

文献引用格式:徐帆云.基于 Matlab 的音频降噪滤波器设计[J].电声技术,2017,41(2):28-33.

XU Fanyun. Design method of filter for audio noise reduction based on application of Matlab[J]. Audio engineering, 2017,41(2):28-33.

中图分类号:TN912.3

文献标志码:A

DOI:10.16311/j.audioe.2017.02.06

基于 Matlab 的音频降噪滤波器设计

徐帆云

(电子科技大学 电子工程学院,四川 成都 611731)

摘要:以一个被有几个谐波分量的幅度较大的蜂鸣信号干扰了的音频信号为例,使用按以上那个方法设计出的滤波器对其进行滤波处理,最终再增幅处理得到清晰的声音信号。另外,对于同一个含噪声的音频信号采取基于不同窗函数的 FIR 滤波器处理,对比得到不同信噪比对应的最佳窗函数选择方案。

关键词: Matlab; 快速傅里叶变换; 汉宁窗函数; 滤波器; 音频降噪

Design method of filter for audio noise reduction based on application of Matlab

XU Fanyun

(School of Electronic Engineering, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 611731, China)

Abstract: In this paper, a voice signal with a buzzing noisy which composed of several harmonic component is made as an example. The way mentioned above to design a filter and do filtering processing is used. Finally, the original voice signal is got clearly. In addition, the same signal is dealt with using different FIR filter based on different kind of window function, contrasting and get the optimal window function selection scheme obtained for different SNR.

Key words: Matlab; fast Fourier transform; Hanning window function; filter; audio noise reduction

在信息时代,数字通信系统得到广泛的应用,然而通信系统难免会受到外界噪声的干扰,噪声的形式多种多样,完全是随机无法预估的,无论在军事还是民用通信系统中回波噪声、工频干扰、随机噪声都将严重影响通信质量,强噪声甚至会给人类的身心带来极大的危害。在高噪声的环境下,如何稳定而准确地从被噪声干扰的信号中高效率地将噪声信号滤掉提取原有通信信号,并且保持优良通信信息清晰度,成为当前数字信号处理中一个重要的研究方向^[1-3]。

对于含有噪声的信号,使用 Matlab 软件对读取到的高噪声信号,使用快速傅里叶变换观察频谱特性,再使用具有不同通带和阻带的滤波器对特定频率段的噪声进行处理,再进行一定的增幅处理,便可得到较为清晰的原信息信号^[4-9]。

1 设计思路

用 waveread() 函数读取音频和其采样率和采样位宽,对读取的音频信号使用 fft() 函数进行快速

傅立叶变换并绘出得到的频谱。观察频谱分析噪声(蜂鸣信号)的谐波频率分布,选择合适的滤波模式将噪声信号的谐波滤去,便可以得到去除噪声后的人声。

设计滤波器的频域特性便成了除去噪声并留下原声的关键,笔者注意到采样定理以及一维 sinc 函数(辛格函数) $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$, 根据所要保留的和需要截掉的信号频率分布,选择了相对其他窗函数而言选择效果最佳的汉宁窗函数使得旁瓣互相抵消,消去高频干扰和漏能。它适用于非周期性的连续信号。利用它的选择特性使用 fir1() 建立一个汉宁窗函数,并用 filter() 函数进行滤波,去除噪声部分。最后用 play() 函数播放音频检查效果。

2 设计过程

2.1 音频的读取和分析

先将原始音频文件读入,频域图如图 1 所示。

[audio0, Fs, nbits] = wavread('C:\Users\Administrator\

Desktop\signal\buzz.wav');% 按路径读取音频存入 audio0 变量,并用 Fs 变量记录采样率,nbits 变量记录采样位宽。

其中,

Fs = 11025 #采样率为 11025Hz

nbits = 32 #采样带为 32

p0 = audioplayer(audio0,Fs);% 将 audio0 载入音频播放器

play(p0);% 并进行播放

subplot(2,1,1);% 分屏绘图

plot(audio0);% 绘制原始音频时域图,如下图所示

title(时域);% 标注题目

[k] = fft(audio0,Fs);% 对原始音频进行快速傅立叶变换

subplot(2,1,2);

plot(abs(k));% 绘制原始音频频域图

title(频域);

