**实验四 音频信号的数字化处理实现**

**信息005 王靳朝 2206113602**

**一.实验目的**

1、增强对信号数字化处理的理解。

2、巩固IIR、FIR数字滤波器的滤波实现方法

3、掌握利用MATLAB完成音频信号数字滤波的基本方法。

4、体验并感受音频信号数字化处理前后的差异。

**二.理论依据**

（一）数字化滤波

单位脉冲响应为的线性时不变离散时间系统，其输入与输出的关系可表述如下：

由于FIR数字滤波器的单位脉冲响应为有限长度,当输入信号长度也为有限长时，FIR数字滤波器可以采用上述关系式直接实现滤波。

对于IIR数字滤波器，由于其单位脉冲响应是无限长，因此需要从频域入手，假如、的傅里叶变换存在，则有输入、输出的频域关系：

然后通过傅里叶反变换即可得到滤波结果。实际实现过程中，傅里叶变换一般是通过快速离散傅里叶变换来实现，而快速离散傅里叶变换是傅里叶变换的有限点的采样值，即是有限长序列。因此只要采样点数大于序列长度，就可以有效避免混叠失真。

（二）音频数字化处理

（1）简易回音效果实现

回音，是一种效果，是声波传播后遇到障碍物反弹回来的声音。Echo跟Delay效果很类似，不同处在于Echo的音质会受到反弹物(如墙壁)材质、距离的影响;而Delay 效果则纯粹将原音再拷贝，不影响音质假如音源为，简易回音效果实现输出,为衰减系数，为延时长度。

（2）立体声效果构造

立体声能给听众以方位感和深度感，大大提高了听觉效果和声音品质。为了实现立体声效果，录制时通常需要多个摆放在不同位置的麦克风，播放时也需要两只或两只以上的扬声器。当只利用一个麦克风进行声音录制时，只能得到单声道音频，即便使用两只或两只以上的扬声器播放，也只能得到“平面化”的声音，而不会形成空间声像。利用人的空间听觉特性，如耳间声级差（Interaural Level Difference）、耳间时间差（Interaural Time Difference）和耳间相关性对空间声像

定位，可以按照预期的听觉效果通过对多个声道信号进行相应处理，在听觉上形 成空间感。对多声道信号进行的处理包括：扬声器排列法、分频法、移相法、延 迟法等。

**三．实验内容**

1.对给定的dspx1.wav文件，利用audioread 函数读取音频信号数据流及采样频率信息，绘制出音频信号的时域波形横坐标单位为“秒”)及幅频图（纵坐标归一化，横坐标范围 0~8000Hz）.

代码如下：

%step 1

[y,fs]=audioread('dspx1.wav');

N=length(y);

x1=(0:length(y)-1)/fs;

figure;

subplot(2,1,1);

plot(x1,y);

xlabel('/秒');

X1=fft(y);

n=length(X1);%n为采样点数

df=fs/n;

f=(0:1:n-1)\*df;

subplot(2,1,2);

absX1=abs(X1);

maxX1=max(absX1);

plot(f,abs(X1)/maxX1);

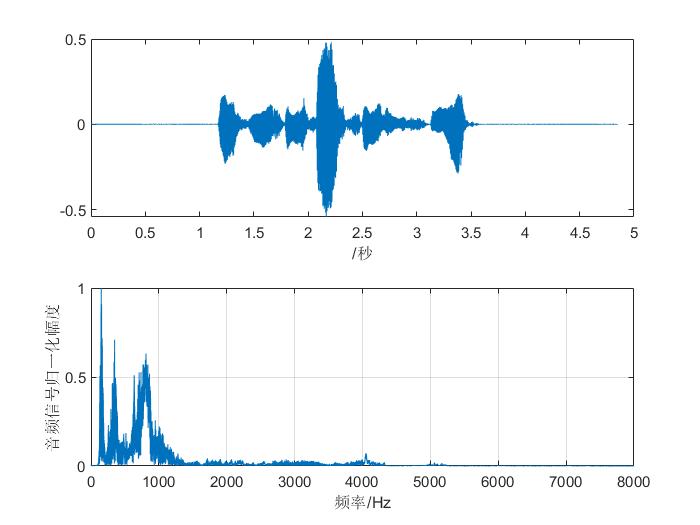
grid on

xlabel('频率/Hz');

ylabel('音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);

