

电子系统综合设计结题报告

学院名称：信息与通信工程学院 填表日期：2021 年 6 月 1 日

姓名	牛馨辉	学号	2018011218027	指导教师	保骏
	杨帆		2018011218028		
	周子涵		2018011218014		
题目名称 (含副标题)	基于语音硬件平台处理的相关题目				
1. 课题研究概述 1.1 课题研究背景 现今信息技术飞速发展，语音技术源源不断地融入到各个领域，语音信号处理是人机接口的关键技术，已广泛应用于直播、在线通话、智能音箱等产品中。语音信号处理包括多个研究方向和涉及多个学科：语音增强、回声消除、麦克风阵列信号处理等，涉及声学、语言学、数学、信号处理、机器学习等多个学科的专业知识。 1.2 课题价值与意义 数字信号处理广泛应用于各领域，它具备处理速度快和运行灵活的优点而且具备极强的抗干扰能力，不受乱码影响。本次综合设计所使用的硬件平台“RZ8665 信号与系统实验箱”是专门为《信号与系统》课程而设计的，平台上提供了 MIC、专用语言编译码单元、DSP 语言信号处理单元、USB 接口。基于此平台和 PC 可实现对语音信号的时域、频域分析、尺度变换、带限、基音分析等基本语言信号处理方式，还可以完成噪声抑制，实现混响效果等功能。可以对数字信号处理、音频信号处理有一些初步的理解。 1.3 国内外研究现状及发展态势 语音信号处理涉及很多方向，语音增强、噪声抑制、语音识别……都有很多研究者在不断努力，特别是深度学习、机器学习的出现给信号处理带来了全新的方向。国内也有很多单位部门在进行相关研究，比如中国科学技术大学语音及语言信息处理国家工程实验室，上海交通大学信号处理与系统研究所等。此外还有很多公司也在语音领域有很多技术落地，各大厂家的智能家居生态中语音识别、高清通话等等都越来越成熟。 1.4 课题内容 本课题完成的是基于语音硬件处理平台的相关题目，硬件处理平台为学校实验室提供的 RZ9664 型信号与系统实验箱。要求语音信号通过 MIC 进入 WM8731（或者使用试验箱输出自带的音频文件），经过 WM8731 处理并完成数字化后，进入 DSP 完成语音的回放和传输，PC 端收到语音信号后，可以完成语音信号的各种分析与回放。软件设计要求为可以通过硬件平台完成语音采集，可以完成语音信号的时域、频域、尺度变换、带限、基音分析。该设计采用的设计软件为 MATLAB，主要解决的问题有以下几点：一是使用数据线连					

接信号与系统实验箱与电脑，完成电脑与实验箱之间的串口通信，将经过数字化后的语音信号传输到 PC 端；二是编写程序实现对语音信号的回放及时域、频域分析、尺度变换、带限、基音分析；三是制作简易的 GUI 界面，使用户可以在图形化界面更加方便地实现对语音信号的各种操作。

2. 课题相关原理及理论基础

2.1 采样定理

在进行模拟/数字信号的转换过程中,当采样频率 f_s 大于信号中,最高频率 f 的 2 倍时,即: $f_s \geq 2f$,则采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息。模拟信号转化为数字信号一般经过: 采样、保持、量化和编码。采样和保持是在 采样保持电路中完成, 而量化与编码步骤则在 ADC 中完成, ADC 性能与最高采样频率和量化位数有关。

2.2 带限分析

根据抽样定理, 抽样频率应大于或等于被抽样信号最高频率的两倍。所以, 对模拟信号抽样前, 应确定该信号的最高频率分量。例如, 语音信号在 500Hz 左右平均功率最大, 在 700Hz 以上, 频率每增加一倍, 功率约下降 1/10。所以将普通电话的频带限制在 300~3400Hz, 通话质量是最满意的。但是, 语音信号中还存在高于 3400Hz 的语声频谱分量。所以, 要用截止频率等于 3400Hz 的低通滤波器将高于该频率的语声频谱滤去, 从而使语声信号成为最高频率等于 3400Hz 的限带信号。这种滤波器称为限带滤波器。通常, 对语音信号的抽样频率为 8000Hz, 满足抽样定理的要求。对限带滤波器在阻带的要求是: 4600Hz 以上频率的衰减应大于 25dB, 8000Hz 以上的衰减大于 28dB。

