

编号: \_\_\_\_\_



# 数字信号处理大作业

题    目: 设计数字滤波器实现带外噪声的滤除

院  (系): 信息与通信学院

专    业: 电子科学与技术

学生姓名: 1700200927 陶宏

1700200901 贾晓迪

1700200905 韦颖

1700201109 陈非杨

1700201113 何贞潇

1700201002 李金月

指导教师: 刘庆华

2019 年 7 月 2 日

## 摘要

本次实验旨在加深大家对数字信号处理的理解与认识，培养大家的工程思维、运用能力和动手能力，进一步了解 MATLAB 在信号处理中的应用，更加深刻系统地学习数字信号处理的相关知识和技能。在实验过程中，我们利用 MATLAB 软件对一段语音信号进行时频变换，分别加入人声主要频带内的频率分量以及人声主要频带外的频率分量的噪声信号，并设法对加噪后的语音信号进行滤波。进行实验操作及查阅相关资料后，我们了解到若噪声信号的频率和有用信号的频率重叠，将难以进行滤波操作。对此，我们还设计了实验进行验证。通过此次实验，组员们对滤波器的构造和作用都有了进一步地了解，对数字信号处理也有了新的认识。

## 引言

随着信息科学和计算机技术迅速发展，数字信号处理得到迅速发展，形成了一门重要的学科。如今数字信号处理理论和方法得到了很大的发展，是如今数字化时代的支撑。数字信号处理系统相对于其他系统有很多的优点，它不仅方便，而且还很稳定和可靠。数字信号不仅能完成以一维信号的处理，也可以完成多维信号的处理。数字信号在各种领域都有很大的作用，例如在雷达和通信信号处理中，希望对信号进行加噪或者去噪处理。加噪和去噪处理对整个作业有很大的帮助。

本次实验中主要讨论加噪对原有的音频的影响，设计的滤波器去噪之后的效果。本次实验报告中用 MATLAB 对录制的音频进行时域频域分析，之后对其进行加噪处理，再次进行时域频域分析，设计合适的滤波器对上述音频进行滤波。

## 实验原理

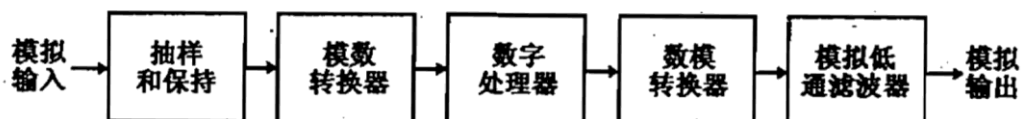


图 1.42 模拟信号数字处理的方案

### 采样与保持

采样，就是将一个时间上连续变化的模拟量转化为时间上离散变化的模拟量。将采样结果存储起来，直到下次采样，这个过程称作保持。一般，采样和保持电路一起总称为采样保持电路。

在进行模拟/数字信号的转换过程中，当采样频率  $f_{s_{\max}}$  大于信号中最高频率  $f_{\max}$  的 2 倍时（ $f_{s_{\max}} \geq 2f_{\max}$ ），采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息，一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5~10 倍；采样定理又称奈奎斯特定理。

### 模数转换 (A/D)

模数转换就是把模拟信号转换成数字信号。模数转换主要有四个步骤：采样、保持、量化、编码。

### 量化与编码

将采样电平归化为与之接近的离散数字电平，这个过程称作量化。

由零到最大值（MAX）的模拟输入范围被划分为  $n$  个值，称为量化阶梯。而相邻量化阶梯之间的中点值称为比较电平。

## 离散傅里叶变换 (DFT)

离散傅里叶变换，是傅里叶变换在时域和频域上都呈离散的形式，将信号的时域采样变换为其 DTFT 的频域采样。在形式上，变换两端（时域和频域上）的序列是有限长的，而实际上这两组序列都应当被认为是离散周期信号的主值序列。即使对有限长的离散信号作 DFT，也应当将其看作其周期延拓的变换。在实际应用中通常采用快速傅里叶变换计算 DFT。

