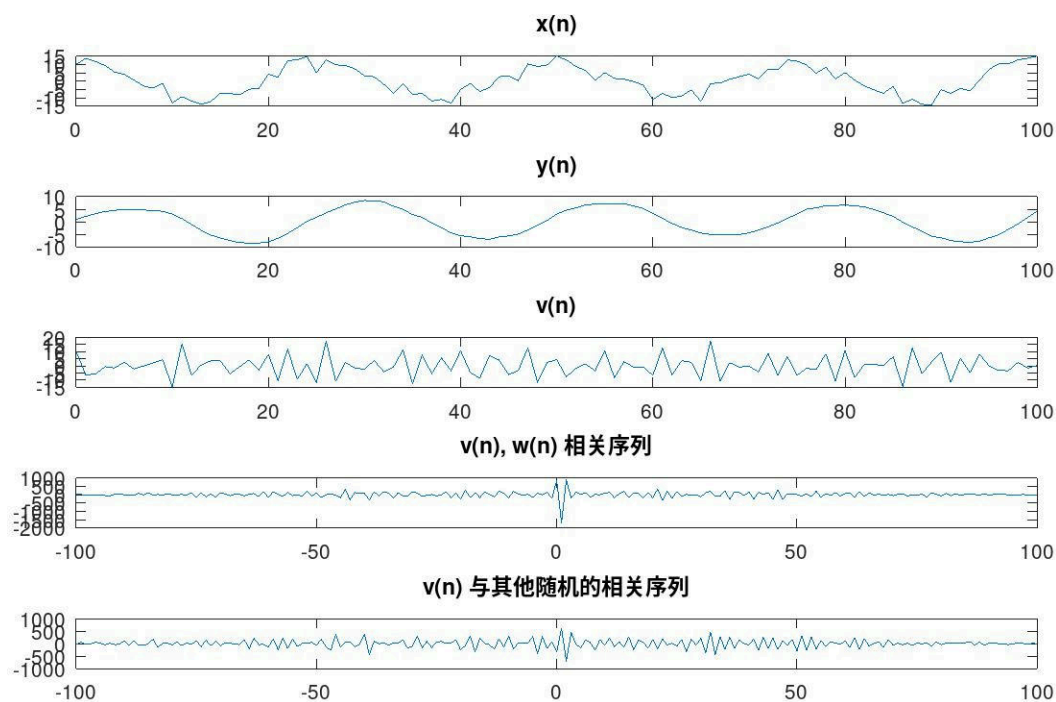


图 2 实验结果

- 实验分析与讨论（请手写）：
 1. 试分析 11 阶滑动平均系统的滤波特性。

测试

1. 试分析 2 阶差分系统的滤波特性。
2. 由 3.和 4.的实验结果, 你得出了什么结论?
3. 下面的差分方程可以产生声音的混响效果, 请为音频文件 `good.wav` 合成混响的效果, 并保存在 `new_good.wav` 文件中。用耳机欣赏混响前的音乐与混响后的音乐有何区别。

$$y(n) = x(n) + \alpha x(n - R) \text{ 其中, } \alpha < 1 (\text{比如: } \alpha=0.3, R=5000)$$

```
close all
clear
[x, fs] = audioread(' ../audio/good.wav');
subplot(2, 1, 1); plot(x); title('原始音频');
f = size(x)(1);
r = 4000;
y = zeros(f, 1);

for n = r + 1:f
    y(n) = 0.5 * x(n - r);
end

y = x + y;
subplot(2, 1, 2); plot(y); title('混响后音频');
audiowrite(' ../audio/new_good.wav', y, fs);
```