结果如下：



分析频谱得知，大部分的频谱分量均集中在0至2000Hz，在高频的频谱部分幅度很小。

1. 假定正弦噪声信号，=4000Hz，=0.02。以dspx1.wav的采样频率将噪声信号数字化并混入音频信号之中，得到加噪后的音频。请分别使用巴特沃兹滤波器、椭圆滤波器，设计出IIR数字滤波器，对音频进行去噪声处理。

要求：设计的数字滤波器通带最大衰减不大于3dB，阻带最小衰减不低于40dB。注明所设计的滤波器类型（带通、带阻、低通）、以及设计的通带截止频率和阻带起始频率。绘制出加噪信号时域波形及幅频图、滤波器幅频特性曲线、以及去噪后的时域波形及幅频图进行对比。并利用sound函数播放去噪后的音频，体会数字滤波效果。

代码如下：

%step 2

f=4000;%噪声频率

A=0.02;%噪声幅度

[y,Fs]=audioread('dspx1.wav');%fs为采样频率

N=length(y);

k=0:N-1;

noise=A\*cos(2\*pi\*f\*k/Fs);

yn=y+noise';

sound(yn,Fs);

x1=(0:length(yn)-1)/Fs;

figure;

subplot(2,1,1);

plot(x1,yn);

grid on

xlabel('/秒');

Yn=fft(yn,N);

absYn=abs(Yn);

maxYn=max(absYn);

subplot(2,1,2);

plot(k\*Fs/N,abs(Yn)/maxYn);

grid on

xlabel('频率/Hz');

ylabel('加噪音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);

%通过滤波器滤除噪声

%figure1 巴特沃兹带阻滤波器

fp1=3000;

fp2=5000;%设置通带的频率为2500和5500

fs1=3500;

fs2=4500;%设置阻带的频率为3500和4500

wp=[2\*pi\*fp1/Fs 2\*pi\*fp2/Fs];

ws=[2\*pi\*fs1/Fs 2\*pi\*fs2/Fs];

Rp=3;

Rs=40;

[n1,wn1]=buttord(wp/pi,ws/pi,Rp,Rs);

[b1,a1]=butter(n1,wn1,'stop');

[H1,w1]=freqz(b1,a1);

bdH1=20\*log10(abs(H1)/max(abs(H1)));

angleH1=angle(H1);

figure

subplot(2,2,1);

plot(w1/2/pi\*Fs,bdH1);

xlabel('频率/Hz');

ylabel('频率衰减/dB');

axis([0,8000,-150,0]);

subplot(2,2,2);

plot(w1/2/pi\*Fs,angleH1);

xlabel('频率/Hz');

ylabel('相角');

y1=filter(b1,a1,yn);

subplot(2,2,3);%滤波后信号时域图

plot(x1,y1);

grid on

xlabel('/秒');

sound(y1,Fs);

Y1=fft(y1,N);

subplot(2,2,4);%滤波后信号频谱

plot(k\*Fs/N,abs(Y1)/max(abs(Y1)));

grid on

xlabel('频率/Hz');

ylabel('加噪音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);

%figure2 椭圆函数带阻滤波

[n2,wn2]=ellipord(wp/pi,ws/pi,Rp,Rs);

[b2,a2]=ellip(n2,Rp,Rs,wn2,'stop');

[H2,w2]=freqz(b2,a2);

bdH2=20\*log10(abs(H2)/max(abs(H2)));

angleH2=angle(H2);

figure

subplot(2,2,1);

plot(w2/2/pi\*Fs,bdH2);

xlabel('频率/Hz');

ylabel('频率衰减/dB');

axis([0,8000,-150,0]);

subplot(2,2,2);

plot(w2/2/pi\*Fs,angleH2);

xlabel('频率/Hz');

ylabel('相角');

y2=filter(b2,a2,yn)

