

信号与系统实验报告

名 称： FIR 数字滤波器的设计及应用

学 院： 计软智学院

专 业： 计算机科学与工程专业

学 号： 090191xx

姓 名： XXX

日期： 2021 年 6 月 16 日

一、实验目的

1. 进一步理解 FIR 滤波器的线性相位特性, 熟悉 4 种线性相位 FIR 滤波器的幅频特性、相频特性。
2. 掌握用窗函数法设计 FIR 数字滤波器的原理及方法, 了解各种窗函数对滤波器性能的影响。
3. 掌握用频率采样法设计 FIR 数字滤波器的原理及方法, 了解不同采样点数和不同的过渡带点数对滤波器性能的影响。
4. 结合学过的信号分析的基本概念、基本理论及方法, 将数字滤波器设计基本原理、基本方法进行综合运用, 以解决实际信号分析与处理问题。

二、实验任务

1. 完成实验内容全部题目, 分析解决调试代码过程中出现的问题。
2. 认真完成本次实验小结, 思考 FIR 数字滤波器的设计方法及其应用。

三、主要设备、软件平台

1. 硬件: 计算机
2. 软件: Matlab

四、实验内容

1. 选择合适的窗函数设计一个线性相位 FIR 低通滤波器, 通带截止频率 $\omega_p = 0.2\pi rad$, 阻带截止频率 $\omega_s = 0.4\pi rad$, 阻带最小衰减 $\alpha_s = 50dB$ 。要求分别绘制理想单位脉冲序列响应曲线、窗函数曲线、实际单位脉冲序列响应曲线、FIR 低通滤波器的幅频响应曲线和相频响应曲线。

2. 利用频率采样法设计线性相位低通滤波器

1) 要求 3dB 截止频率 $\omega_c = \pi/2 rad$, 采样点数分别取 $N = 33$ 和 $N = 63$, 选用 $h(n) = h(N - 1 - n)$ 的情况。分别显示理想幅频特性的采样序列和实际滤波器的幅频响

应，观察采样点数对滤波器特性的影响。

2) 要求 3dB 截止频率 $\omega_c = \pi/2rad$,采样点数取 $N = 33$, 选用 $h(n) = h(N - 1 - n)$ 的情况。分别插入一个过渡点和两个过渡点时滤波器的幅频响应，观察增加过渡点对滤波器特性的影响。

3 . 利用计算机的声音编辑工具录制一段语音信号，生成.wav 文件。对语音信号的时域波形和频谱进行观察和分析，设计 FIR 数字滤波器，并用设计的滤波器对语音信号进行滤波，比较滤波前后语音信号的波形及频谱。

1) 低通滤波器性能指标: $f_p = 1000Hz$, $f_s = 1200Hz$, $A_s = 100dB$, $A_p = 1dB$;

2) 高通滤波器性能指标: $f_s = 4800Hz$, $f_p = 5000Hz$, $A_s = 100dB$, $A_p = 1dB$ 。

五、实验小结

1、选择合适的窗函数设计一个线性相位 FIR 低通滤波器

(1) 思路

首先，要选择合适的窗函数。我们比较了常见窗函数的阻带最小衰减指标，发现汉明窗（Hamming）的阻带最小衰减为 $-53dB$ ，而本题的要求是 $50dB$ ，满足要求。此外，虽然布莱克曼窗（Blackman）和凯塞窗（Kaiser）在阻带最小衰减这项指标上同样满足要求，但是它们的旁瓣峰值（分别为 $-57dB$ 和 $-57dB$ ）与汉明窗（ $-41dB$ ）相比较，而选择旁瓣峰值较小的窗函数更有利于减小频谱分量向相邻频谱的泄漏。因此，我们选择使用汉明窗。

然后，我们就要用汉明窗实现一个 FIR 滤波器。具体说来，我们要根据要求的通带边缘频率和阻带起始频率，计算过度区的大小，从而计算出窗函数的长度；接着，根据窗函数和理想滤波器的单位脉冲响应，计算出我们所需要的滤波器的单位脉冲响应。