## 滤波

滤波（Wave filtering）是将信号中特定波段频率滤除的操作，是抑制和防止干扰的一项重要措施。滤波器是一种选频装置，可以使信号中特定的频率成分通过，而极大地衰减其他频率成分。利用滤波器的这种选频作用，可以滤除干扰噪声或进行频谱分析。在数字信号处理中，由冲激响应的长度分类，可将滤波器分为有限长冲激响应滤波器(FIR)和无限长冲激响应滤波器(IIR)。

## IIR 滤波器

IIR 滤波器为递归滤波器，即结构上带有反馈环路。

Butterworth Filter 是 IIR 滤波器的类型之一，也被称为最大平坦滤波器。

Butterworth Filter 的特点是通频带内的频率响应曲线最大限度平坦，没有起伏，而在阻频带则逐渐下降为零。在振幅的对数对角频率的波特图上，从某一边界角频率开始，振幅随着角频率的增加而逐步减少，趋向负无穷大。

Butterworth Filter 的缺点是有较长的过渡带，在过渡带上很容易造成失真，在调用 MATLAB 里的 Butterworth Filter 做仿真时，信号总会在第一个周期略微有些失真，但往后的幅频特性就非常的好。

## FIR 滤波器

FIR 滤波器又称为非递归型滤波器，目前常用的设计方法有窗函数法和频率采样法。

窗函数法是从时域进行设计，因为窗函数法简单、物理意义清晰，因此得到广泛应用。窗函数法设计的基本思想是：首先根据技术指标要求，选取合适的阶数  $N$  和窗函数的类型  $w(n)$ ，使其幅频特性逼近理想滤波器幅频特性。其次，因为理想滤波器的  $h_d(n)$  是无限长的，所以需要对其  $h_d(n)$  进行截断。简而言之，用窗函数法设计 FIR 滤波器是在时域进行的，先用傅里叶变换求出理想滤波器单位抽样响应  $h_d(n)$ ，然后加时间窗  $w(n)$  对其进行截断，以求得 FIR 滤波器的单位抽样响应  $h(n)$ 。

## 数模转换 (D/A)

数模转换就是将离散的数字量转换为连续变化的模拟量。以电压或电流的形式输出。

数模转换实质上是一个译码器（解码器）。一般常用的线性 D/A 转换器，其输出模拟电压  $u_0$  和输入数字量  $D_n$  之间成正比关系。

D/A 转换器一般由数码缓冲寄存器、模拟电子开关、参考电压、解码网络和求和电路等组成。

## 模拟低通滤波器 (Analog lowpass filter)

在模拟滤波器设计中，最为关键的是设计低通滤波器。只要设计好了低通，则其它类型滤波器的传输函数便可通过频率变换由低通滤波器的传输函数求得，所以低通滤波器也称原型低通滤波器。