Y2=fft(y2,N);

subplot(2,2,3);%滤波后信号时域图

plot(x1,y2);

grid on

xlabel('/秒');

sound(y2,Fs);

Y2=fft(y2,N);

subplot(2,2,4);%滤波后信号频谱

plot(k\*Fs/N,abs(Y2)/max(abs(Y2)));

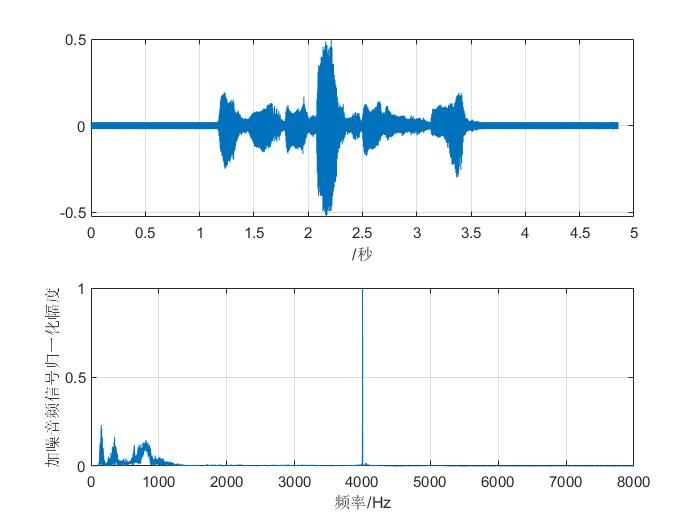
grid on

xlabel('频率/Hz');

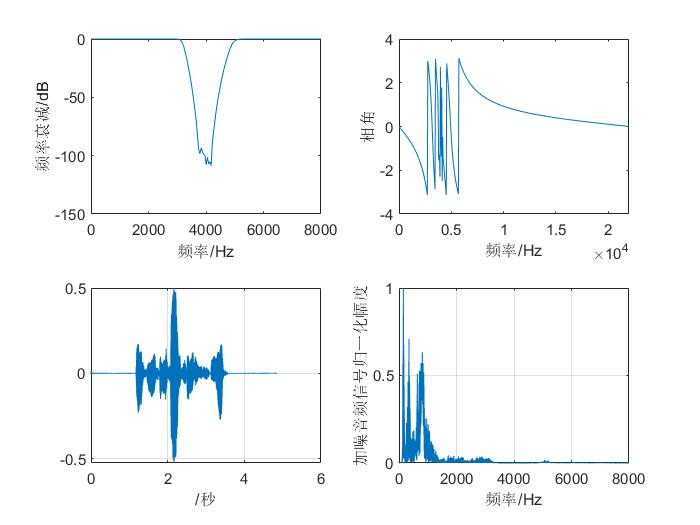
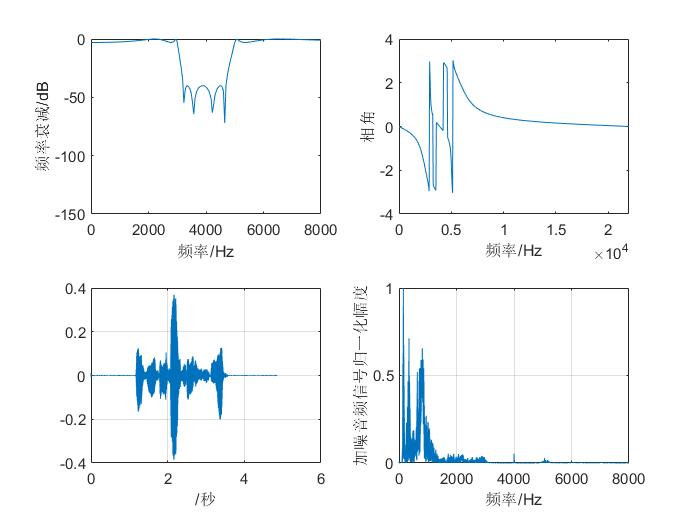
ylabel('加噪音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);