在编程时，为了方便表示，我将理想滤波器的单位冲击响应和实际滤波器的

幅度响应编写成单独的函数，并在主函数中调用它们。

(2) 代码

```
function Hamming()
Wp=0.2*pi; %通带截止频率

Ws=0.4*pi; %阻带截止频率

tr_wide=Ws-Wp; %过渡带宽度

N=ceil(6.6*pi/tr_wide)+1; %滤波器长度
n=0:1:N-1;

Wc=(Wp+Ws)/2; %理想低通滤波器的截止频率

hd=ideal_lp(Wc,N); %理想滤波器的单位冲击响应

w_ham=(hamming(N))'; %海明窗

y=hd.*w_ham; %实际海明窗的响应

[db,mag,pha,w]=freqz_m(y,[1]); %计算实际滤波器的幅度响应
delta_w=2*pi/1000;

Ap=-(min(db(1:1:Wp/delta_w+1))) %实际通带纹波

As=-round(max(db(Ws/delta_w+1:1:501))) %实际阻带纹波

subplot(511)
stem(n,hd)

title('理想单位脉冲序列响应曲线')

subplot(512)
stem(n,w_ham)

title('海明窗窗函数曲线')

subplot(513)
stem(n,y)

title('实际单位脉冲序列响应曲线')

[h,w]=freqz(y,1);

db=20*log10(abs(h))/max(abs(h)); %归一化频率
```

```

subplot(514)
plot(w/pi,db)

title('FIR低通滤波器的幅频响应曲线')

axis([0,1,-100,10]);
pha=angle(h);
subplot(515);
plot(w/pi,unwrap(pha));

title('FIR低通滤波器的相频响应曲线');

end
function hd=ideal_lp(Wc,N)

%理想滤波器的单位冲击响应

alpha = (N-1)/2;
n = [0:1:(N-1)];
m = n-alpha+eps;           % add smallest number to avoid
divided by zero
hd = sin(Wc*m)./(pi*m);
end
function [db,mag,pha,grd,w] = freqz_m(b,a)

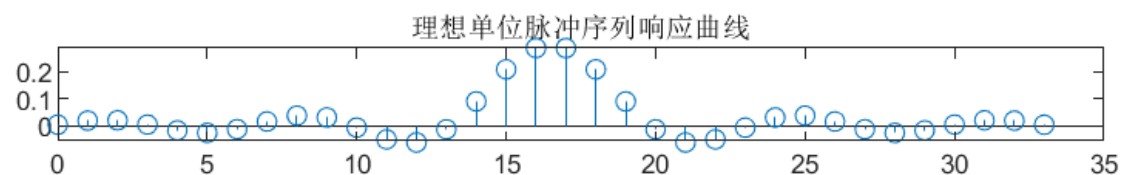
%计算实际滤波器的幅度响应

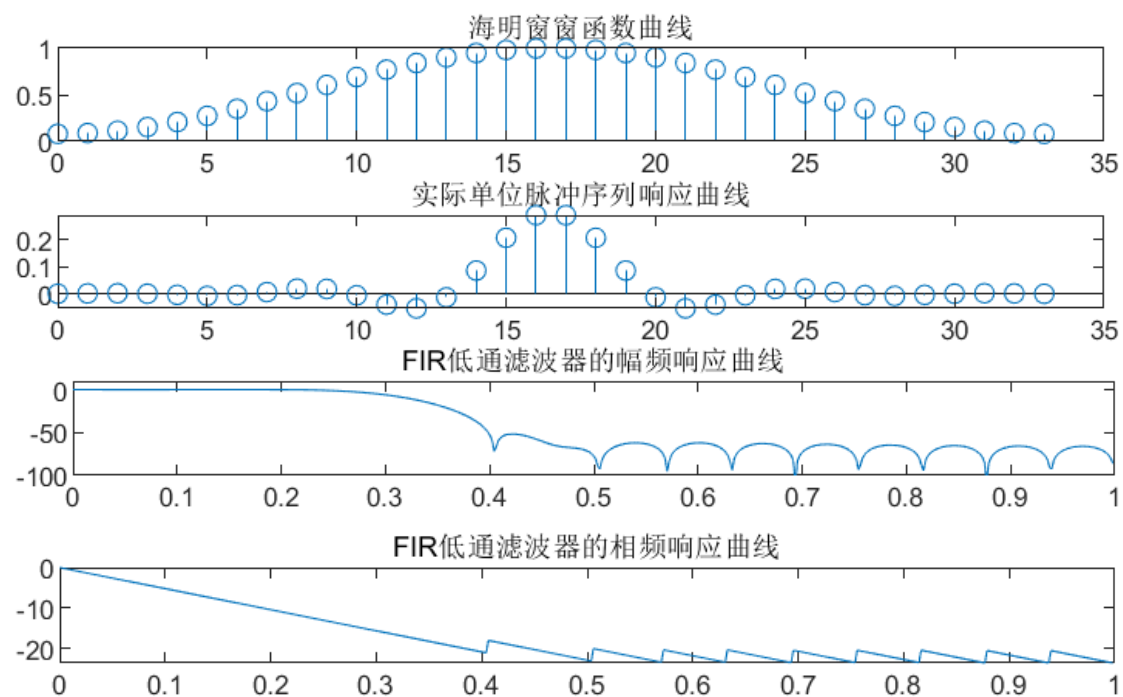
[H,w] = freqz(b,a,1000,'whole');
H = (H(1:1:501))'; w = (w(1:1:501))';
mag = abs(H);
db = 20*log10((mag+eps)/max(mag));
pha = angle(H);
grd = grpdelay(b,a,w);
end