# 实验内容及过程

## 对双声道信号进行采样处理

```
% 音频预先处理
L=length(x);
n=0:L-1;
X=fft(x,L);%对Y进行N点DFT变换到频域
f=fs*(0:L/2-1)/L;%对应点的频率

% 合并声道
x1=x(:,1); % 抽取第 1 声道
x2=x(:,2); % 抽取第 2 声道
x=(x1+x2); % 两路单声道列向量矩阵变量合并
xm=max(max(x),abs(min(x))); % 找出极值
x=x./xm; % 归一化处理

figure('Name','原始语音信号的时频分析');
set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));

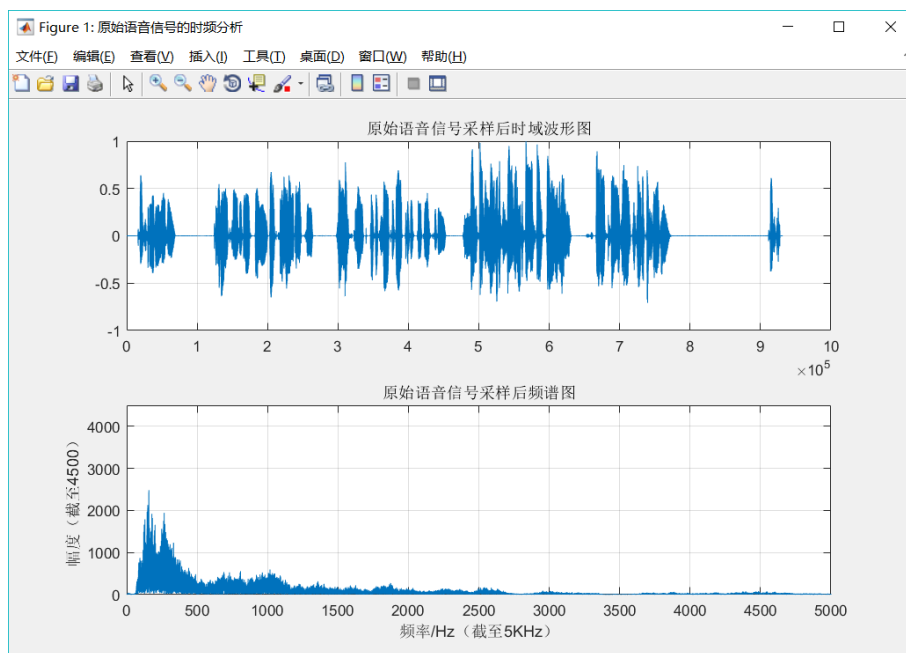
subplot(211);plot(n,x);title('原始语音信号采样后时域波形图');grid on;
subplot(212);plot(f,abs(X(1:L/2)));title('原始语音信号采样后频谱图');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid

% sound(x,fs);
```

以下说明均对应相应程序段

对语音信号进行预处理，包括：

1. 音频预先处理：提取长度和频率向量
2. 合并声道： 原始音频是双声道的，在 MATLAB 里面表现为矩阵形式，我们把已经采样到频域中的两个声道分别提取出来进行算术平均，使其转化为单声道，即由矩阵形式转化为列向量形式便于处理。 将显示频率截止到 5KHZ，显示幅度截止到 4500，结果如图。