结果如下：



分析得知，从时域来看，相当于对时域波形增加了一个单音正弦波，由于幅度较小，表现为时域波形的“模糊”，从频谱来看，再正弦波的频率处出现了单音谱线，和理论相符。

选择带阻滤波器将中心频率设置为4000Hz，合理挑选过渡带宽，可以看到再中心频率处均有较大的衰减，在频谱上看噪声频谱已经被消除。对比椭圆滤波器和巴特沃兹滤波器，巴特沃兹最大平坦，通带和阻带内波纹较小，但是同时过渡带较宽，椭圆滤波器通带和阻带内均有波纹，但是过渡带较小。

3.选取符合要求的窗函数法设计一个FIR滤波器，完成实验内容2。绘制FIR滤波器幅频特性曲线、以及去噪后的时域波形及幅频图。

代码如下：

% step3

f=4000;%噪声频率

A=0.02;%噪声幅度

[y,Fs]=audioread('dspx1.wav');%fs为采样频率

N=length(y);

k=0:N-1;

noise=A\*cos(2\*pi\*f\*k/Fs);

yn=y+noise';

sound(yn,Fs);

x1=(0:length(yn)-1)/Fs;

figure;

subplot(2,1,1);

plot(x1,yn);

grid on

xlabel('/秒');

Yn=fft(yn,N);

absYn=abs(Yn);

maxYn=max(absYn);

subplot(2,1,2);

plot(k\*Fs/N,abs(Yn)/maxYn);

grid on

xlabel('频率/Hz');

ylabel('加噪音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);%加噪信号时域及频域分析

fp=3000;

T=1/Fs;

wn=[2\*fp\*T 1];

b=fir1(100,fp\*T,"low");

%freqz(b,1,512);

w=linspace(0,pi/2,512);

H=freqz(b,1,512);

figure

subplot(2,2,1)

plot(2\*w/pi\*Fs,20\*log10(abs(H)));

title('51阶hamming窗幅频特性')

xlabel('频率/Hz');

ylabel('幅度衰减/dB');

axis([0,8000,-100,0]);

subplot(2,2,2);

plot(2\*w/pi\*Fs,angle(H));

title('51阶hamming窗相频特性')

xlabel('频率/Hz');

ylabel('相角');

y1=filter(b,1,yn);

subplot(2,2,3);%滤波后信号时域图

plot(x1,y1);

grid on

xlabel('/秒');

sound(y1,Fs);

Y1=fft(y1,N);

subplot(2,2,4);%滤波后信号频谱

plot(k\*Fs/N,abs(Y1)/max(abs(Y1)));

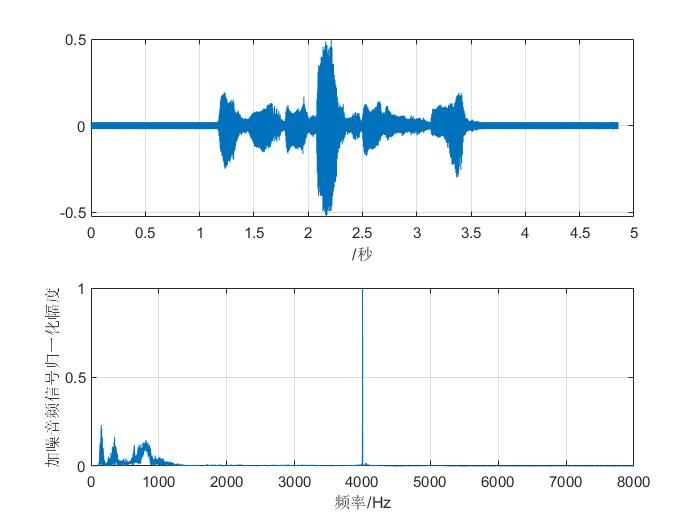
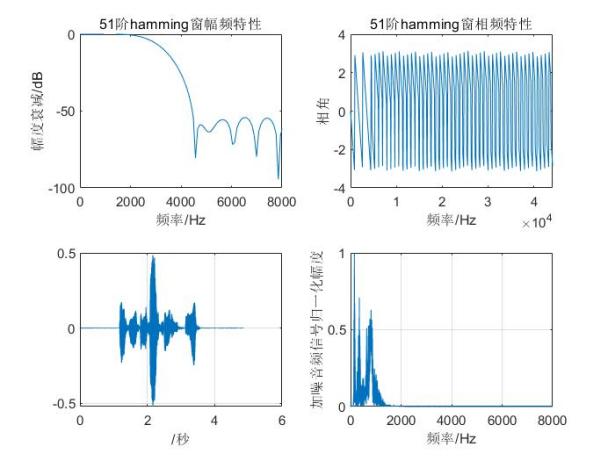
grid on