```

(3) 结果

分别绘制理想单位脉冲序列响应曲线、窗函数曲线、实际单位脉冲序列响应曲线、FIR 低通滤波器的幅频响应曲线和相频响应曲线如下：





(4) 分析

实验结果与预期相符，实验成功。

2、利用频率采样法设计线性相位低通滤波器

(1) 思路

对于N 为奇数且 $h(n) = h(N - 1 - n)$ 这样的偶对称条件而言，利用频率采样法设计线性相位低通滤波器的设计公式如下：

$$H(k) = H(e^{j\omega}) \Big|_{\omega = \frac{2\pi k}{N}}, k = 0, 1, \dots, N - 1$$

$$H(e^{j\omega}) = H_g(\omega)e^{j\theta(\omega)}$$

其中：

$$H_g(k) = H_g(N - k), k = 0, 1, \dots, \frac{N - 1}{2}$$

$$\theta(k) = -\frac{N - 1}{N}\pi k, \theta(N - k) = \frac{N - 1}{N}\pi k$$

(2) 代码

①无过渡点

```
function my_FIR(Wc, N)
```

```

Wc=fix(Wc+0.5); %要求整数所以四舍五入

Hd = zeros(1, (N+1)/2);
Hd(1) = 1;
Hd(2:Wc-1) = 1;
Hd(Wc+1:end) = 0;
k = 0:(N-1)/2;
A = exp(-1j*pi*k*(N-1)/N);
Hd = Hd.*A;
Hk = [Hd, conj(fliplr(Hd(2:end)))];
h1 = ifft(Hk);
figure, freqz(h1)
end

```

②有两个过渡点

```

function my_FIR(Wc,N)

Wc=fix(Wc+0.5); %要求整数所以四舍五入

Hd = zeros(1, (N+1)/2);
Hd(1) = 1;
Hd(2:Wc-1) = 1;

HD(fix(Wc*4/5))=0.7; %第一个个过渡点

Hd(Wc)=0.3; %第二个个过渡点

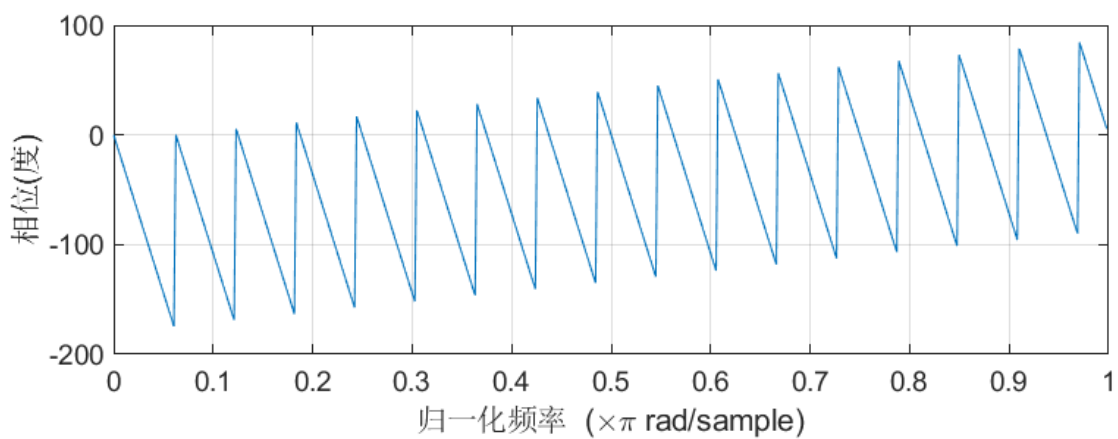
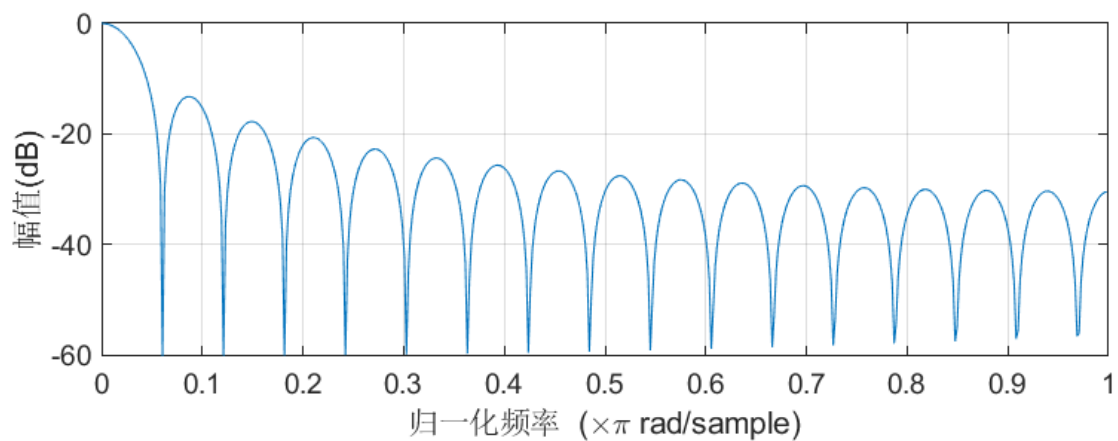
Hd(Wc+1:end) = 0;
k = 0:(N-1)/2;
A = exp(-1j*pi*k*(N-1)/N);
Hd = Hd.*A;
Hk = [Hd, conj(fliplr(Hd(2:end)))];
h1 = ifft(Hk);
figure, freqz(h1)
end

