

实验八 Wav 信号的波形分析与合成实验报告

1 实验目的

- ①巩固傅里叶变换及其反变换的知识，学习从时域和频域两个角度来观察信号。
- ②尝试利用短时傅里叶变换分析非平稳信号的频谱变化。
- ③熟悉 MATLAB 环境中 wavread、wavrecord、wavplay、fft 和 ifft 等函数的应用。

2 实验原理

借助傅里叶变换，信号可以时间函数或频率函数两种形式描述，特别是周期信号和准周期信号（前者由一个基频成分和若干谐波成分，后者虽可分解为几个正弦分量，但它们的周期没有公倍数），从频率域可以很清楚地了解它们由哪些正弦分量组成。

而对于非平稳信号，最典型的例子就是语音信号，它是非周期的，频谱随时间连续变化，因此由傅里叶变换得到的频谱无法获知其在各个时刻的频谱特性。最直观的想法就是用中心在某一时刻的时间窗截取一段信号，对其做傅里叶变换，得到这一时刻的频谱；然后将窗在时间轴上移动，从而得到不同时刻的频谱，这就是短时频谱的原理。最简单的窗就是矩形窗，即直接从原信号中截取一段。

3 实验过程与实验结果

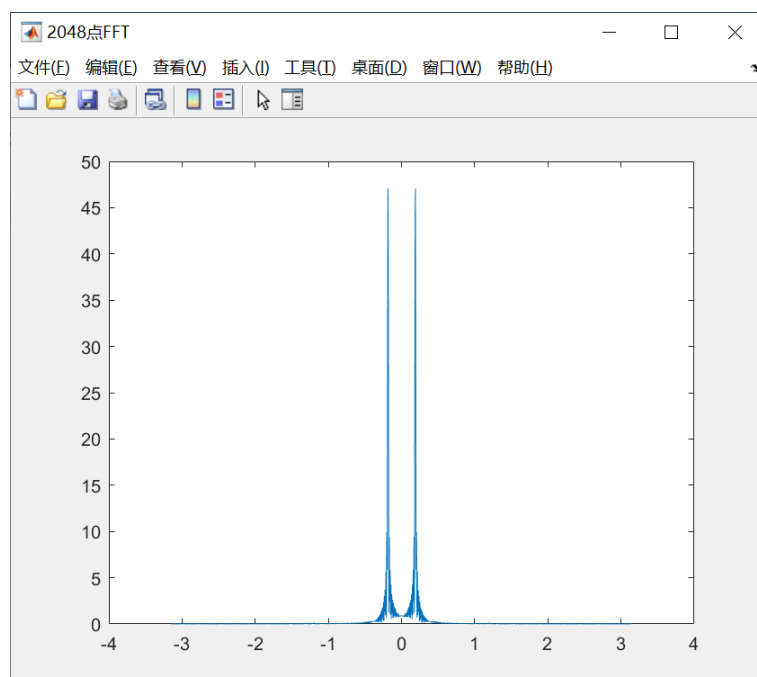
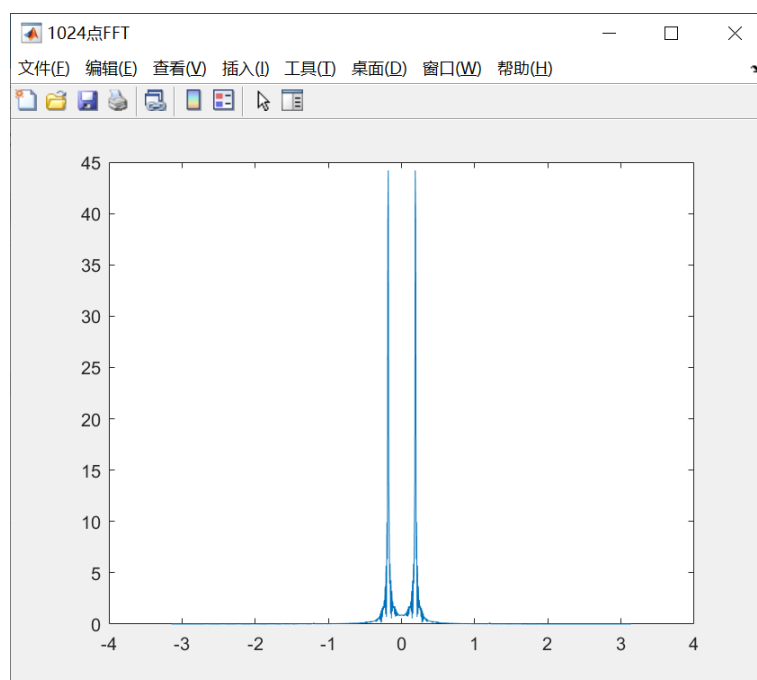
3.1 持续音的频谱分析

将 Windows 的系统目录下的 Ring01.wav 文件读入，这是一个双声道的声音，选择任一声道的信号，使用 fft 求取其频谱，并用 plot 显示它的幅度谱，观察主要的正弦分量；

