

专业：信息工程  
姓名：张青铭  
学号：3200105426  
日期：2022.11.13

# 浙江大学实验报告

课程名称：数字信号处理 指导老师：徐元欣 成绩：\_\_\_\_\_

实验名称：FIR 数字滤波器设计与使用 实验类型：综合 同组学生姓名：\_\_\_\_\_

## 一、实验目的和要求

设计和应用 FIR 低通滤波器。掌握 FIR 数字滤波器的窗函数设计法，了解设计参数（窗型、窗长）的影响。

## 二、实验内容和步骤

编写 MATLAB 程序，完成以下工作。

2-1 设计两个 FIR 低通滤波器，截止频率 $\omega_c=0.5\pi$ 。

- (1) 用矩形窗，窗长  $N=31$ 。得出第一个滤波器的单位抽样响应序列  $h_1(n)$ 。记下  $h_1(n)$  的各个抽样值，显示  $h_1(n)$  的图形（用 `stem(.)`）。求出该滤波器的频率响应（的  $N$  个抽样） $H_1(k)$ ，显示  $|H_1(k)|$  的图形（用 `plot(.)`）。
- (2) 用汉明窗，窗长  $N=31$ 。得出第二个滤波器的单位抽样响应序列  $h_2(n)$ 。记下  $h_2(n)$  的各个抽样值，显示  $h_2(n)$  的图形。求出滤波器的频率响应  $H_2(k)$ ，显示  $|H_2(k)|$  的图形。
- (3) 由图形，比较  $h_1(n)$  与  $h_2(n)$  的差异， $|H_1(k)|$  与  $|H_2(k)|$  的差异。

2-2 产生长度为 200 点、均值为零的随机信号序列  $x(n)$ （用 `rand(1,200)-0.5`）。显示  $x(n)$ 。求出并显示其幅度谱  $|X(k)|$ ，观察特征。

2-3 滤波

- (1) 将  $x(n)$  作为输入，经过第一个滤波器后的输出序列记为  $y_1(n)$ ，其幅度谱记为  $|Y_1(k)|$ 。显示  $|X(k)|$  与  $|Y_1(k)|$ ，讨论滤波前后信号的频谱特征。
- (2) 将  $x(n)$  作为输入，经过第二个滤波器后的输出序列记为  $y_2(n)$ ，其幅度谱记为  $|Y_2(k)|$ 。比较  $|Y_1(k)|$  与  $|Y_2(k)|$  的图形，讨论不同的窗函数设计出的滤波器的滤波效果。

2-4 设计第三个 FIR 低通滤波器，截止频率 $\omega_c=0.5\pi$ 。用矩形窗，窗长  $N=127$ 。用它对  $x(n)$  进行滤波。显示输出信号  $y_3(n)$  的幅度谱  $|Y_3(k)|$ ，并与  $|Y_1(k)|$  比较，讨论不同的窗长设计出的滤波器的滤波效果。

## 三、主要仪器设备

自行编程。

## 四、操作方法和实验步骤

(参见“二、实验内容和步骤”)