3.播放声道合并后的信号，发现没有立体感。

## 对单声道信号进行加噪

### 1. 加入人声频带外噪声（4KHZ 单频），并设法滤波

```
% 加入4KHz单频噪声
n1=cos(2*pi*4000/fs*n);
N1=fft(n1,L);

x_n1=x+n1';
X_n1=fft(x_n1,L);
figure('Name','加入4KHz单频噪声及处理结果');
set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
subplot(231);plot(n1);title('4KHz噪声的时域波形图');grid on;
subplot(234);plot(f,abs(N1(1:L/2)));title('4KHz噪声的频域波形图');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;
subplot(232);plot(x_n1);title('加入4KHz噪声后的语音信号时域波形');grid on;
% axis([0 fs -.6 .8]);
subplot(235);plot(f,abs(X_n1(1:L/2)));title('加入4KHz噪声后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;
```

```

%低通滤波器设计
%FIR_LP_OUT Returns a discrete-time filter object.
% FIR Window Lowpass filter designed using the FIR1 function.
% All frequency values are in Hz.
Fs = 48000; % Sampling Frequency
Fpass = 3000; % Passband Frequency
Fstop = 3500; % Stopband Frequency
Dpass = 0.057501127785; % Passband Ripple
Dstop = 0.0001; % Stopband Attenuation
flag = 'scale'; % Sampling Flag

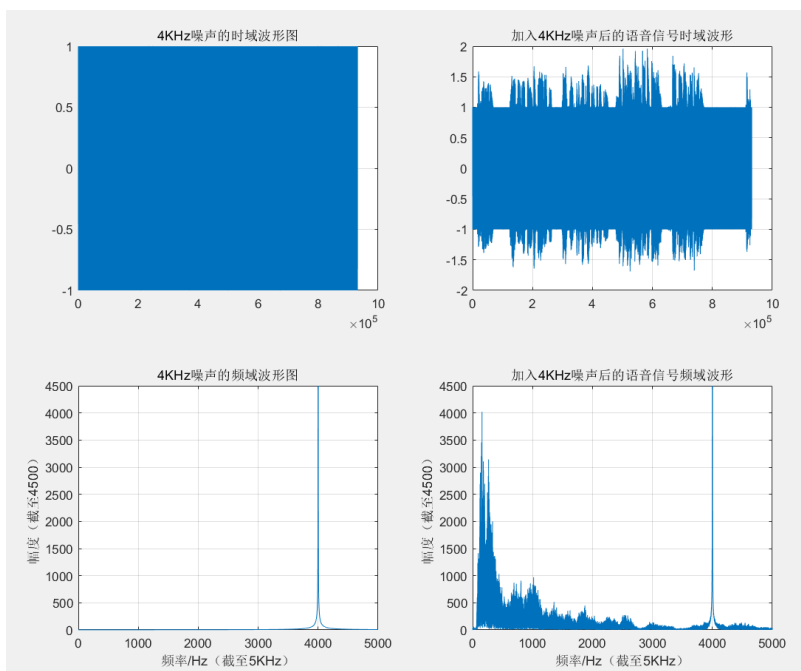
% Calculate the order from the parameters using KAISERORD.
[N,Wn,BETA,TYPE] = kaiserord([Fpass Fstop]/(Fs/2), [1 0], [Dstop Dpass]);

% Calculate the coefficients using the FIR1 function.
b = fir1(N, Wn, TYPE, kaiser(N+1, BETA), flag);
Hd = dsp.FIRFilter( ...
    'Numerator', b);

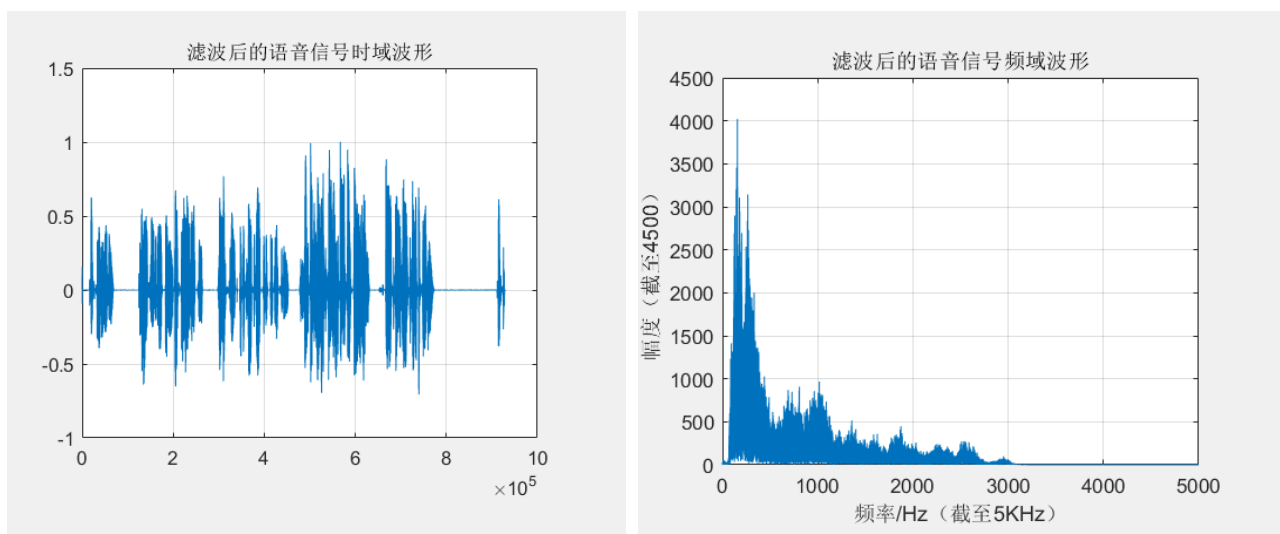
%低通滤波
% [EOF]
y=fftfilt(b,x_n1);
Y=fft(y,L);
subplot(233);plot(y);title('滤波后的语音信号时域波形');grid on;
% axis([0 1000000 -.6 .8]);
subplot(236);plot(f,abs(Y(1:L/2)));title('滤波后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');
axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;

```

人声带能产生的频率主要是 1KHZ 到 3KHZ, 4KHz 噪声在本大作业选取的样本音频的频率范围之外, 下图为 4KHZ 单频噪声的时频图以及样本音频加入带外噪声后的时频域图。