2.3 基音分析

人在发浊音的时候, 气流使声带产生震荡式振动, 从而产生周期性脉冲气流并激励声道产生浊音, 它携带了语音中的大部分能量。一般人说话(不唱歌)基频最大可能范围 50Hz-500Hz, 一般男声平均 150Hz-160Hz。

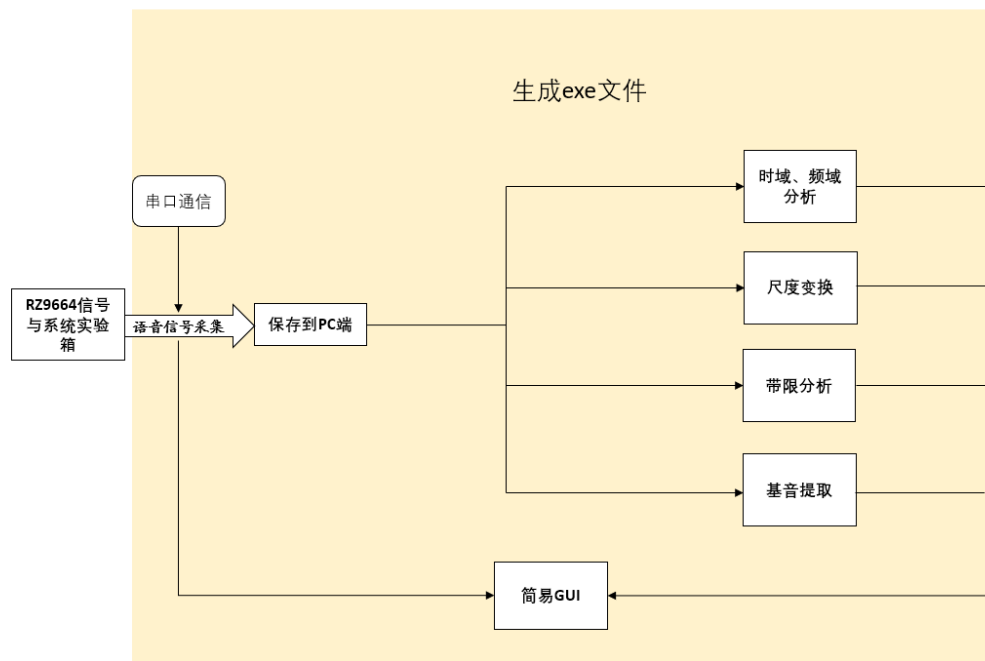
能量有限的语音信号 $x(n)$ 的短时自相关函数定义为:

$$R(m) = \sum_{n=-\infty}^{n=+\infty} x(n)x(n+m)$$

此公式表示一个信号 n 和延迟 m 的相似性。如果信号 $x(n)$ 具有周期性, 那么它的自相关函数也具有周期性, 且周期与信号 $x(n)$ 的周期相同。在周期的整数倍上, 自相关函数能获得最大值, 因此可以从自相关函数的第一个最大值的位置估计出信号的基音周期。

3. 课题方案设计

3.1 系统方案设计



利用实验室提供的 RZ9664 型信号与系统实验箱,将信号箱中经过 DSP 语音信号处理单元处理过的一段音频信号从实验箱传输到 PC 端并保存,保存格式为.wav 文件,编写代码完成对该音频文件的回放,时域、频域分析,尺度变换,带限分析以及基音提取,并设计简易的 GUI 界面展示分析结果。

3.2 单元方案设计

语音信号采集单元: 自定义一个串口, 利用 USB 接口实现 PC 端与实验箱之间的连接, 设置串口的各个参数, 打开串口, 从实验箱中采集出音频信号, 采集完毕后关闭并删除串口, 将采集到的信号保存至 PC 端。