## 五、实验数据记录和处理

### 5.1 列出 MATLAB 程序清单，加注释。

```
%%2-1 设计两个 FIR 滤波器 h1(n) h2(n)
%参数定义
n1=0:14;n2=15;n3=16:30;n=[n1,n2,n3];
wc=0.5*pi;
N=31;tao=(N-1)/2;
%求解 h(n)，因为 n=15 时分母为 0，所以分段考虑
h1_1=sin((n1-tao)*wc)/((n1-tao)*pi);h1_2=0.5;
h1_3=sin((n3-tao)*wc)/((n3-tao)*pi);

% 矩形窗
h1=[h1_1,h1_2,h1_3];
[H1,w]=freqz(h1);

% 汉明窗
w_n=hamming(N);
h2=h1.*w_n';
[H2,w]=freqz(h2);

%作图
figure(1);
subplot(2,1,1);stem(n,h1);xlabel('n');ylabel('h1(n)');
subplot(2,1,2);plot(w/pi,abs(H1));xlabel('w/pi');ylabel('|H1(e^jw)|');
figure(2);
subplot(2,1,1);stem(n,h2);xlabel('n');ylabel('h2(n)');
subplot(2,1,2);plot(w/pi,abs(H2));xlabel('w/pi');ylabel('|H2(e^jw)|');axis([-2 2 -0.1 1.1]);
```

```
%%2-2 产生随机信号序列
nx=0:199;
xn=rand(1,200)-0.5;
[Xk,w]=freqz(xn);

figure(1);
subplot(2,1,1);stem(nx,xn);xlabel('n');ylabel('x(n)');
subplot(2,1,2);plot(w/pi,abs(Xk));xlabel('w/pi');ylabel('|X(e^jw)|');
```

```
%%2-3 滤波
%得到滤波序列
y1=filter(h1,1,xn);
```

```

y2=filter(h2,1,xn);

%得到滤波序列的幅频响应
[Y1,w_y1]=freqz(y1);
[Y2,w_y2]=freqz(y2);

%作图
figure(3);
subplot(3,1,1);plot(w/pi,abs(Xk));xlabel('w/pi');ylabel('|X(k)|');
title('幅度响应对比图','FontWeight','bold');
subplot(3,1,2);plot(w_y1/pi,abs(Y1));xlabel('w/pi');ylabel('|Y1(k)|');
subplot(3,1,3);plot(w_y2/pi,abs(Y2));xlabel('w/pi');ylabel('|Y2(k)|');
figure(4);
subplot(3,1,1);plot(w/pi,20*log10(abs(Xk)));xlabel('w/pi');ylabel('20lg|X(k)|');
title('幅度响应(dB)对比图','FontWeight','bold');
subplot(3,1,2);plot(w_y1/pi,20*log10(abs(Y1)));xlabel('w/pi');ylabel('20lg|Y1(k)|');
;
subplot(3,1,3);plot(w_y2/pi,20*log10(abs(Y2)));xlabel('w/pi');ylabel('20lg|Y2(k)|');
;

```

%%2-4 N=127 的低通滤波器设计

%参数定义

```

n1_3=0:62;
n2_3=63;
n3_3=64:126;
n_3=[n1_3,n2_3,n3_3];
N_3=127;
tao=(N_3-1)/2;
h3_1=sin((n1_3-tao)*wc)/((n1_3-tao)*pi);
h3_2=0.5;
h3_3=sin((n3_3-tao)*wc)/((n3_3-tao)*pi);
% 矩形窗
h3=[h3_1,h3_2,h3_3];