xlabel('频率/Hz');

ylabel('加噪音频信号归一化幅度');

axis([0,8000,0,1]);

结果如下：

设计的滤波器中将截止频率设置为3000Hz，再4000Hz已经有大于50dB的衰减。

4.对dspx1.wav音频文件实现简易回音效果，要求≥ 10000个采样点。

代码如下：

%step 4

[y,Fs]=audioread('dspx1.wav');%fs为采样频率

N=length(y);

ndelay=12000;

ydelay=zeros(N,1);

ydelay(ndelay+1:N)=y(1:N-ndelay);

z=y+0.5\*ydelay;

figure;

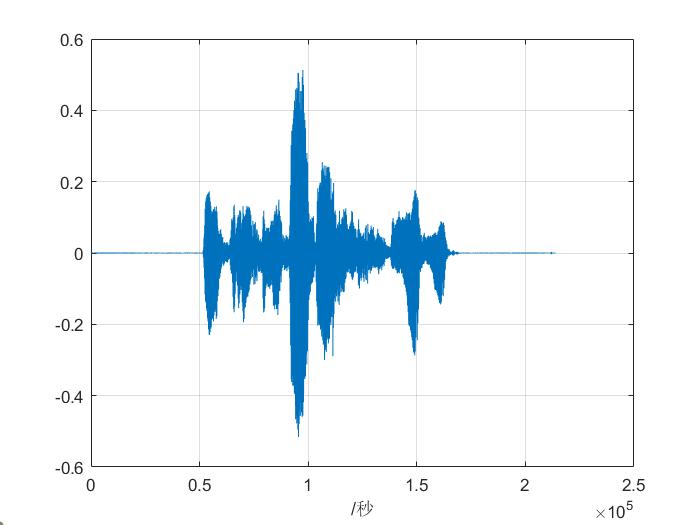
plot(z);

grid on

xlabel('/秒');

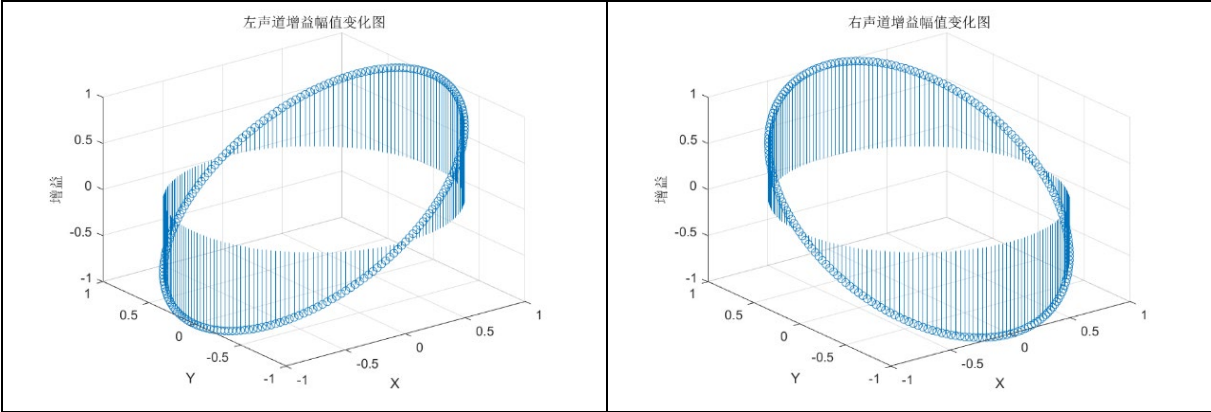
sound(z,Fs);