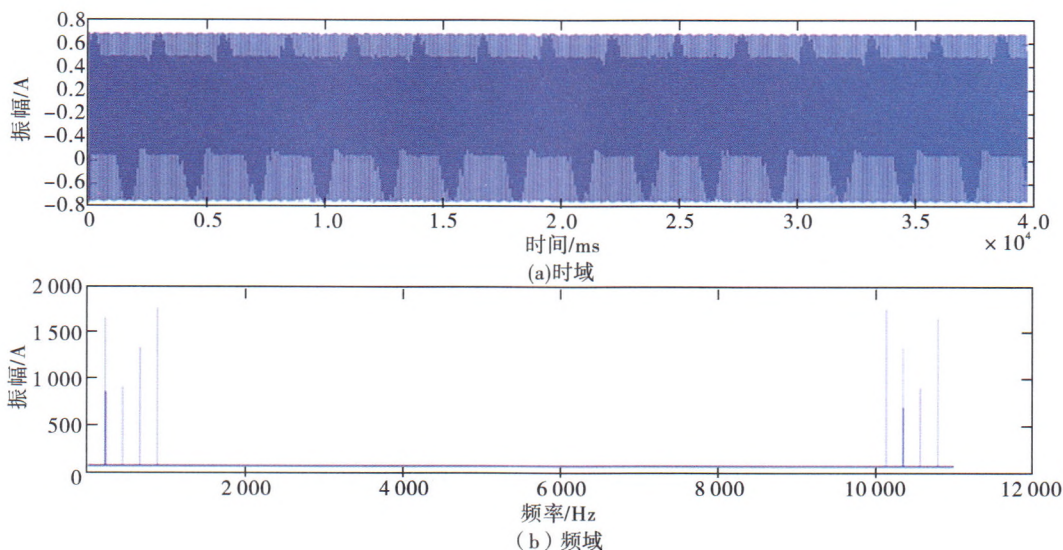


图1 原声时域和频域图像

此时,在时域中杂乱分布的声音信号变换到频域中将噪声谐波所分布的频域中显得尤为清晰简洁,这样就不难发现干扰信号主要分布在 0 ~ 1 000 Hz 以内,由于听到的噪声比人声大得多,笔者又画出

了声音强度的时域和频域图像,得到如图 2 所示的声音强度的时域和频域图。

figure;subplot(2,1,1);

plot(audio0);