1.3.m

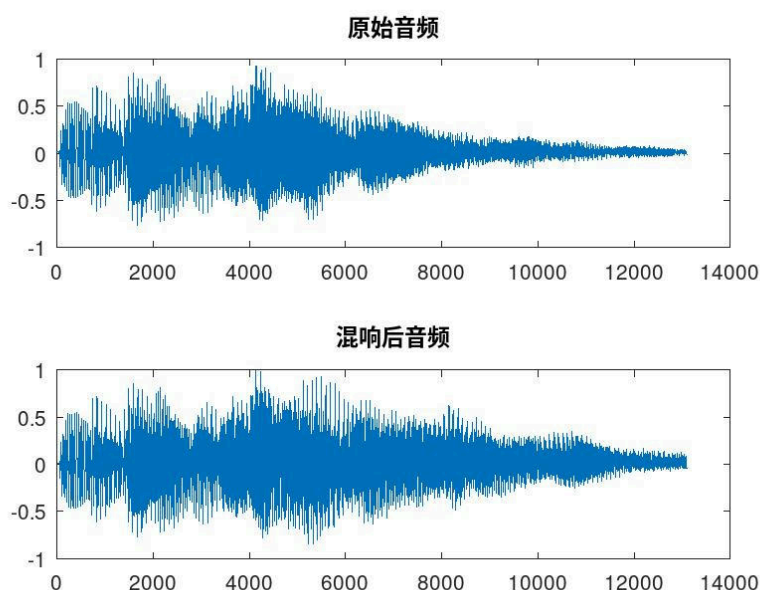


图3 实验结果

- 实验分析与讨论 (请手写):
 1. 请问该系统是 IIR 系统还是 FIR 系统?
 2. 请分析系统的因果性和稳定性在不同的 α 值和 R 值 ($R \neq \infty$) 下, 系统的因果性和稳定性是否会有变化?
 3. 请用文字简要描述不同 α 值和 R 值下的混响效果的区别。
- 4. 请编程实现实际音频信号经抽取系统 $T[x(2n)]$ 、 $T[x(4n)]$ 、 $T[x(8n)]$ 后的音效。待处理的音频文件分别为钢琴乐曲卡农片段 (`canon.wav`) 和语音片段 (`dsp.wav`)。展示你的程序设计方法并按照规定进行分析。

```
close all
clear
```

1.4.m

```
[x, fs] = audioread(' ../audio/canon.wav');
```

```
function y = ex(input, fs, i)
    y = downsample(input, i);
    filename = strcat(' ../audio/ex', int2str(i), '.wav');
    audiowrite(filename, y, fs);
end
```

```
subplot(4, 1, 1); plot(x); title('原始音频');
subplot(4, 1, 2); plot(ex(x, fs, 2)); title('T[x(2n)]');
subplot(4, 1, 3); plot(ex(x, fs, 4)); title('T[x(4n)]');
subplot(4, 1, 4); plot(ex(x, fs, 8)); title('T[x(8n)]');
```