```

%得到滤波序列

```
y3=filter(h3,1,xn);
```

%得到滤波序列的幅频响应

```
[Y3,w_y3]=freqz(y3);
```

%作图

```

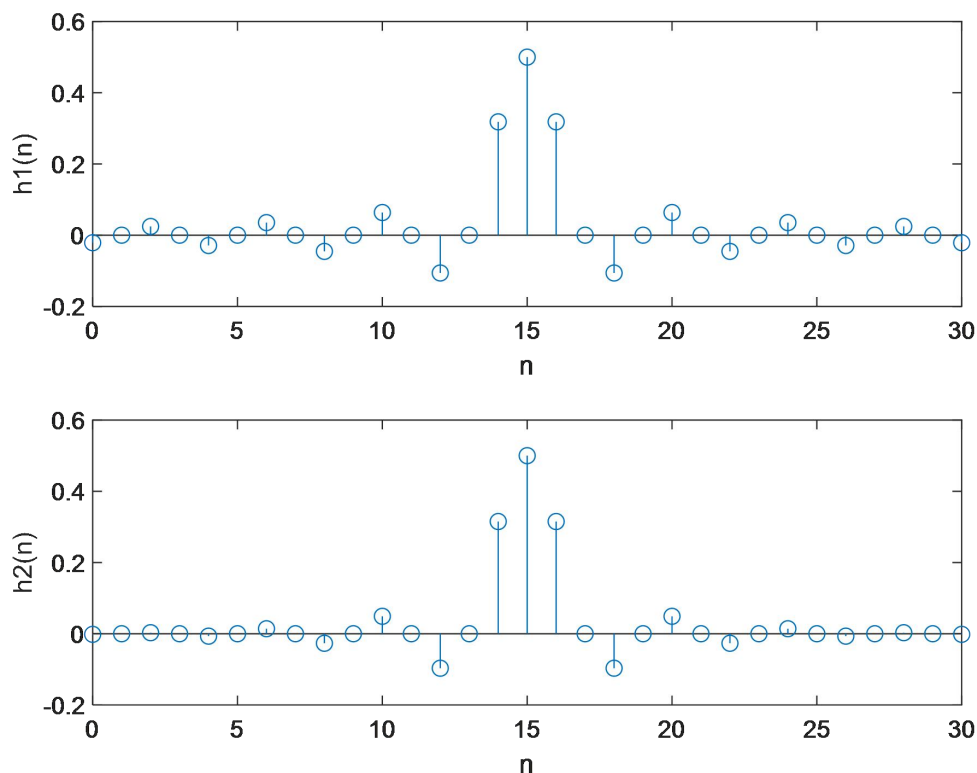
figure(5);
subplot(2,1,1);plot(w_y1/pi,abs(Y1));xlabel('w/pi');ylabel('|Y1(k)|');
title('幅度响应对比图','FontWeight','bold');
subplot(2,1,2);plot(w_y3/pi,abs(Y3));xlabel('w/pi');ylabel('|Y3(k)|');
figure(6);

```

```
subplot(2,1,1);plot(w_y1/pi,20*log10(abs(Y1)));xlabel('w/pi');ylabel('20lg|Y1(k)|')
;
title('幅度响应(dB)对比图','FontWeight','bold');
subplot(2,1,2);plot(w_y3/pi,20*log10(abs(Y3)));xlabel('w/pi');ylabel('20lg|Y3(k)|')
;
```

5.2 列出计算结果，包括  $h_1(n)$  和  $h_2(n)$  的各个抽样值， $|H_1(k)|$ 、 $|H_2(k)|$ 、 $|X(k)|$ 、 $|Y_1(k)|$ 、 $|Y_2(k)|$  和  $|Y_3(k)|$  的图形。

### 5.2.1 $h_1(n)$ 与 $h_2(n)$



$h_1(n)$ 各个抽样值:

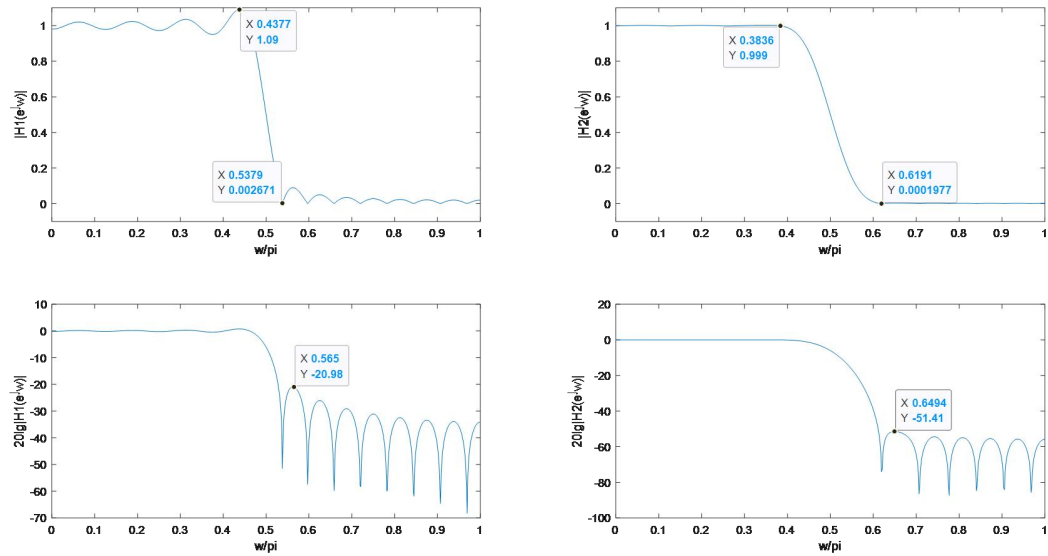
```
-0.0212206590789194  1.94908591625969e-17  0.0244853758602916  -1.94908591625969e-17
-0.0289372623803446  1.94908591625969e-17  0.0353677651315323  -1.94908591625969e-17
-0.0454728408833987  1.94908591625969e-17  0.0636619772367581  -1.94908591625969e-17
-0.106103295394597   1.94908591625969e-17  0.318309886183791   0.5000000000000000
0.318309886183791    1.94908591625969e-17  -0.106103295394597   -1.94908591625969e-17
0.0636619772367581   1.94908591625969e-17  -0.0454728408833987  -1.94908591625969e-17
0.0353677651315323   1.94908591625969e-17  -0.0289372623803446  -1.94908591625969e-17
0.0244853758602916   1.94908591625969e-17  -0.0212206590789194
```