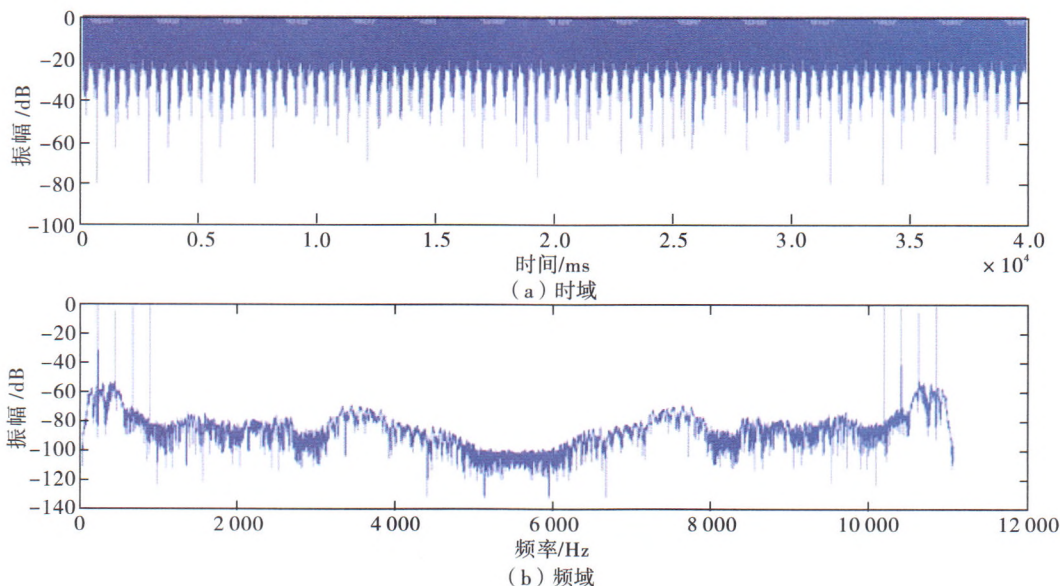


图2 原声声音强度时域和频域图像

```
plot(20 * log10(abs(audio0)/max(abs(audio0)))); %
绘制原始音频声音强度的频域图
ylabel( '分贝/dB' );
xlabel( '时间/ms' );
title( '时域' );
[k] = fft(audio0,Fs);
subplot(2,1,2);
plot(abs(k));
plot(20 * log10(abs(abs(k))/max(abs(abs(k)))));
% 绘制原始音频声音强度的频域图
ylabel( '分贝/dB' );
xlabel( '频率/Hz' );
title( '频域' );
```

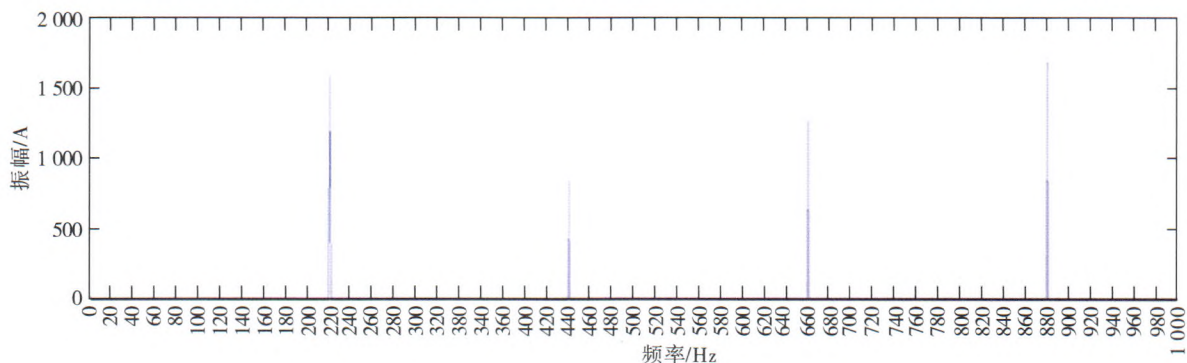


图3 噪声局部频域放大图

```
plot(abs(k)); % 重绘图像
set(gca,XLim',[0 1000]); % 更改显示范围为 0~1000
set(gca,XTick',[0:20:1000]); % 更改坐标步长为 20
```

观察图像可发现,干扰信号的谐波频率为: 220,440,660,880 Hz,在放大后发现噪声信号为 4 个几乎对称的三角波,而非单位冲击,结合以上几个图,笔者分析得到干扰信号主要分布在 0~1 000 Hz 以内,而人声是大部分分布于大于 1 000 Hz 区间的,由此笔者想到了对频率具有选择特性的滤波器,且此处需要设计一个高通滤波器,以将位于 0~1 000 Hz 以内的噪声滤掉,留下大于 1 000 Hz 人声信号。

2.2 滤波器的设计

由于干扰信号的谐波频率为: 220,440,660,880 Hz,而人类说话的频率大概在 300~3 400 Hz,而干扰信号非常大,需要一个滤波器来实现将大约高于 1 000 Hz 的信号保留,低于 1 000 Hz 的信号滤掉,观察分贝图,发现大部分噪声分布在 40 dB 以内,因此阻带最小衰减不应小于 40 dB,根据以上所需要的设计参数,笔者根据频域特性对表 1 所示几个窗函数进行选择。

```
figure;
subplot(2,1,1);
plot(abs(k));
ylabel( '振幅/A' );
xlabel( '频率/Hz' );
set(gca,XLim',[0 1000]);
set(gca,XTick',[0:20:1000]);
```