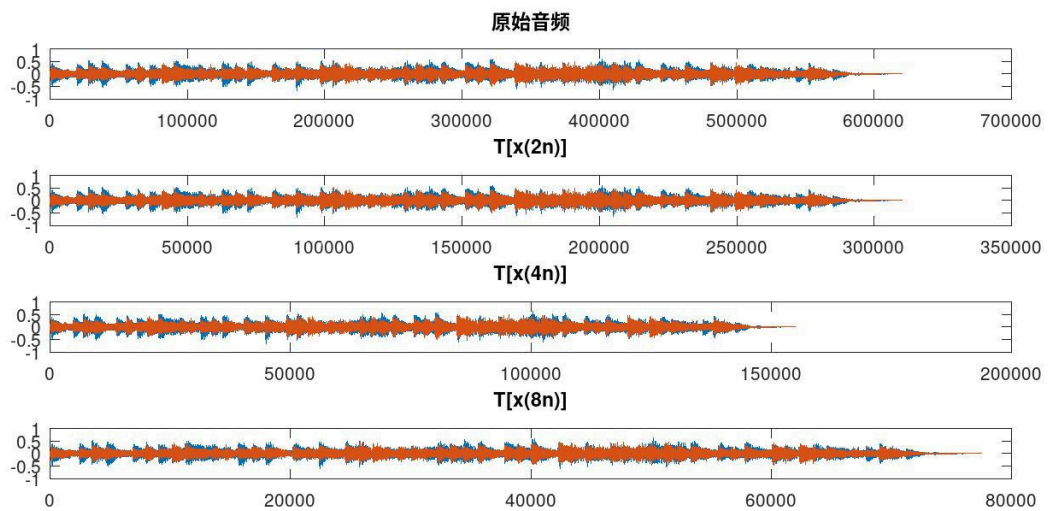


图 4 实验结果

- 实验分析与讨论（请手写）：
 1. 请比较分析两段乐曲在不同采样率下是否存在失真情况？
 2. 请问随着采样率的不断下降，钢琴音频和语音哪一个失真效果更显著？请解释你的结论。

实验二 离散傅立叶变换与分析

1. 实验目的

1. 熟悉应用 MATLAB 求解信号频谱的方法。
2. 掌握应用 FFT 的方法求解系统输出的步骤。
3. 对比分析利用线性卷积求解系统输出和利用 FFT 方法求解系统输出这两种方法的不同之处。
4. 掌握系统分析方法和简单滤波器的设计方法。

2. 实验内容

1. 设输入信号 $x(n) = \sin(0.1\pi n) + \cos(0.5\pi n)$, $0 \leq n \leq 199$, 某 LSI 系统的单位脉冲响应为 $h(n) = \frac{1}{4}[\delta(n) + \delta(n-1) + \delta(n-2) + \delta(n-3)]$, 求:
 1. 利用线性卷积求输入信号 $x(n)$ 通过系统后的输出 $y_1(n)$ 。
 2. 利用 FFT 的方法, 先求解输入信号 $x(n)$ 的频谱 $X(k)$ 以及单位脉冲响应 $h(n)$ 的频谱 $H(k)$, 通过计算 $\text{IFFT}[X(k) \cdot H(k)]$ 求解系统的输出。

```
close all
clear
nx = 0:199;
xn = sin(0.1 * pi * nx) + cos(0.5 * pi * nx);
hn = 0.25 * ones(1, 4);
nh = 0:3;
yn = conv(xn, hn);
ny = nx(1) + nh(1):nx(end) + nh(end);
subplot(4, 1, 1); stem(ny, yn); title('y');

xk = fft(xn, 203);
subplot(4, 1, 2); plot(abs(xk)); title('Xk203');

hk = fft(hn, 203);
subplot(4, 1, 3); plot(abs(hk)); title('Hk203');

yk = xk .* hk;
yn = ifft(yk);
subplot(4, 1, 4); stem(yn); title('ynk203');
```

2.1.m

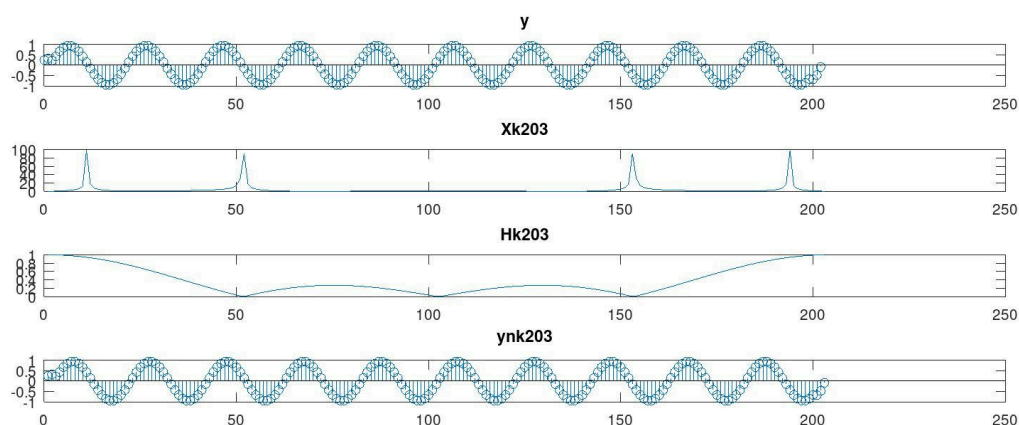


图 5 实验结果

• 实验分析与讨论（请手写）：

1. 请比较两种不同方法求得的输出及其它们的频谱 $Y_1(k)$ 及 $Y(k)$;