$h_2(n)$ 各抽样值:

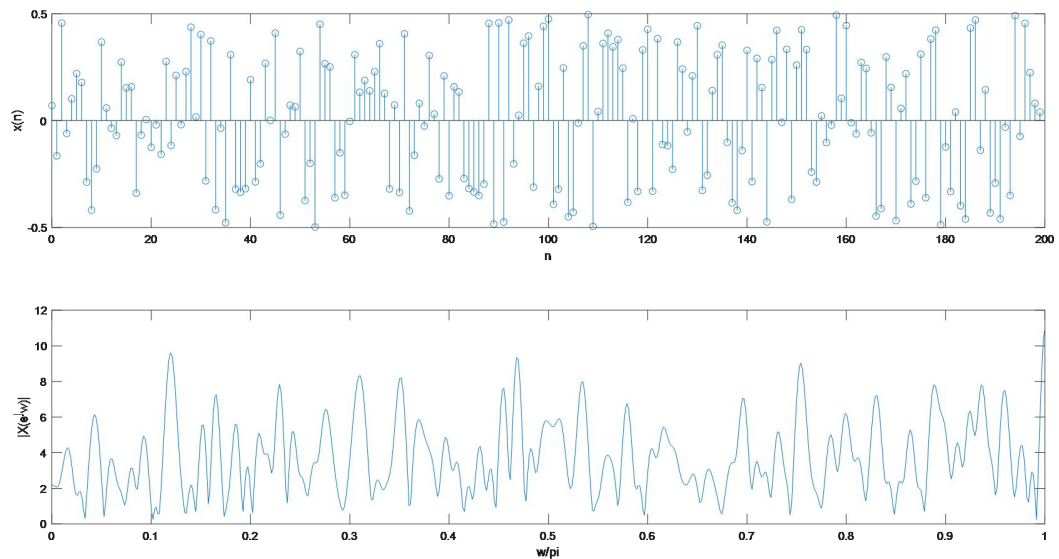
```
-0.00169765272631355  1.75519286978038e-18  0.00293259117247052  -3.27158325094793e-18
```

-0.00671923004084042 6.04216634040503e-18 0.0140711425508231 -9.58788315202736e-18  
 -0.0267418089188951 1.32956470372594e-17 0.0490197224723038 -1.65243519363671e-17  
 -0.0967818893144528 1.87157254404317e-17 0.315110202211089 0.500000000000000  
 0.315110202211089 1.87157254404317e-17 -0.0967818893144528 -1.65243519363671e-17  
 0.0490197224723038 1.32956470372594e-17 -0.0267418089188951 -9.58788315202736e-18  
 0.0140711425508231 6.04216634040503e-18 -0.00671923004084042 -3.27158325094793e-18  
 0.00293259117247052 1.75519286978038e-18 -0.00169765272631355