关键代码如下:

```

scom = sprintf('COM%d',c);
obj = serial(scom);
obj.InputBufferSize = 10240000;%设置输入缓冲区的大小
obj.OutputBufferSize = 10240000;%设置输出缓冲区的大小
obj.Timeout = 15;%设置一次写入或者读入操作完成最大时间为 0.5s 时间单位为秒。
obj.BytesAvailableFcnMode = 'byte';% 设置读入文件的格式为二进制。
fclose(instrfind);
fopen(obj);
fwrite(obj,10240000);%
data = fread(obj,10240000);%
fclose(obj); % 关闭串口对象
delete(obj); % 删除内存中的串口对象
[file1, path1]=uinputfile('*.wav');
filename1=[ path1, file1 ];
audiowrite(filename1,data,128000);

```

时域、频域分析单元：选择保存的文件，利用 MATLAB 中的 plot 函数显示出信号时域波形，再进行快速傅里叶变换，显示出频域波形。

关键代码如下：

```
[ori_sig,Fs] = audioread(pathall);
zd = length(ori_sig);
%原始语音信号的时域波形图
axes(handles.time);
plot(ori_sig,'b');
title('时域波形');
xlabel('时间 s');ylabel('幅值 y(t)');grid on;
B=fft(ori_sig,zd);
mag=abs(B);
f=0:Fs/zd:Fs*(zd-1)/zd;
axes(handles.frequency);
plot(f,mag,'b');
title('原始语音信号频谱图');
xlabel('频率 Hz');ylabel('幅值 mag');grid on;
```

尺度变换单元：选择保存的文件，对该音频进行重新采样，分别将采样率变为原来的 2 倍和 1/2 倍，利用 plot 函数将改变采样率后的波形显示，可以与原信号进行对比，观察变化。

采样率变为 1/2 倍的关键代码如下：

```
sc_sig2 = resample(ori_sig,Fs/2,Fs);
axes(handles.time2);
plot(sc_sig2,'b');
title('时域波形');
xlabel('时间 s');ylabel('幅值 y(t)');grid on;
zd2 = length(sc_sig2);
Fs2 = Fs/2;
B2=fft(sc_sig2,zd2);
mag2=abs(B2);
f2=0:Fs2/zd2:Fs2*(zd2-1)/zd2;
axes(handles.fre2);
plot(f2,mag2,'b');
axis([0 8000,0 500])
xlabel('频率 Hz');ylabel('幅值 mag');grid on;
采样率变为 2 倍与之类似。
```

带限分析单元：利用 MATLAB 中的 fdatool 分别设计两个滤波器，将之前保存的音频文件分别通过两个滤波器进行滤波，利用 plot 函数分别显示出时域和

频域波型，可以与原信号相对比，观察发生的变化。

设计关键代码如下：

```
output1 = filter(fir_34k,ori_sig);
    axes(handles.time2);
plot(output1,'b');
title('时域波型');
xlabel('时间 s');ylabel('幅值 y(t)');grid on;
B1=fft(output1,zd);
mag=abs(B1);
axes(handles.fre2);
plot(f,mag,'b');
title('频域波型');
axis([0 8000,0 500])
xlabel('频率 Hz');ylabel('幅值 mag');grid on;
```

基音提取单元：选取保存的文件，利用 MATLAB 编程完成短时自相关法的语音信号的基音提取，即比较原始信号与延迟信号之间的相关性来确定基音周期。若延迟量等于基音周期，那么两个信号具有最大相关性；或通过找出其自相关函数最大值之间的距离，即为基音周期的估计值。