从频域图中笔者仍然发现了 4 个异常尖峰,再次明显地证实了干扰信号频率主要分布在 0~1 000 Hz 以内;为了更清晰地和观察干扰信号的频域分布情况,笔者进一步绘制这一范围的图像,进行局部深入研究,如图 3 所示。

表 1 常用窗函数的特点

窗函数	主瓣宽	旁瓣峰值/dB	阻带最小衰减/dB
矩形窗	$4\pi/N$	-13	-21
三角形窗	$8\pi/N$	-25	-25
汉宁窗	$8\pi/N$	-31	-44
哈明窗	$8\pi/N$	-41	-53
kaiser 窗	$12\pi/N$	-57	-80

根据上表显示各种窗函数的参数特点,以及阻带最小衰减不应小于 40 dB,尝试并发现选择 Hanning 窗滤波是最合适的,利用其可以使旁瓣互相抵消的频域特性进行滤波,据此可设定合适的参数设计得到一个 Hanning 窗函数高通滤波器。

```
fp = 1000;fs = 900; % 通带频率 fp,阻带频率 fs
wp = 2 * fp * pi/Fs;ws = 2 * fs * pi/Fs; % 归一化边界频率
wc = (wp + ws)/2/pi; % 归一化中心频率
wdp = wp - ws; % 过渡带宽
```

$N = \text{ceil}(12 * \pi / \text{wdp})$; % 由窗函数主瓣宽和过渡带宽,求得窗函数最小长度

```
N = N + mod(N,2); % 高通滤波器 N 必为奇数
```

```
HPfir = fir1(N,wc,'high','hanning(N+1)); % 设计高通
```


hanning 窗滤波器 HPfir

该滤波器的主要参数为:通带边界为 1 000 Hz,阻带边界为 900 Hz,阻带衰减不小于 40 dB。

接下来在时域和频域直观地展示其滤波特性,再根据滤波效果对其参数做微调,

```
figure;%新建图像  
subplot(2,1,1);  
plot(HPfir);%绘制滤波器时域图像  
title('滤波器时域');
```

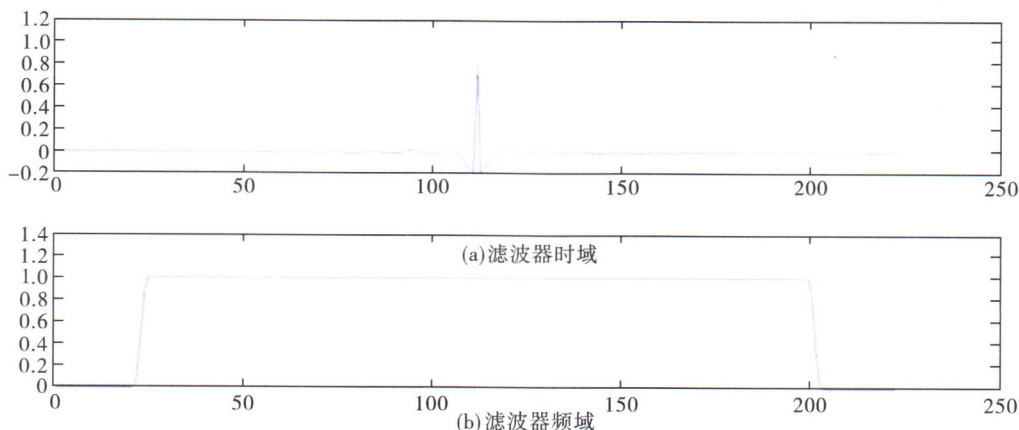


图4 基于汉宁函数的高通滤波器时域和频域图

2.3 音频滤波

滤波器设计完成之后,对原始音频信号进行滤波处理:

audio1 = filter(HPfir,1, audio0);%使用 filter 函数对原声做一维数字滤波

```
p1 = audioplayer(audio1, Fs);
```

```
figure;%新建滤波后的图像
```

```
subplot(2,1,1);
```

```
plot(audio1);%绘制滤波后的时域图像
```

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(abs(fft(HPfir)));%绘制滤波器频域图像
```