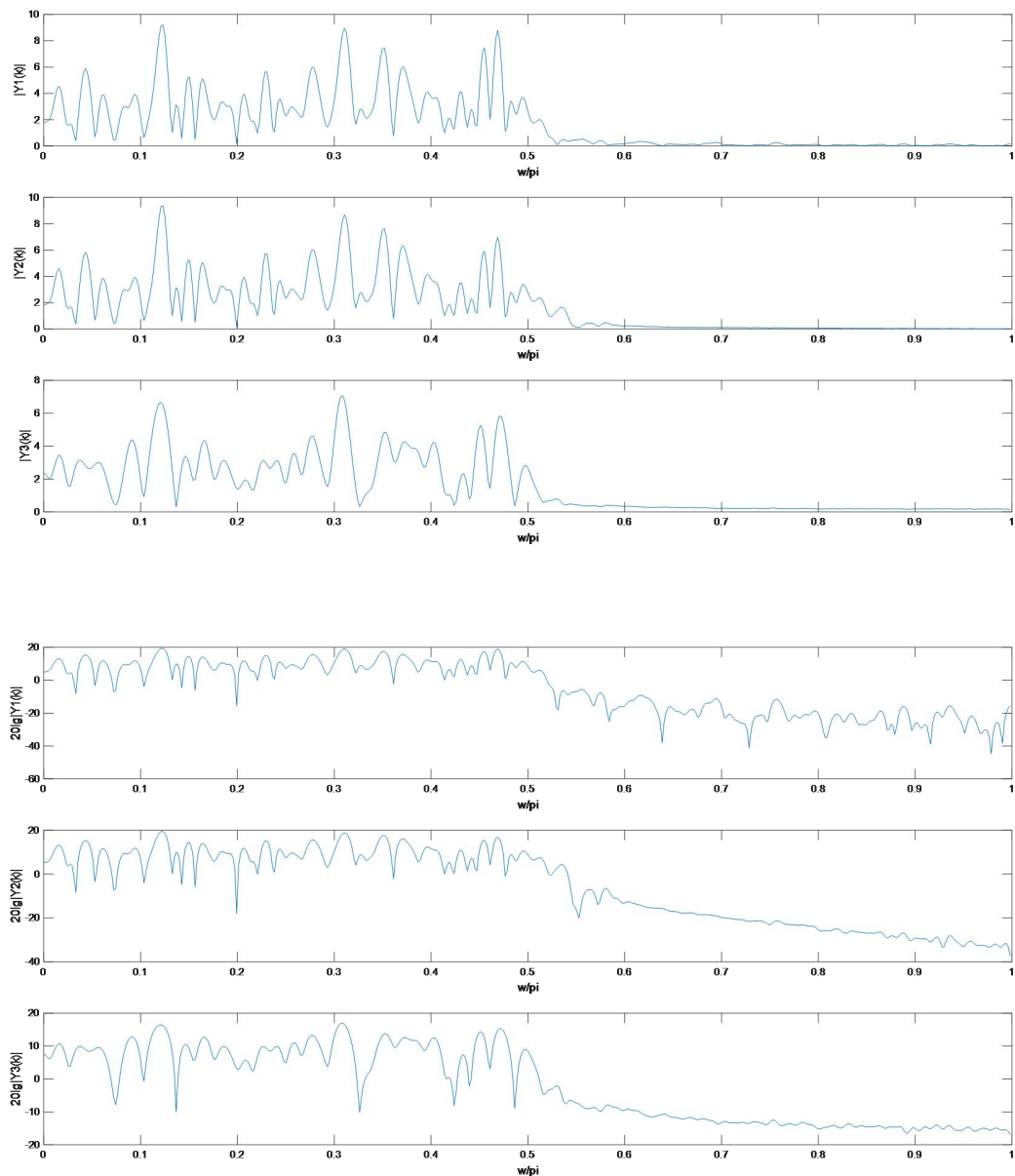
### 5.2.2 $|H_1(k)|$ 与 $|H_2(k)|$ （幅度以及以 dB 为单位）