用窗函数设计一个低通滤波器，设置参数。用它对加噪后的信号进行滤波处理。下图为滤波处理后结果。



时域分析：加噪后的语音信号通过滤波器后混叠在人声中的噪声已被滤除。

频域分析：大于人声频率（3KHZ）的噪声频率分量被滤除。

播放效果：噪声基本被滤除，人声清晰。

结论：处理效果好，能够在保留人声的同时抑制大部分噪声



## 2. 加入人声频带内噪声（1KHZ 单频），并设法滤波

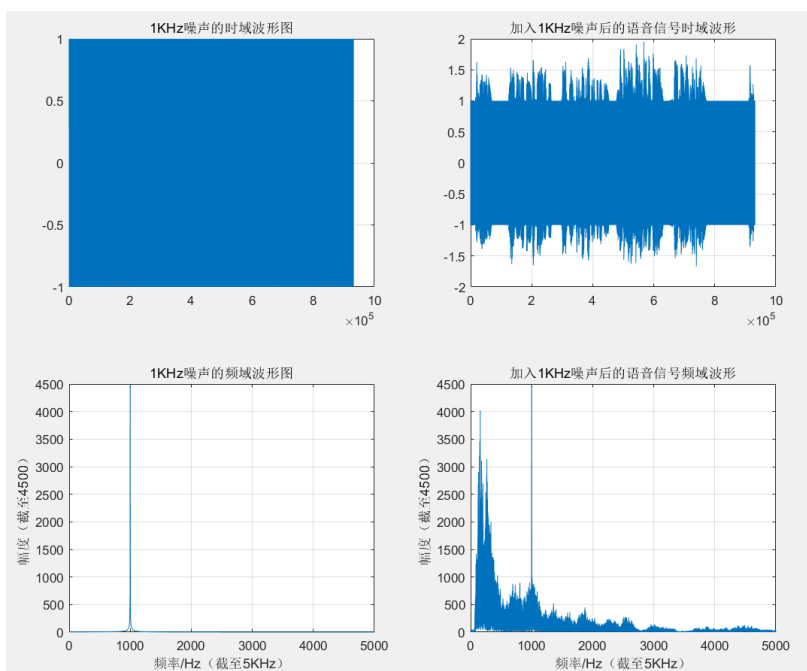
```
% 加入1KHz单频噪声
n2=cos(2*pi*1000/fs*n);
N2=fft(n2,L);
x_n2=x+n2';
X_n2=fft(x_n2,L);
figure('Name','加入1KHz单频噪声及处理结果');
set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
subplot(231);plot(n2);title('1KHz噪声的时域波形图');grid on;
subplot(234);plot(f,abs(N2(1:L/2)));title('1KHz噪声的频域波形图');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;
subplot(232);plot(x_n2);title('加入1KHz噪声后的语音信号时域波形');grid on;
% axis([0 fs -.6 .8]);
subplot(235);plot(f,abs(X_n2(1:L/2)));title('加入1KHz噪声后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;

%带阻滤波器设计
%FIR_BS_IN Returns a discrete-time filter object.
% FIR Window Bandstop filter designed using the FIR1 function.
% All frequency values are in Hz.
Fs = 48000; % Sampling Frequency
Fpass1 = 800; % First Passband Frequency
Fstop1 = 900; % First Stopband Frequency
Fstop2 = 1100; % Second Stopband Frequency
Fpass2 = 1200; % Second Passband Frequency
Dpass1 = 0.057501127785; % First Passband Ripple
Dstop = 0.001; % Stopband Attenuation
Dpass2 = 0.057501127785; % Second Passband Ripple
flag = 'scale'; % Sampling Flag
% Calculate the order from the parameters using KAISERORD.
[N,Wn,BETA,TYPE] = kaiserord([Fpass1 Fstop1 Fstop2 Fpass2]/(Fs/2), [1 ...
    0 1], [Dpass1 Dstop Dpass2]);
% Calculate the coefficients using the FIR1 function.
b = fir1(N, Wn, TYPE, kaiser(N+1, BETA), flag);
Hd = dsp.FIRFilter(...
    'Numerator', b);

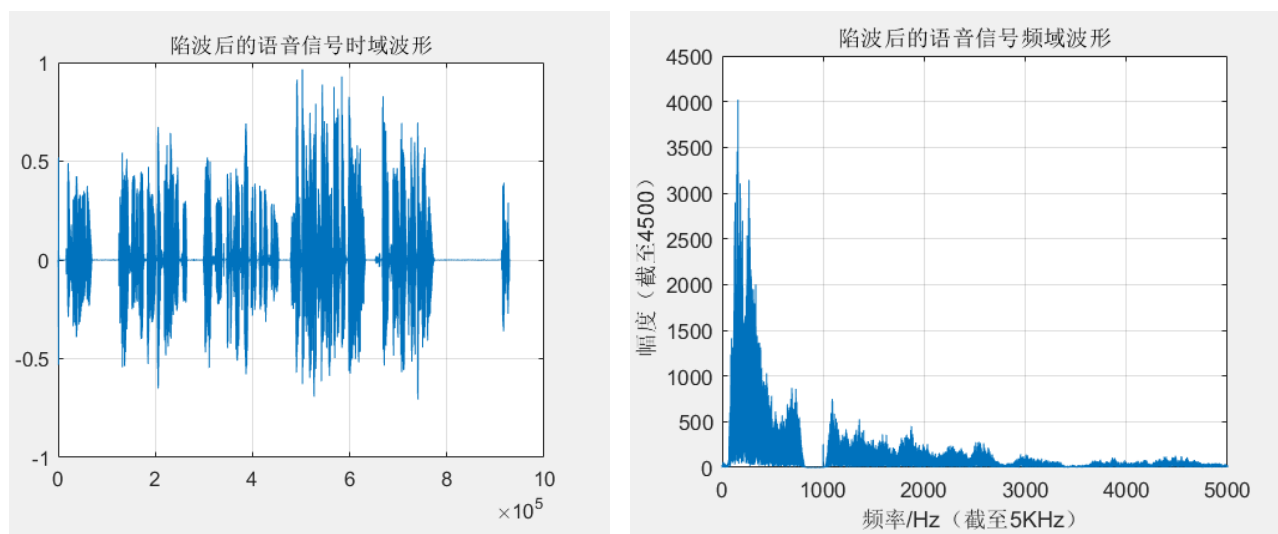
%带阻滤波
% [EOF]
y=fftfilt(b,x_n2);
Y=fft(y,L);

subplot(233);plot(y);title('陷波后的语音信号时域波形');
% axis([0 1000000 -.6 .8]);
grid on;
subplot(236);plot(f,abs(Y(1:L/2)));title('陷波后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;
```