```
title('滤波器频域');
```

得到图4所示的滤波器时域和频域特性图。

由图4可见该滤波器的截止频率大约在 900 ~ 1 000 Hz 之间,并且通带带内波动极小,滤波效果会很,好说明该滤波器是完全符合设计的目的。

```
title('滤波后时域');
```

[k0] = fft(audio1, Fs);%对滤波后的信号做快速傅里叶变换

```
subplot(2,1,2);
```

```
plot(abs(k0));%绘制滤波后的频域图像
```

```
title('滤波后频域');
```

此时,得到了如图5所示的滤波后的时域和频域图像。

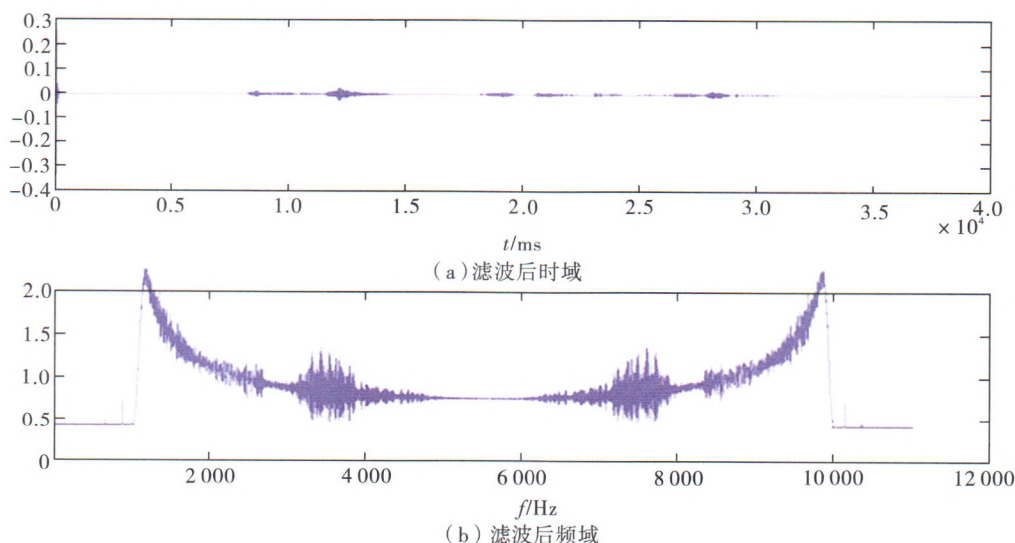


图5 滤波后时域和频域图

最后由于处理后的声音信号幅度较小,听不清晰,需要对音频信号进行增幅处理。