关键代码如下：

```
function [F0, T, R] = spPitchTrackCorr(x, fs, frame_length, frame_overlap, maxlag,
show)
    %%% 3dE¼»´
    N = length(x);
    if ~exist('frame_length', 'var') || isempty(frame_length)
        frame_length = 30;
    end
    if ~exist('frame_overlap', 'var') || isempty(frame_overlap)
        frame_overlap = 20;
    end
    if ~exist('maxlag', 'var')
        maxlag = [];
    end
    if ~exist('show', 'var') || isempty(show)
        show = 0;
    end
    nsample = round(frame_length * fs / 1000);
    noverlap = round(frame_overlap * fs / 1000);

    pos = 1; i = 1;
    while (pos+nsample < N)
        frame = x(pos:pos+nsample-1);
        frame = frame - mean(frame);
```

```

R(:,i) = spCorrelum(frame, fs);
F0(i) = spPitchCorr(R(:,i), fs);
pos = pos + (nsample - noverlap);
i = i + 1;
end
T = (round(nsample/2):(nsample-noverlap):N-1-round(nsample/2))/fs;
end

function [f0] = spPitchCorr(r, fs)
ms2=floor(fs/500);
ms20=floor(fs/50);
r = r(floor(length(r)/2):end);
[maxi,idx]=max(r(ms2:ms20));
f0 = fs/(ms2+idx-1);
end

```

GUI 界面设计单元：在 GUIDE 中创建几个界面，分别为主界面，信号采集界面，时域、频域分析界面，尺度变换界面，带限分析界面，基音提取界面，在各个界面中添加合适的按钮与波形显示窗口，在各个按钮的回调函数中添加相应的代码，界面与界面之间通过“返回”按钮相连接，“选择文件”按钮可以选择需要分析的文件，“RUN”按钮可以运行程序，“PLAY”按钮可以播放经过处理后的音频文件。选择合适的背景图片，编程为 gui 界面添加背景。

其中，“返回”按钮部分的关键代码如下：

```

close(main);
set(si_collect,'Visible','on');
添加背景部分的代码如下：
ha=axes('units','normalized','pos',[0 0 1 1]);
uistack(ha,'bottom');
ii=imread('first.jpeg');
image(ii);
colormap gray
set(ha,'handlevisibility','off','visible','on');
axis off;

```

生成 exe 文件：在命令行窗口中输入 mbuild -setup，选择语言为 C++，完成后输入 mex -setup，输入 mcc -m 添加所需 m 文件，输入 mcc -e 添加所需 m 文件以取消黑框，生成快捷方式后可修改图标。