1KHZ 在样本音频频率范围之内，下图为 1KHZ 单频噪声的时频图以及样本音频加入带内噪声后的时频域图。



用窗函数设计一个窄带带阻滤波器（陷波器），设置参数。用它对加噪后信号进行滤波处理。下图为滤波处理后结果。



时域分析：加噪后的语音信号通过滤波器后尽管混叠在人声中的噪声被滤除，但同时也抑制了部分人声。

频域分析：在 900HZ 到 1100HZ 频段范围内的信号被滤除。尽管噪声被有效抑制了，但也丢失了声音细节。

播放效果：噪声和部分人声信号被滤除，声音失真。

结论：处理效果不太好，抑制噪声的同时，也抑制了一部分人声。

### 3. 加入全频白噪声，并设法滤波

```
% 加入全频段白噪声
noise=.2*rand(L,1);
Noise=fft(noise,L);
y_z=x+noise;
Y_z=fft(y_z,L);%对加噪后的信号进行n点DFT变换到频域
figure('Name','加入白噪声后的时频分析');
set(gcf,'outerposition',get(0,'screensize'));
subplot(231);plot(noise);title('白噪声的时域波形图');grid on;
subplot(234);plot(f,abs(Noise(1:L/2)));title('白噪声的频域波形图');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;
subplot(232);plot(y_z);title('加噪后的语音信号时域波形');grid on;
% axis([0 1000000 -6 .8]);
subplot(235);plot(f,abs(Y_z(1:L/2)));title('加噪后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;

%低通滤波器的设计
%FIR_LP Returns a discrete-time filter object.
% MATLAB Code