2. 试分析该系统的滤波特性，并结合输出信号的频率成分进行分析。

2. 已知某系统的系统函数为 $H(z) = \frac{1+z^{-1}+z^{-2}}{1+0.9z^{-1}+0.81z^{-2}}$ ，且系统稳定，试求：

1. 求系统的零极点；（提示：可以用 `tf2zp()`函数）

2. 画出系统的零极点图；（提示：可以用 `zplane()`函数）

3. 画出系统的幅频响应、相频响应、群延迟。（提示：可以用 `freqz()`、`grpdelay()`函数）

```
n = 0:199;
a = [1 1 1];
b = [1 0.9 0.81];
[z, p, k] = tf2zp(b, a);
subplot(2, 2, 1); zplane(z, p); title('z and p');
[Fh, w] = freqz(b, a);
[Gd, w] = grpdelay(b, a);
subplot(2, 2, 2); plot(w / pi, abs(Fh)); title('|H(w)|');
subplot(2, 2, 3); plot(w / pi, angle(Fh)); title('ang|H(w)|');
subplot(2, 2, 4); plot(w / pi, Gd); title('grd|H(w)|');
```

2.2.m

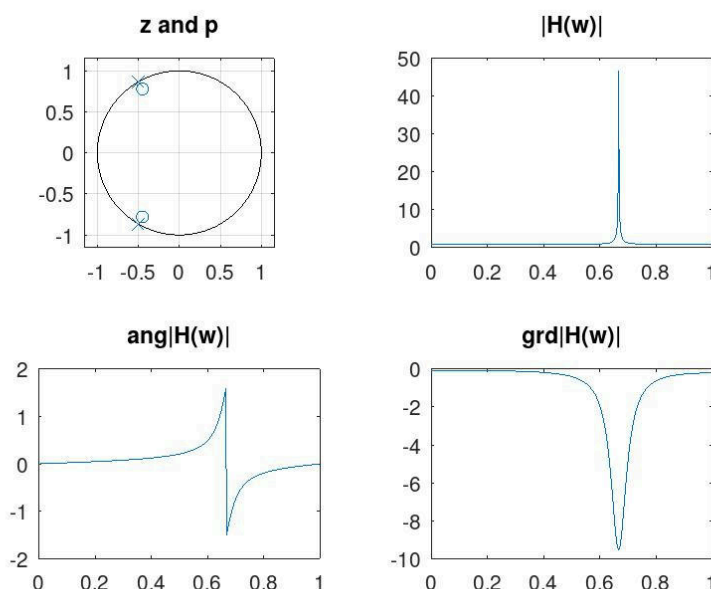


图6 实验结果

• 实验分析与讨论（请手写）：

1. 试求该系统的 ROC，并说明系统的因果性；

2. 试分析该系统的滤波特性；

3. 该滤波器是 IIR 滤波器还是 FIR 滤波器？该滤波器具有线性相位吗？

3. 一个 LSI 系统由下面的差分方程描述：

$$y(n) + 0.8y(n-1) - 0.64y(n-2) + 0.3125x(n)$$

1. 用 `filter` 函数计算并画出在 $0 \leq n \leq 100$ 内的系统单位脉冲响应，由画出的单位脉冲响应判断系统的稳定性。

2. 画出系统零极点图及系统的幅频和相频响应曲线。

3. 如果这个系统的输入是 $x(n) = [5 + 3 \cos(\frac{\pi}{3}n)]u(n)$ ，利用 `filter` 函数求在 $0 \leq n \leq 200$ 内的系统输出。分析输出信号，观察 $x(n)$ 中的直流分量和 $\frac{\pi}{3}$ 频率成份分量的通过情况。