```
audio1 = audio1 * 10;%增幅处理
```

```
p1 = audioplayer(audio1,Fs);
```

```
play(p1);%播放处理后的音频
```

至此,设计结束,笔者获得了去除噪音后较为清晰的、完整的人声信号。

3 基于不同窗函数的 FIR 滤波器滤波效果分析与对比

如图 6 所示,笔者将基于窗函数的 FIR 滤波器进行了以下扩展设计,使用两个传声器接收空间中的信号,包括传声器 1 和传声器 2,其中传声器 1 接收原始含噪信号 S_1 ,传声器 2 仅接收杂乱无章的噪声信号 S_2 。初级处理,将上述两个传声器:传声器 1 和传声器 2 接收的信号在时域上作

差,即 $S_1 - S_2$,初步得到较为纯净的信号 S_3 。在特定的时间段内计算信号 S_2, S_3 的平均功率 P_2, P_3

并得出信噪比 $SNR_1: SNR_1 = 10 \lg \frac{S_3}{S_2}$ 。所得到的信

噪比 SNR_1 可以初步认为是噪声与信号量化相对幅度大小,它将作为后续选择窗函数类型的直接依据之一。另一方面,利用频谱分析技术对上述信号 S_2, S_3 通过快速傅里叶变换算法得到信号 S_2, S_3 的频谱分布,目的是判断噪声信号与有用信号的频谱相对位置。根据以上求得的信噪比的数值从以下几种窗函数中选取最合适的窗函数,再结合频谱分布构建 FIR 滤波器,这些窗函数包括: Hanning window (汉宁窗)、Hanning window (海明窗)、Kaiser window (凯撒窗)、Blackman window (布莱克曼窗)、Triang window (三角窗)、Boxcar window (矩形窗)。

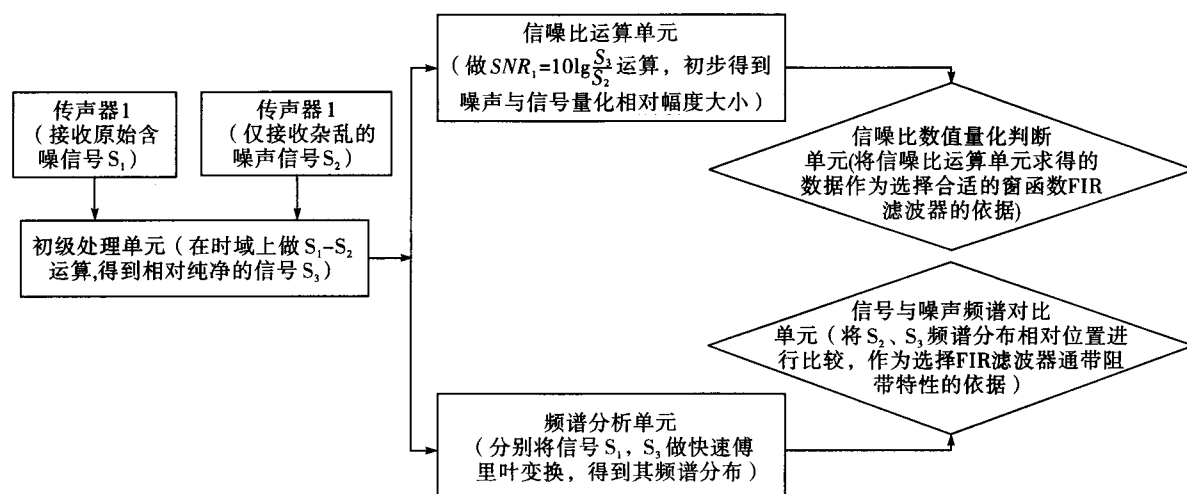


图 6 滤波器设计流程图

如图 7 所示,通过多次音频采集实验,可以得出所需弱信号与强干扰信号分布于不同频谱范围内的滤波器选择方式如下:

(1) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 = 30 \sim -10$ dB, 基于 Boxcar window 的 FIR 滤波器;

(2) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 = -10 \sim -21$ dB, 选择基于 Kaiser window 的 FIR 滤波器;

(3) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 = -21 \sim -25$ dB, 选择基于 Triang window 的 FIR 滤波器;

(4) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 = -25 \sim -44$ dB, 选择基于 Hanning window 的 FIR 滤波器;

(5) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 = -44 \sim -53$ dB, 选择基 Hamming window 的 FIR 滤波器;

(6) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 < -53$ dB, 选择基 Blackman window 的 FIR 滤波器;