% Generated by MATLAB(R) 9.1 and the DSP System Toolbox 9.3.
% Generated on: 30-Jun-2019 18:09:09
% FIR Window Lowpass filter designed using the FIR1 function.
% All frequency values are in kHz.
Fs = 44.1; % Sampling Frequency

N = 300; % Order
Fc = 3.5; % Cutoff Frequency
flag = 'scale'; % Sampling Flag

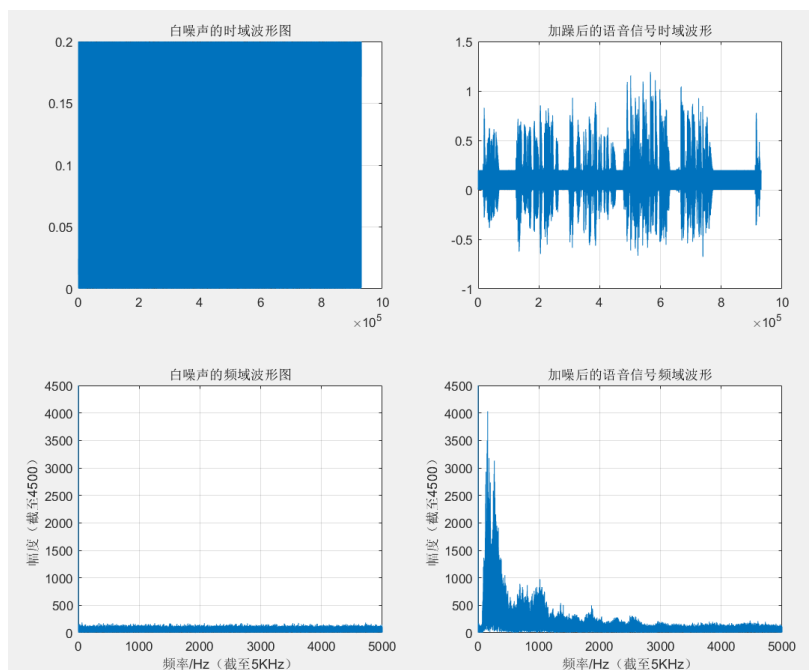
% Create the window vector for the design algorithm.
win = hamming(N+1);

% Calculate the coefficients using the FIR1 function.
b = fir1(N, Fc/(Fs/2), 'low', win, flag);
Hd = dsp.FIRFilter( ...
    'Numerator', b);

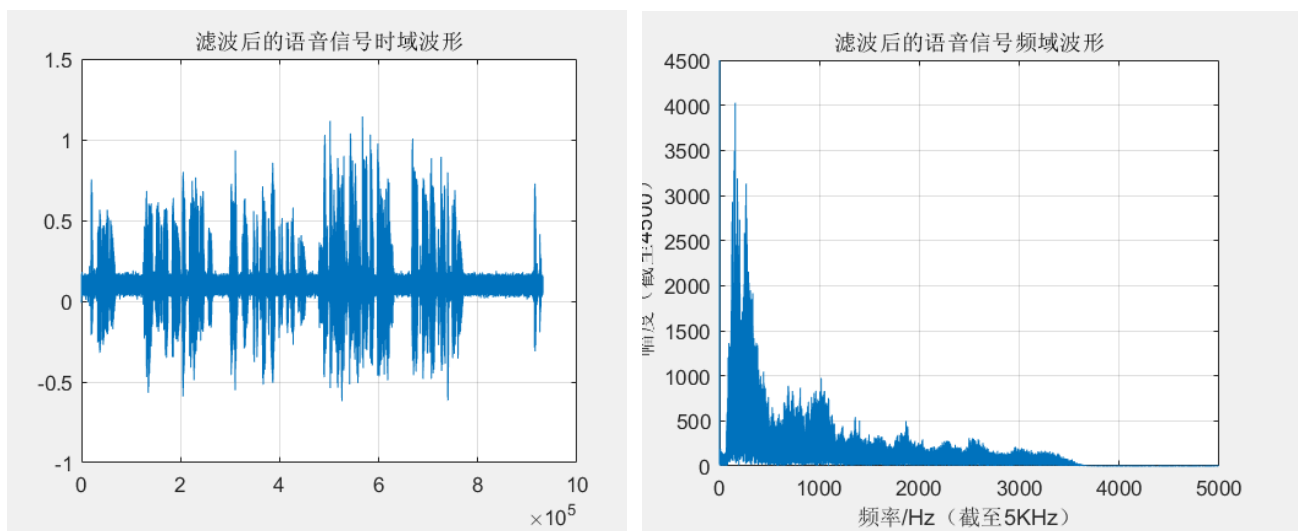
%低通滤波
% [EOF]
y=fftfilt(b,y_z);
Y=fft(y,L);
subplot(233);plot(y);title('滤波后的语音信号时域波形');grid on;
% axis([0 1000000 -6 .8]);
subplot(236);plot(f,abs(Y(1:L/2)));title('滤波后的语音信号频域波形');
xlabel('频率/Hz (截至5KHz)');ylabel('幅度 (截至4500)');axis([0 5*1000 0 4500]);grid on;

% sound(y_z,fs);
% pause(20);
% sound(y,fs);
```