4. 如果希望将 $x(n)$ 中的直流分量完全滤除，而 $\frac{\pi}{3}$ 频率成份分量仍然保留，应该怎样修改该系统的差分方程，用实验的方法验证你的结论。

```

close all
clear

function mydraw(n, b, a, x)
    y = filter(b, a, x);
    figure;
    subplot(2, 2, 1); plot(n, y); title('y');
    [z, p, k] = tf2zp(b, a);
    subplot(2, 2, 2); zplane(z, p); title('z and p');
    [Fh, w] = freqz(b, a);
    subplot(2, 2, 3); plot(w / pi, abs(Fh)); title('|H(w)|');
    subplot(2, 2, 4); plot(w / pi, angle(Fh)); title('ang|H(w)|');
end

% 1, 2
mydraw(0:100, [0.3125], [1 -0.8 0.64], [1, zeros(1, 100)])
% 3
mydraw(0:200, [0.3125], [1 -0.8 0.64], 5 + 3 .* cos(pi / 3 .* n))
% 4
mydraw(0:200, [1 -2 1], [1 -1.9 0.9025], 5 + 3 .* cos(pi / 3 .* n))

```

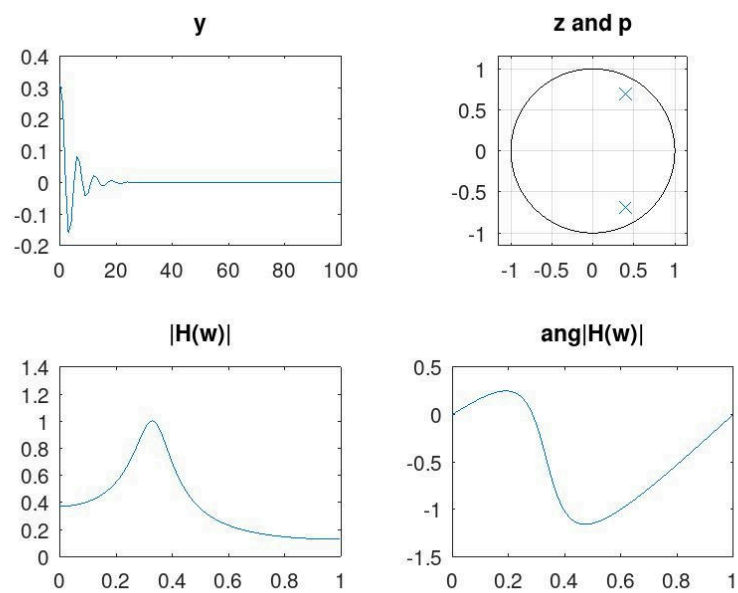


图7 第1-2题

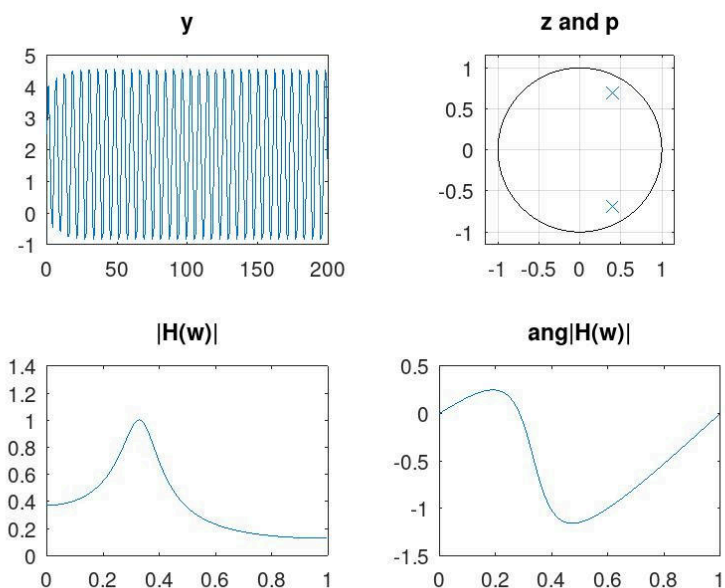


图 8 第 3 题

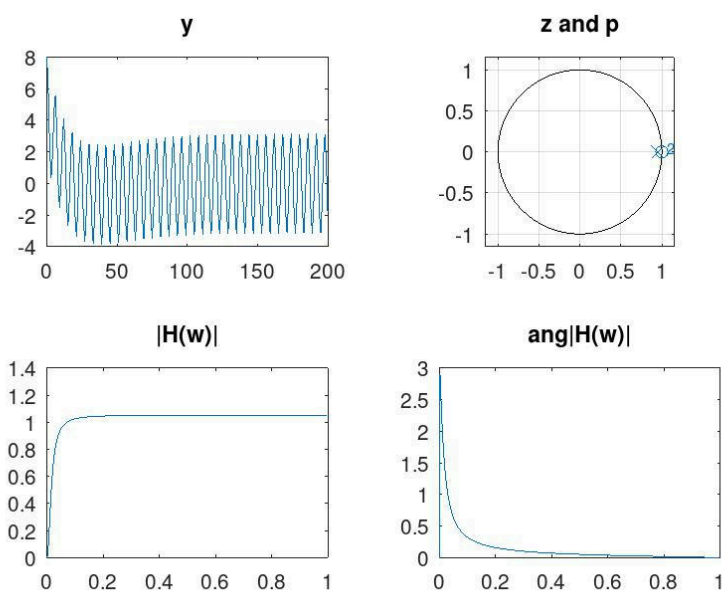


图 9 第 4 题

- 实验分析与讨论（请手写）：
 1. 请通过实验分析该系统的稳定性；
 2. 请分析解释第 3 问中输入信号不同频率成份的通过情况，并解释原因；
 3. 请描述第 4 问的设计思路。

$$\begin{aligned}
 H(z) &= \frac{(z - e^{j0})(z - e^{-j0})}{(z - 0.95e^{j0})(z - 0.95e^{-j0})} \\
 &= \frac{z^2 - 2z + 1}{z^2 - 1.9z + 0.9025}
 \end{aligned}$$

$$= \frac{1 - 2z^{-1} + z^{-2}}{1 - 1.9z^{-1} + 0.9025z^{-2}}$$

4. 音频文件 test1.wav test4.wav 中录制了钢琴上的一些按键音，其中，请用 FFT 的方法识别出每段音频文件中含有那几个音符。（注：(la)=220Hz (ci)=246.94Hz (do)=261.63Hz 2(rui)=293.66Hz 3(mi)=329.63Hz 4(fa)=349.23Hz 5(so)=392Hz）