```

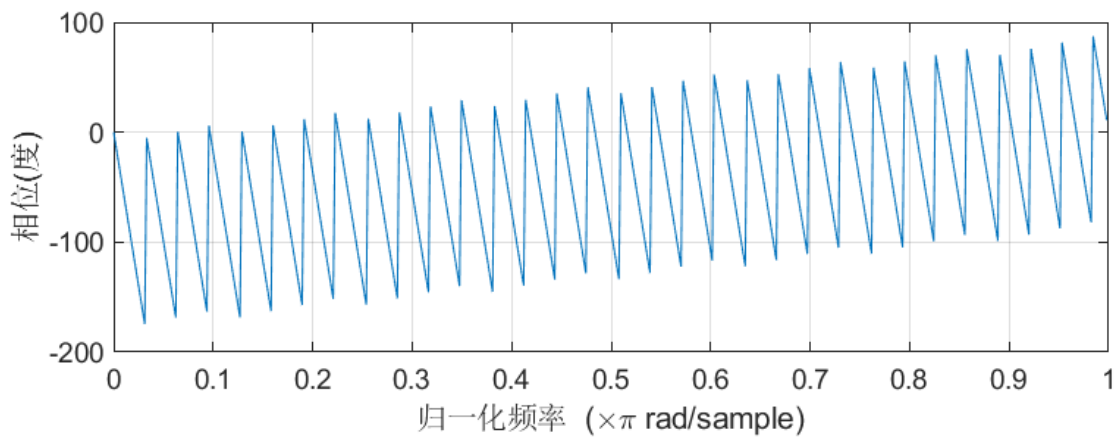
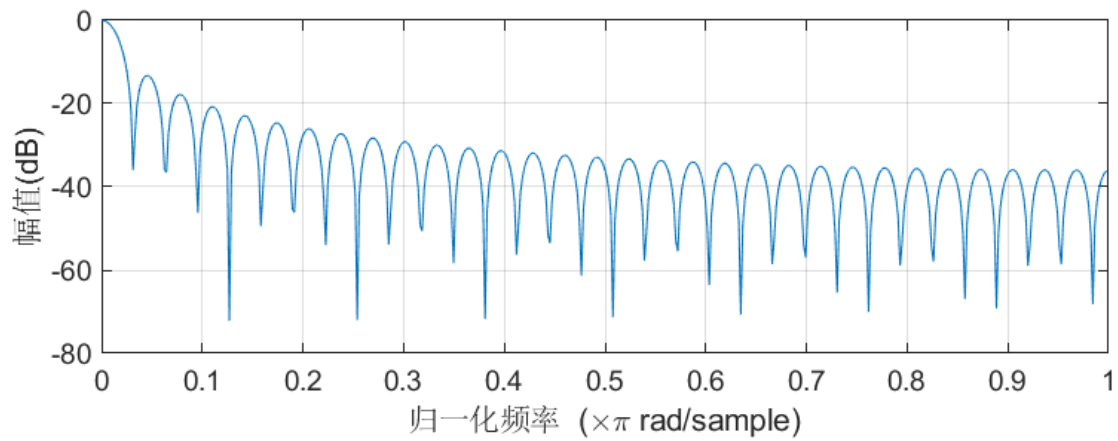
(3) 结果