(7) 如果信噪比运算单元求得的信噪比 $SNR_1 > 30$ dB, 可以认为周围环境较为安静, 噪声影响不大, 可直接做增幅处理。

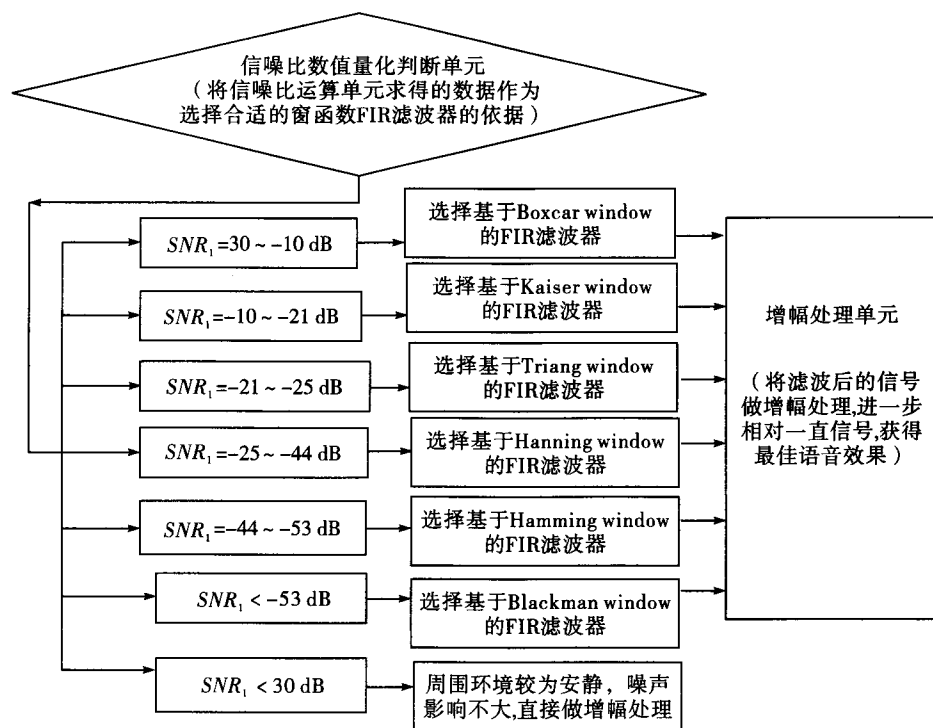


图7 信噪比数值判断方法流程图

这样就将空间中接收的含有强干扰的语音信号通过最佳的窗函数选择提取出了较好的语音信号。

4 结论

笔者将包含有几个谐波分量的蜂鸣信号干扰了的人声信号读入到 Matlab 当中,对读取的音频信号做出其时域图,并用使用 $\text{fft}()$ 函数进行快速傅立叶变换并绘出得到的含有噪声信号的频域图,此时,笔者清楚地看到在频谱图里面看到 4 个峰值,说明干扰信号的谐波频率为: 220 Hz, 440 Hz, 660 Hz, 880 Hz。于是采样定理、辛格函数 $\text{sinc}(x) = \frac{\sin(\pi x)}{\pi x}$ 以及汉宁窗函数去除旁瓣噪声信号的特性等信号与系统和数学知识设计了汉宁高通滤波器,将频率高于 1 000 Hz 的信号保留,而将低于 1 000 Hz 全部截取,再对幅度较小的处理后的信号做增幅处理。通过以上信号处理后得到的清晰的原声音频内容。但是对于具有不同信噪比等特征信号,选择基于不同窗函数的 FIR 滤波器,会得到不同的滤波效果,在这些滤波结果中可以选择到清晰度最佳的语音信号。

参考文献:

- [1] YANG W Y. 信号与系统 (MATLAB 版) [M]. 郑宝玉, 译. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [2] OPPENHEIM V A, WILLSKY S A, NAWAB H S. 信号与系统 [M]. 刘树棠, 译. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [3] OPPENHEIM V A, SCHAFER W R. 离散时间信号处理 [M]. 黄建国, 刘树棠, 张国梅, 译. 3 版. 北京: 电子工业出版社, 2015.
- [4] 卢特威. 基于 MATLAB 和 Mathematica 的设计方法 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2012.
- [5] 张德丰. MATLAB 数值分析 [M]. 2 版. 北京: 机械工业出版社, 2012.
- [6] 刘廷良. 数字滤波器的 MATLAB 与 FPGA 实现 [M]. 2 版. 北京: 电子工业出版社, 2014.
- [7] 甘俊英, 胡异丁. 基于 MATLAB 的信号与系统实验指导 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2007.
- [8] 巴克. 《信号与系统》计算机练习: 利用 MATLAB [M]. 刘树棠, 译. 西安: 西安交通大学出版社, 2000.
- [9] 尹湘翔, 蔡雪梅. 基于 MATLAB 的语音信号数字滤波 [J]. 电声技术, 2013, 37(9): 65-68.

作者简介:

徐帆云 (1995—), 本科生, 主研信号与信息处理、音频信号降噪处理、强干扰背景下弱信号提取等。

责任编辑: 李薇

收稿日期: 2016-08-26