### 5.2.3 $x(n)$ 与 $|X(k)|$



### 5.2.4 $|Y_1(k)|$ 、 $|Y_2(k)|$ 、 $|Y_3(k)|$ （幅度以及以 dB 为单位）



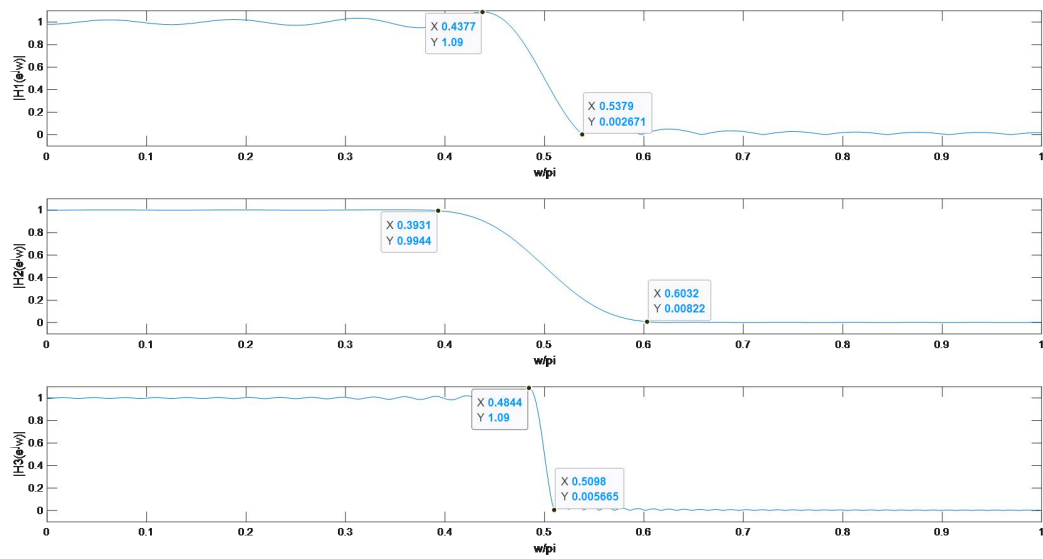
## 六、实验结果与分析

### 6.1 过渡带宽度

如图是三个滤波器的幅频响应，过渡带宽度分别为： $0.1002\pi$ 、 $0.2101\pi$ 、 $0.0254\pi$ 。可以发现过渡带宽度与两个因素相关：窗函数类型和窗函数长度  $N$ 。

窗函数类型：在窗函数长度相同的条件下，矩形窗函数设计的滤波器过渡带宽度小于汉明窗函数设计的滤波器。这与理论推导结果一致：矩形窗函数理论过渡带宽  $4\pi/N=0.129\pi$  小于汉明窗函数理论过渡带宽  $6.6\pi/N=0.2129\pi$ ；

窗函数长度：在相同窗函数类型的条件下，窗函数长度越长，滤波器过渡带宽度越小。实验结果与理论结果一致： $N=31$ ，过渡带宽度  $4\pi/N=0.129\pi$ ； $N=127$ ，过渡带宽度  $4\pi/N=0.0314\pi$ ；



## 6.2 阻带最小衰减

如图是三个滤波器的幅频响应 (dB)，最小阻带衰减分别为：-20.91dB、-51.45dB、-20.96dB。可以发现阻带最小衰减与窗函数类型相关，与窗函数长度几乎没有关系。

窗函数类型：矩形窗函数阻带最小衰减都接近-21dB，与理论值相同；汉明窗函数阻带衰减接近-53dB，与理论值相同；矩形窗函数构造的滤波器阻带最小衰减大于汉明窗函数构造的滤波器。