①无过渡点

$N = 33$

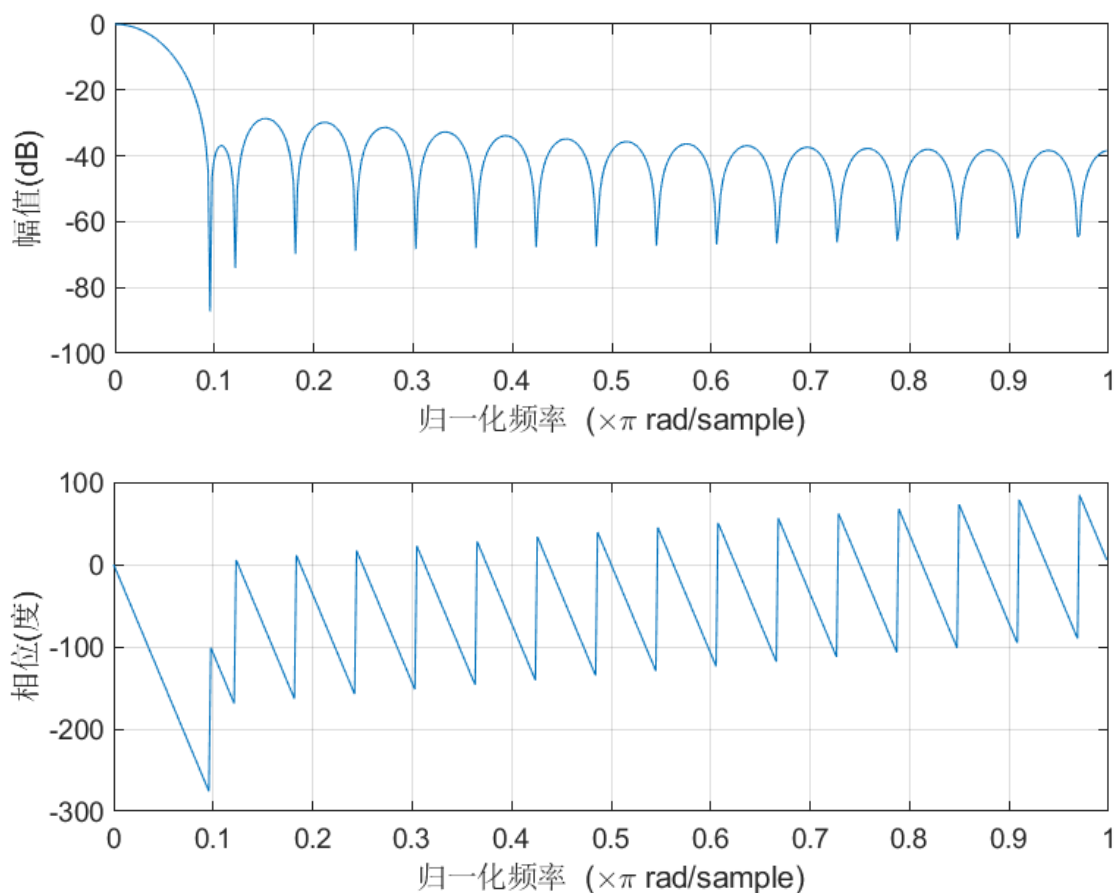


$N = 63$



②有两个过渡点

$N = 33$



(4) 分析

首先，我们发现增加采样点数有利于减小主瓣宽度，但同时也增加了旁瓣的数目。然后，为了减轻吉布斯效应，常对理想特性加以修正，在其不连续点处加入过渡采样点，使设计的滤波器具有一定的过渡带，从而换得肩峰和起伏的减小及阻带衰减的增大。最后，利用频率采样法设计线性相位低通滤波器的设计方法简单，适合于优化设计；但由于截止频率不一定恰好落在采样点上，因而设计的滤波器截止频率不易精确保证。