结果如下：



由于设置了衰减系数为0.5，时域波形上看表现为有一个峰值的延后，幅度为0.5倍的原幅值。

5.生成单一频率的正弦信号，幅度=1，=800Hz，采样频率= 10 × ，持续时长为5秒。左声道时变增益系数和右声道时变增益系数在一个圆周内的幅度变化效果如下图所示：



代码如下：

%step 5

f=800;

Fs=10\*f;

A=1;

t=linspace(0,5,4e4);

x=A\*sin(2\*pi\*f\*t);

y1=x.\*sin(0.1\*2\*pi\*t);

y2=x.\*cos(0.1\*2\*pi\*t);

sound([y1',y2'],Fs);

subplot(2,1,1);

plot(t,y1);

title('左声道');

xlabel('t/s');

axis([0,5,-1,1]);

subplot(2,1,2);

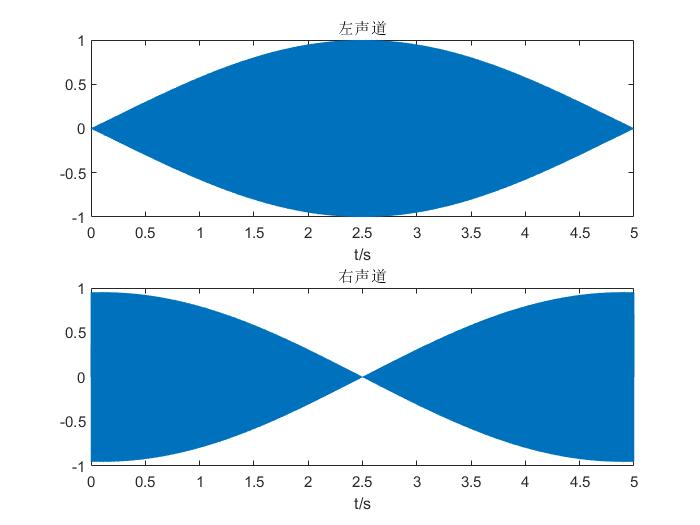
plot(t,y2);

title('右声道');

xlabel('t/s');

axis([0,5,-1,1]);

结果如下：



左右声道幅值的最大和最小值变化不同时，表现出左右声道的交替变化。

1. 实验总结

数字技术的发展已经越来越成熟，并且将模拟数据采样进数字域进行处理具有较好的可靠性，并且效果也较好，因此数字信号处理在当下是十分重要的。本阶段数字信号处理的重头戏是FFT技术和滤波器设计和实现。FFT来自于采样定理，滤波器设计是对信号处理的关键技术，总之二者再本阶段缺一不可，同时对未来的深造学习和工作也具有重要的作用。

通过本次实验，我初步掌握了再matlab软件上编写fft程序的方法，并对采样定理有了更加深刻的了解和认识，同时也了解到了栅栏效应、频谱泄露等重要概念。在滤波器的设计和应用部分，我更加深入地了解到了滤波器的实现方法，以及根据不同的方法设计IIR和FIR滤波器，也对二者的优缺点有了一定的认识。最后数字信号技术的应用在音频、视频、图像等领域均有应用，这是将来学习的方向之一。

由于疫情原因，本学期的数字信号处理实验坎坷曲折，线上线下总是模糊不定，但还是通过本次实验学习到了内容，这让我有收获的喜悦和兴奋。