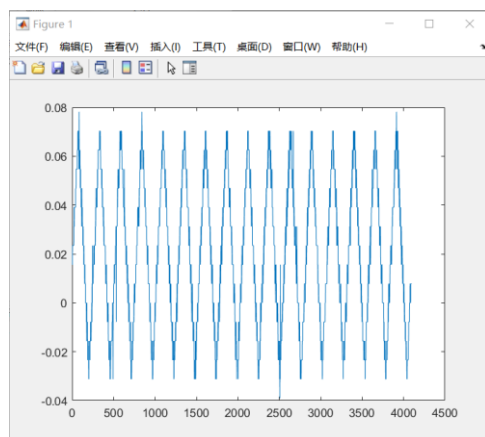
4. 测试与验证

1.1 matlab 功能测试：使用 PC 上现成的.wav 文件验证了时频域分析、尺度变换等功能，在验证中完善了程序细节（比如频谱图坐标）。

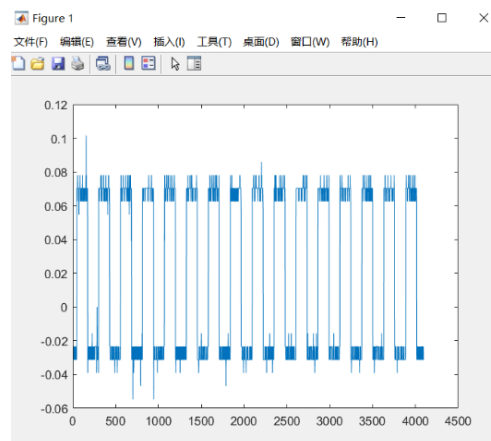
1. 2 串口接收数据验证

用实验箱 dds 产生信号，通过串口传输到电脑，分析频谱图，验证数据格式以及串口配置是否正确。

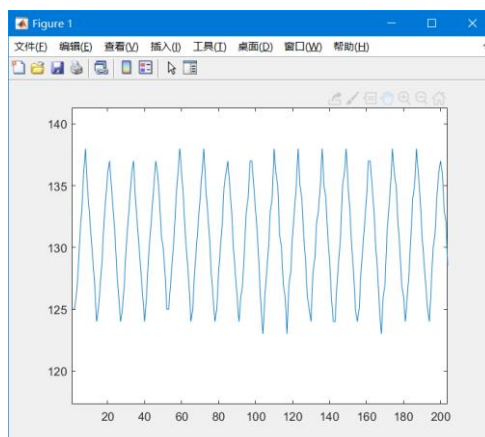
DDS：三角波 频率 2KHz 幅度 5



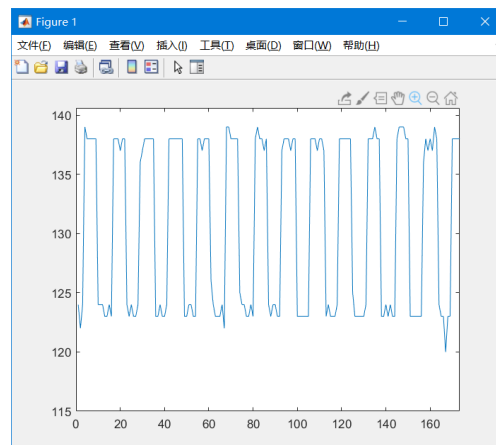
方波 频占比 50% 频率 2KHz 幅度 5



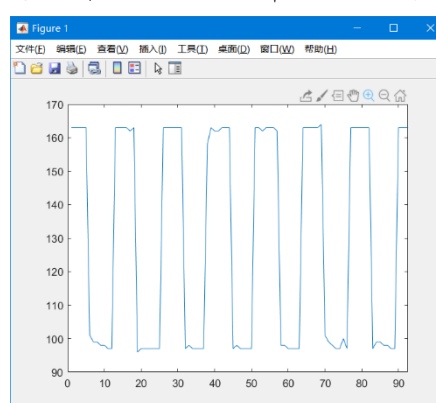
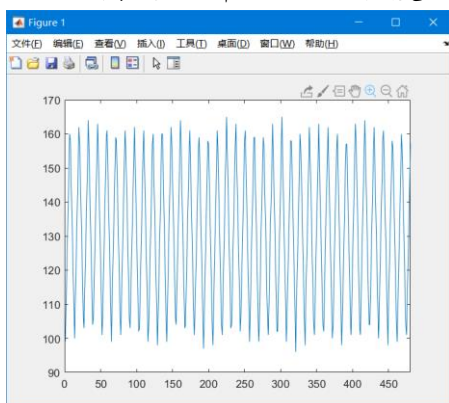
DDS：三角波 频率 10KHz 幅度 5



方波 频占比 50% 频率 10KHz 幅度 5

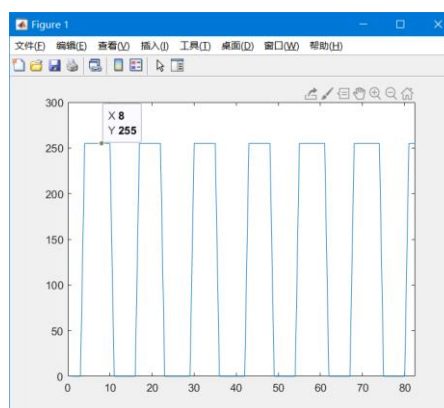
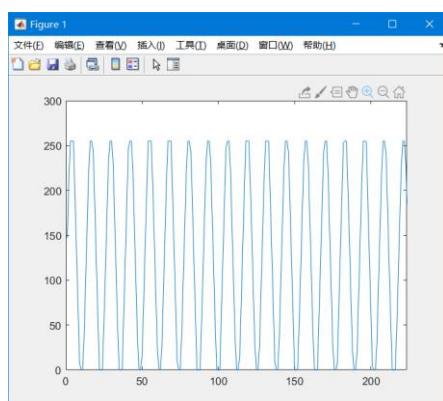