1. 请读入 test1.wav test4.wav 音频文件，画出音频信号的时域图。
 2. 请识别 test1.wav 和 test2.wav 两个音频文件中弹奏的是哪个音符（请对音频信号中的有效音符区间进行谱分析，建议尝试使用不同的窗函数进行谱分析，以缓解频谱泄漏现象）。
 3. 请识别 test3.wav 和 test4.wav 两个音频文件中弹奏了哪些音符；
 4. （拓展部分）test3.wav 和 test4.wav 两个音频文件有多个音符，且在最后有三音和弦，请尝试切分这些音符，并对其中的单音或和弦进行识别。

```
close all
clear
global index
index = 0;
keyset = {220, 246.94, 261.63, 293.66, 329.63, 349.23, 392}
valueset = {'la-', 'ci-', 'do', 're', 'mi', 'fa', 'so'}

global myMap
myMap = containers.Map(keyset, valueset);

function closestKey = fin_closestKey(targetNumber)
    % ...
end

function detectNotes(y, fs, filename)
    global index
    global myMap
    N = length(y);
    f = (0:N - 1) * (fs / N);
    Y = fft(y);
    N = length(f(f < 800));
    f = f(1:N);
    Y = abs(Y(1:N));

    figure(2);
    subplot(4, 1, index);
    plot(f, Y);
    title(['频谱图 - ' filename]); xlabel('频率 (Hz)'); ylabel('幅度');

    [peaky, peakx] = findpeaks(Y);
    _filter = peaky > 0.9 * max(Y);
    peakx_filtered = peakx(_filter);
    peaky_filtered = peaky(_filter);
    peakx_filtered = f(peakx_filtered);

    % disp(peakx_filtered)
    % disp(peaky_filtered)

    % disp(['在 ' filename ' 中识别到的音符: ']);
    % for i = 1:length(peakx_filtered)
```