3、自己录制的语音信号

(1) 思路

为解决该问题，我们主要需要使用以下函数：

- ① `[y,Fs] = audioread(filename)`: 读取音频文件;
- ② `sound(y,Fs)`: 将信号数据矩阵转换为声音;
- ③ `y = fftfilt(b,x)`: 快速傅里叶变换;
- ④ `h=fir1(n,Wn,ftype)`: 窗函数法设计 FIR 滤波器。

(2) 代码

```
function my_func()

%原信号

[x,fs]=audioread('record.wav');
%sound(x,fs);
X=fft(x);
aX=abs(X);
figure;
n=length(x);
t=(0:n-1)/fs;
subplot(211);plot(t,x);
xlabel('s');

title('原信号时域波形图');

subplot(212);plot(X);

title('原始信号频谱');

%低通滤波

fs=44100;
f=[1000,1200];
n=[1,0];
rip=[0.05,0.01];
[N,fo,mo,w]=firpmord(f,n,rip,fs);
N=N+1;
hn=firpm(N,fo,mo,w);
z1=fftfilt(hn,x);
%sound(z1,fs);
m1=fft(z1);
subplot(211);plot(t,z1);
xlabel('s');

title('低通滤波后信号时域波形图');

subplot(212);plot(m1);
```

```

title('原低通滤波后信号频谱');

%高通滤波
rp=1;rs=100;
p=1-10.^(-rp/20);
s=10.^(-rs/20);
wp=0.9;ws=0.7;
fpts=[ws wp];
mag=[0 1];
dev=[p s];
[n3,wn3,beta,ftype]=kaiserord(fpts,mag,dev);
b3=fir1(n3,wn3,'high');
z3=fftfilt(b3,x);
%sound(z3,fs);