DDS: 三角波 频率 10KHz 幅度 50 正弦波 频占比 50% 频率 10KHz 幅度



50

DDS: 三角波 频率 10KHz 幅度 99 正弦波 频占比 50% 频率 10KHz 幅度



99

通过测试中的时域图中一个周期内采样点数可以验证 AD 采样频率为 128K, 改变信号幅度, 在 matlab 中可知, 传输数据为 8 位量化 (0-255 代表了幅值大小), 当幅值过小时, 信噪比大, 可能影响接收效果, 所以后续验证中幅值都为 99。

1.3 接收音频数据测试

DDS: 分别测试 500Hz、1KHz、2KHz、4KHz、8KHz 正弦信号

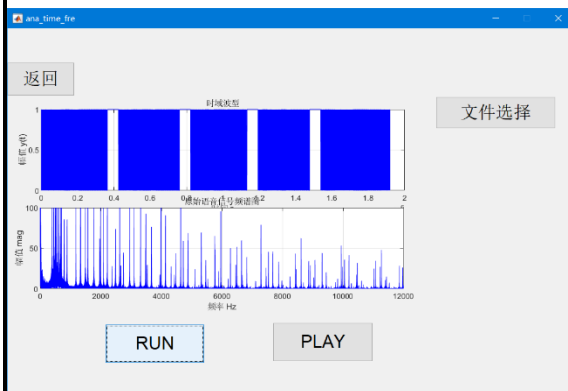
低频信号播放有问题, 其他频率播放均可以分辨出差别, 改变 sound 函数 FS 后可以正常播放

DDS 产生音频信号, 使用 matlab 中 sound 函数播放, FS=128K, 可以回放出

正确的音乐（音质清晰），大概可以听出是由多个单频信号组成的，是音乐《十年》的旋律。

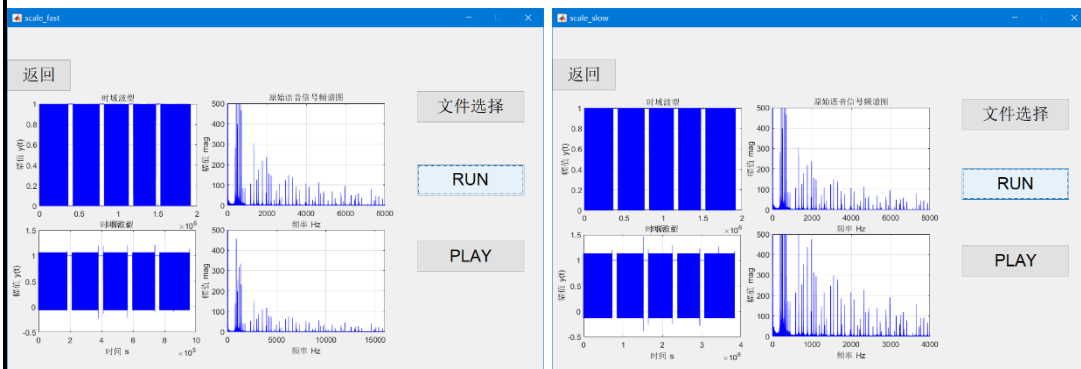
存储音频信号用于 matlab 验证，采样率为 128K，要采集时间足够长的音频需要设置串口缓冲区域、读取时间足够大。这里存储了一段 15s 的音频用于 matlab 功能验证。