全频白噪声分布在所有频率范围，包括人声部分，但人声范围在 3KHZ 赫兹以下，故采用低通滤波器。下图为全频段白噪声的时频图以及样本音频加入白噪声后的时频图。



用窗函数设计一个低通滤波器，设置参数。用它对加噪后的语音信号进行滤波处理。下图为滤波处理后结果。



时域分析：部分噪声依然混叠在人声信号内无法滤除。

频域分析：3.5KHZ 以上的噪声信号被滤除，但混叠在人声信号内的噪声由于频率相同无法滤除。

播放效果：人声中混叠噪声，声音不清晰。

结论：处理效果不好。由于滤波器的限制，只能抑制阻带内的噪声，不论采用什么算法，都无法抑制通带内的白噪声。

# 实验结果及分析

由以上实验分析，单频噪音频域分布均匀，在对声源进行加噪后，可听到尖锐的声音。再对已进行过滤的信息频谱图分析，可知对已参杂噪音的信息不能完全滤除，其原因主要是单频噪音有滤波范围内的分频量。

在对加入带内单频噪音的信息进行滤波后，部分人声也已被滤除，噪音部分有所保留，滤波器参数的合理设计，对原声保留以及噪音的滤除有显著影响。其中表现最明显的是对加入全频白噪音的信息进行滤除，全频白噪音的频率分量大量地被保留在原声音信息里，我们可听到滤波后的声音参杂大量的噪音。

## 团队分工

陶宏：组长，编写 MATLAB 程序，校对报告

韦颖：汇总材料、统筹规划

贾晓迪：编写引言及报告的其他部分、校对报告

李金月：编写实验原理部分、校对报告

何贞潇：编写实验内容及过程中的解释部分

陈非杨：编写实验内容及过程中的解释部分

## 实验总结

我们想到在人声范围内的噪音可采用设计一个保留连续变化声音信号滤除不连续信号的滤波器，但我们的技术能力无法达到这点。想要滤除带内噪声，只能在抑制特定频段的噪声的同时抑制部分人声，由此造成了声音的失真。为了更加深刻的验证我们的认识，我们对样本信号进行了全频段加噪，发现带内噪声确实无法通过简单的阻带通带滤波器滤除。所以在信息传输和转换过程中，我们更需要更加精湛地传输处理手段，尽量避免干扰，更完整的保留有用信息。

## 参考文献

- [1] Sanjit K. Mitra . Digital Signal Processing: A Computer-based Approach. 阔永红改编. 北京：电子工业出版社, 2006.
- [2] Sanjit K. Mitra . Digital Signal Processing: A Computer-based Approach. 余翔宇译. 北京：电子工业出版社, 2004.
- [3] 阎石. 数字电子技术基础. 北京：高等教育出版社, 2016.