m3=fft(z3);
subplot(211);plot(t,z3);
xlabel('s');

title('高通滤波后信号时域波形图');

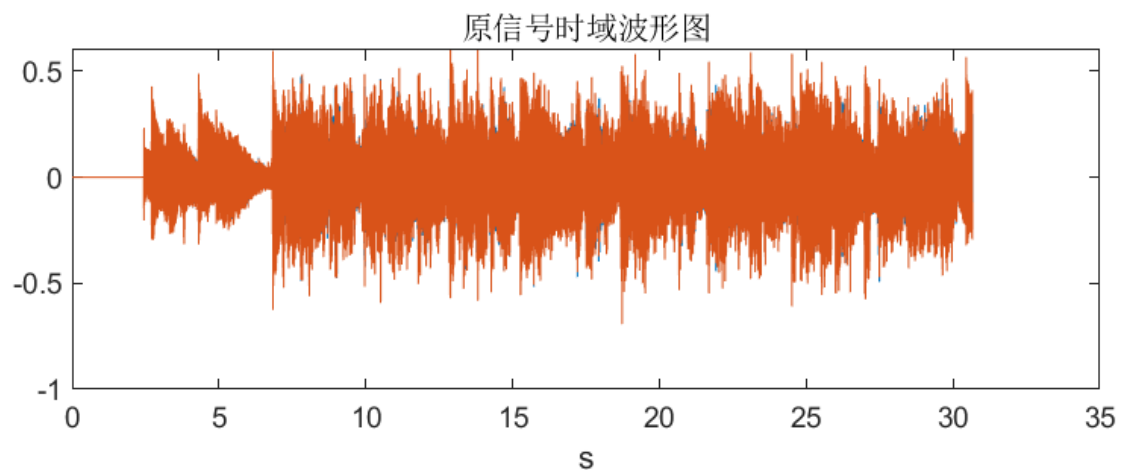
subplot(212);plot(m3);

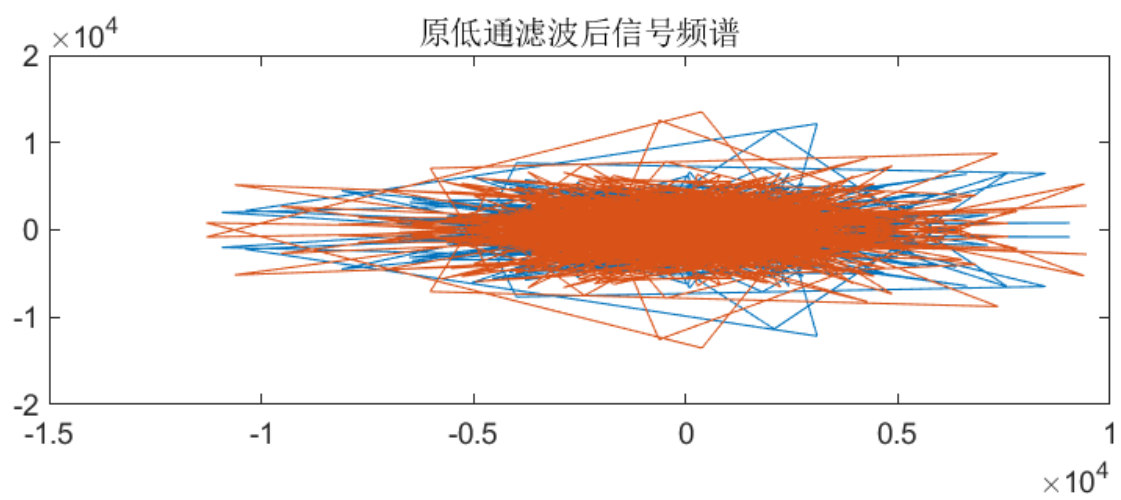
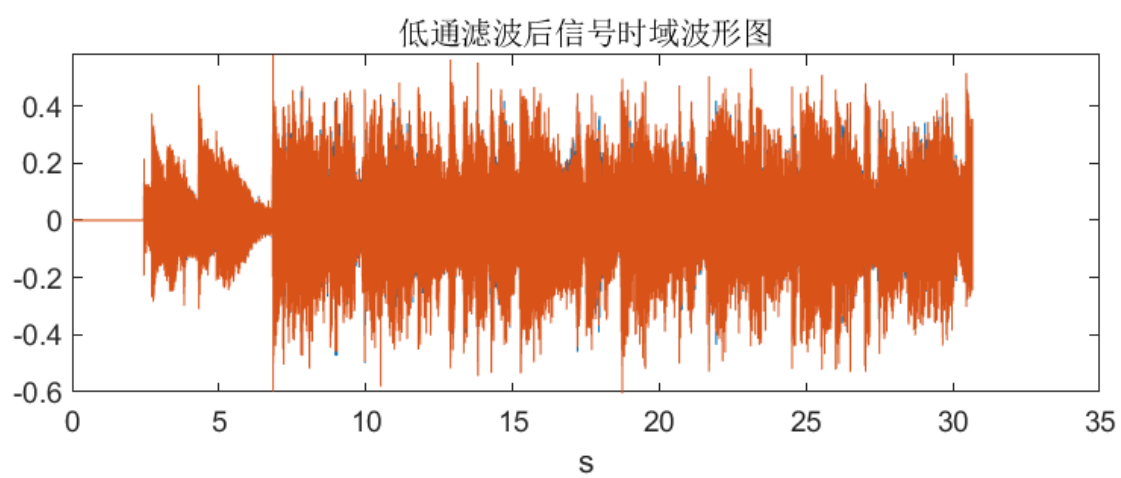
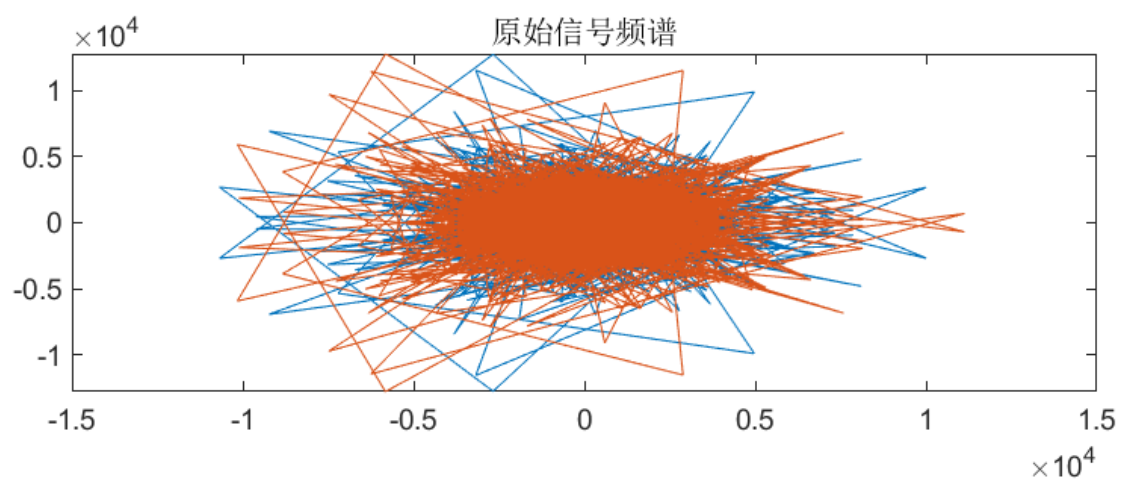
title('高低通滤波后信号频谱');

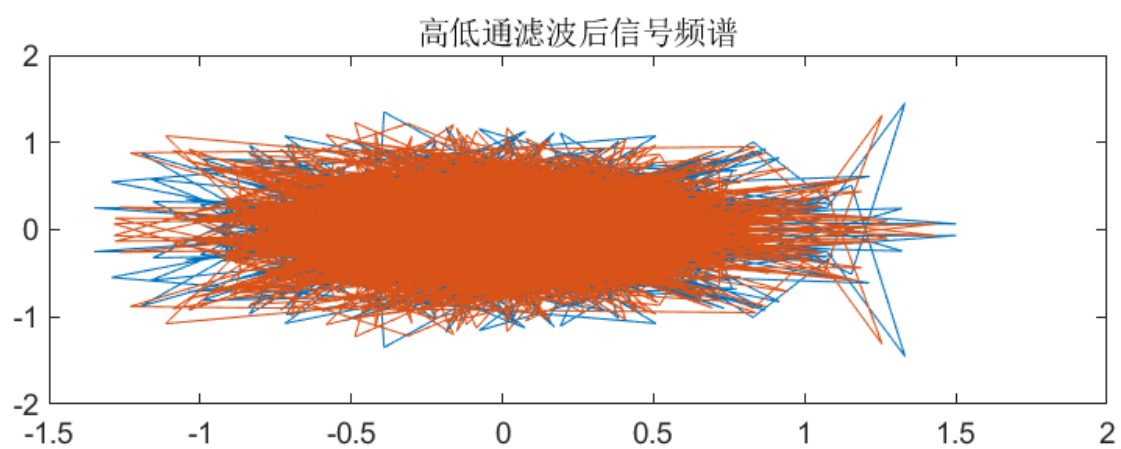
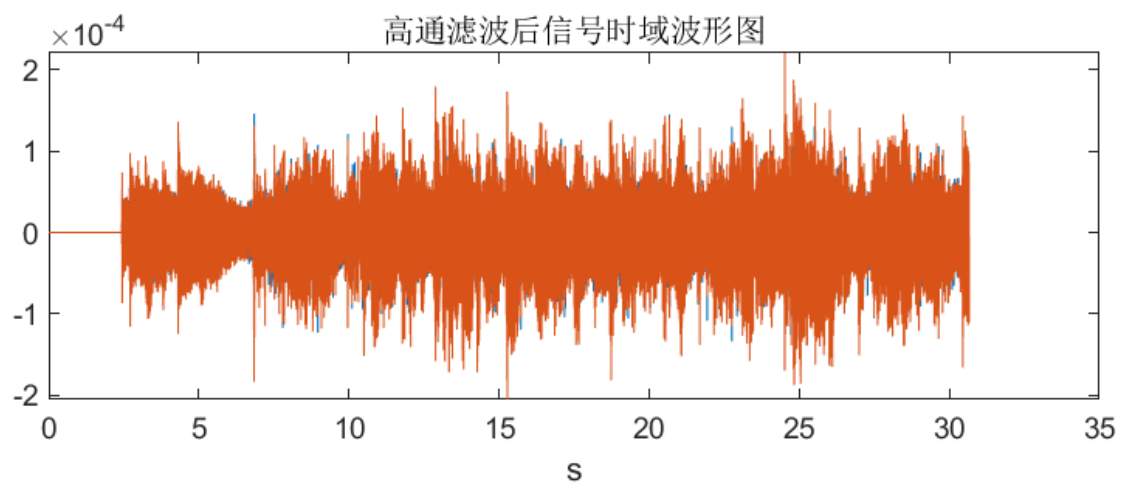
end

```

(3) 结果







(4) 分析

观察滤波后的信号频谱，发现低通滤波器留下了低频分量且声音的音调确实变低了，而高通滤波器恰好相反，这与预期相符，说明实验成功。