信号时域、频域分析：



将时域信号放大来看，接收的信号类似方波，只不过频率在在变，频域上来看，集中在低频范围内，有很多很高的冲激。

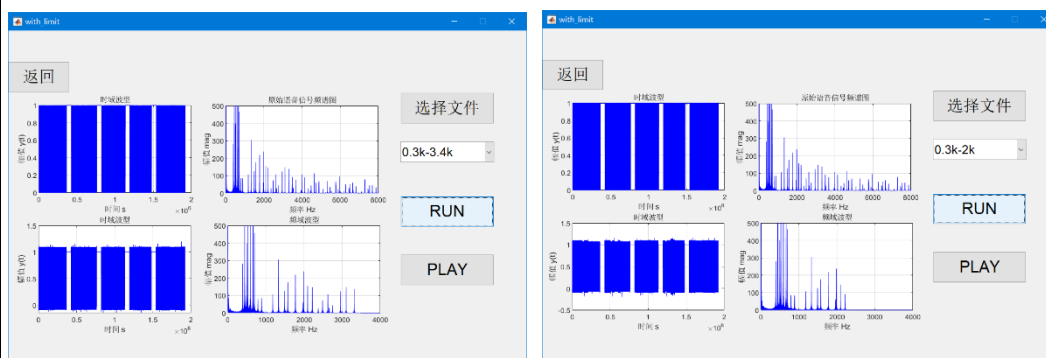
尺度变换：



左图为 $f(t)$ 与 $f(2t)$ ，右图为 $f(t)$ 与 $f(1/2 t)$

由图中可以看出， $f(2t)$ 频域信号展宽一倍，频域的大小变为原来二分之一， $f(1/2 t)$ 信号频谱缩短了一倍，大小变为原来两倍

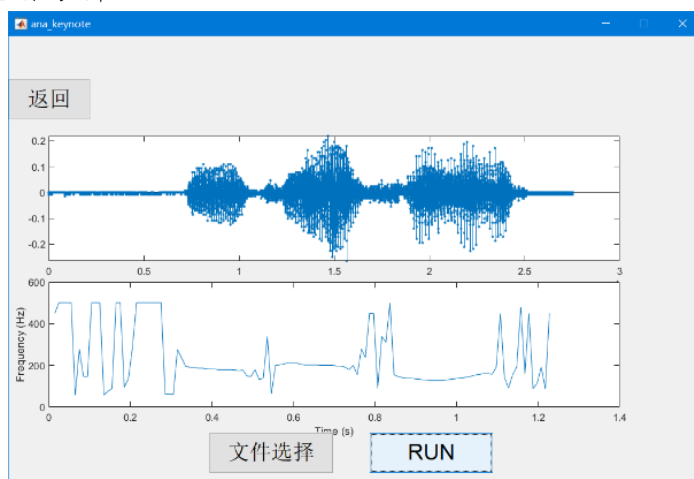
带限滤波：



左图为带限 0.3~3.4k, 右图为带限 0.3~2k

带限滤波后再次播放音乐，与原始音乐区别不大，原因是原始音频就集中于低频附近，而现实传输中，语音信号在 500Hz 左右平均功率最大，700Hz 以上频率增倍，功率下降十分之一，限制语音信号在 300~3400Hz 时通话音质是最满意的，而且使用 8kHz 采样率就满足采样定理。

基音分析：



通过自相关函数法可以看出音频中基音频率在 200Hz 左右。

5. 结论

RZ9665 实验箱与 PC 端采用串口通信，传输 AD 采样量化后的 8 位二进制数据，数值大小对应着信号的强弱，当实验箱输出信号幅度太小的时候，信噪比太小，PC 端接收到的信号存在较大失真。试验箱 AD 默认采样率 128K，根据采样定理，可以对音频信号进行无失真采集，实验结果也如此，采集的音频信号回放出来音质清晰，效果很好。进行尺度变换后，音频分别快放和慢放了，频域上也对应着展开和收缩并且大小也改变了，符合傅里叶变换的性质。基音分析部分，测试结果显示音频中声音在 200Hz 左右，结果正确。

导师

审查

意见

签名：

日期： 年 月 日

注意事项：

- 1、请不要出现单张表格只有导师签名，而无文字的情况。可将表格缩到上页。
- 2、正文总体字数限制为 3000-5000 字。
- 3、正文里的图片应清晰，最好是矢量图。
- 4、正文里的所有标题和内容均为楷体小四，英文为 Times New Rome。标题不用加粗标黑。
正文行间距设为固定值 20 磅。