2.4.m

```

% detected_notes = fin_closestKey(peakx_filtered(i));
% disp(myMap(detected_notes));
% end

end

function process(file)
    global index
    index = index + 1;
    [x, fs] = audioread(file);

    figure(1);
    subplot(4, 1, index);
    plot(x);
    title(['test' int2str(index)]);

    [~, name, ~] = fileparts(file);
    detectNotes(x, fs, name);
end

process(' ../audio/test1.wav');
process(' ../audio/test2.wav');
process(' ../audio/test3.wav');
process(' ../audio/test4.wav');

```

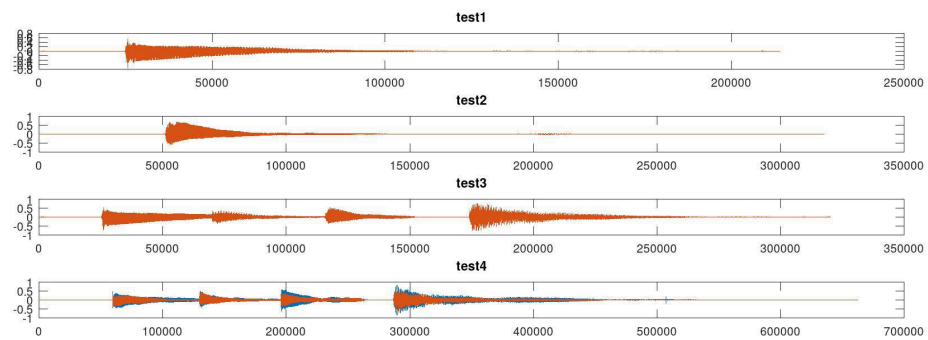


图 10 时域图

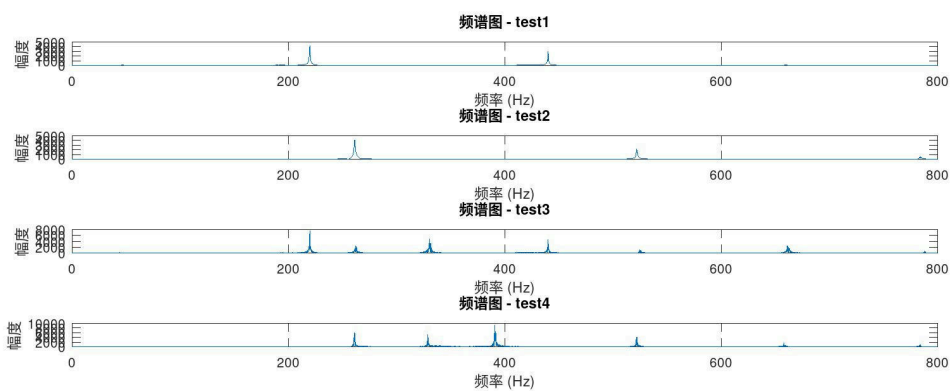


图 11 频谱图

3-4 题尚未完成。