代码如下：

```
1 - [y,fs]=audioread('C:\Windows\Media\Ring01.wav');
2 - %取其中的一个声道,比如说,右声道
3 - yr=y(:,2);
4 - %截取前1024个点
5 - yr=yr(1:1024);
6 - %求取幅度谱并显示,首先是2048点的
7 - YR2048=fft(yr,2048);
8 - figure('numbertitle','off','name','2048点FFT');
9 - plot(linspace(-pi,pi,2048),fftshift(abs(YR2048)));
10 - %求取1024点的
11 - YR1024=fft(yr,1024);
12 - figure('numbertitle','off','name','1024点FFT');
13 - plot(linspace(-pi,pi,1024),fftshift(abs(YR1024)));
```

运行结果如下：

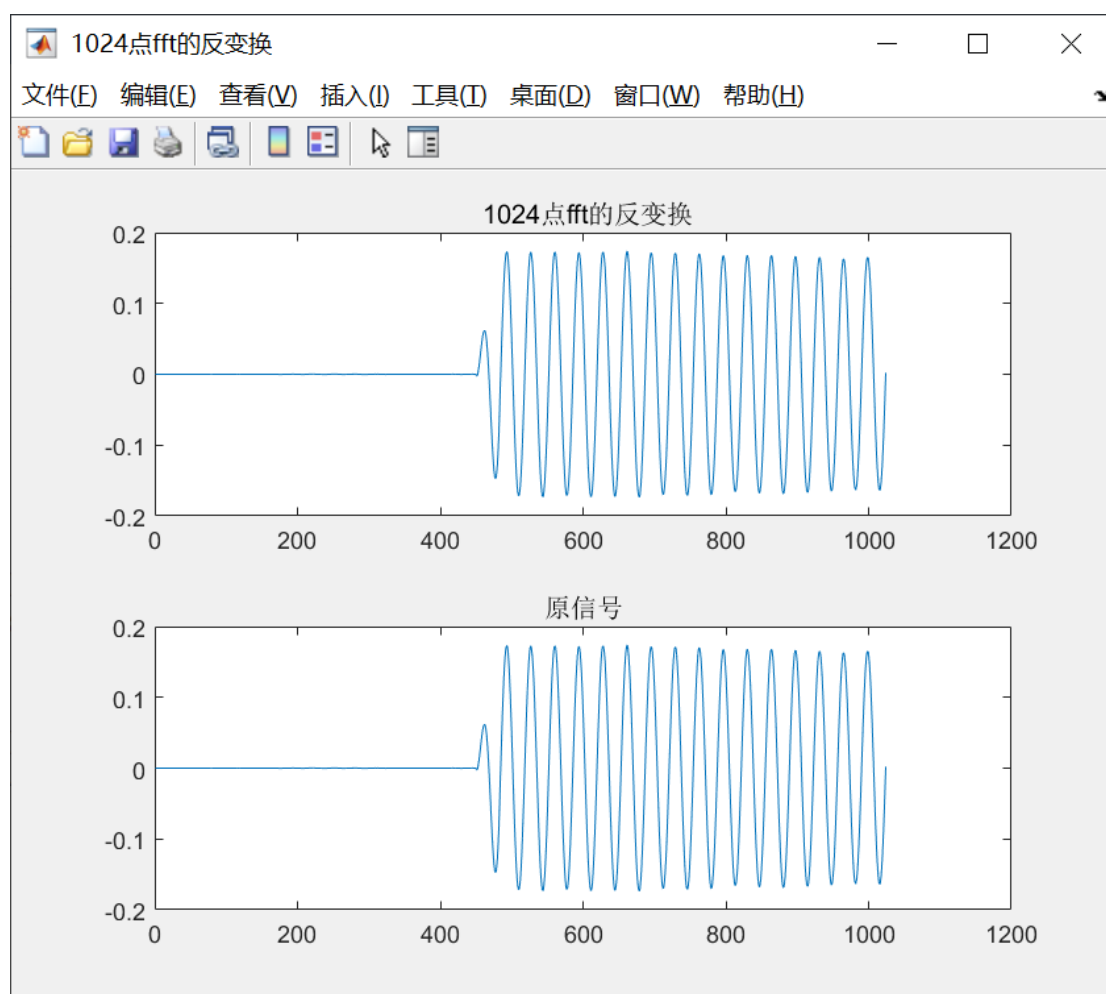


用 `ifft` 函数求取频谱的反傅里叶反变换，比较反变换后的信号波形与原始信号的波形：

代码如下：

```
15      %反变换，结果应与原始信号相同
16      yr1024=real(ifft(YR1024));
17      figure('numbertitle','off','name',' 1024点fft的反变换');
18      subplot(2,1,1);
19      plot(yr1024)
20      title(' 1024点fft的反变换')
21      subplot(2,1,2);
22      plot(yr);
23      title(' 原信号');
```

运行结果如下：

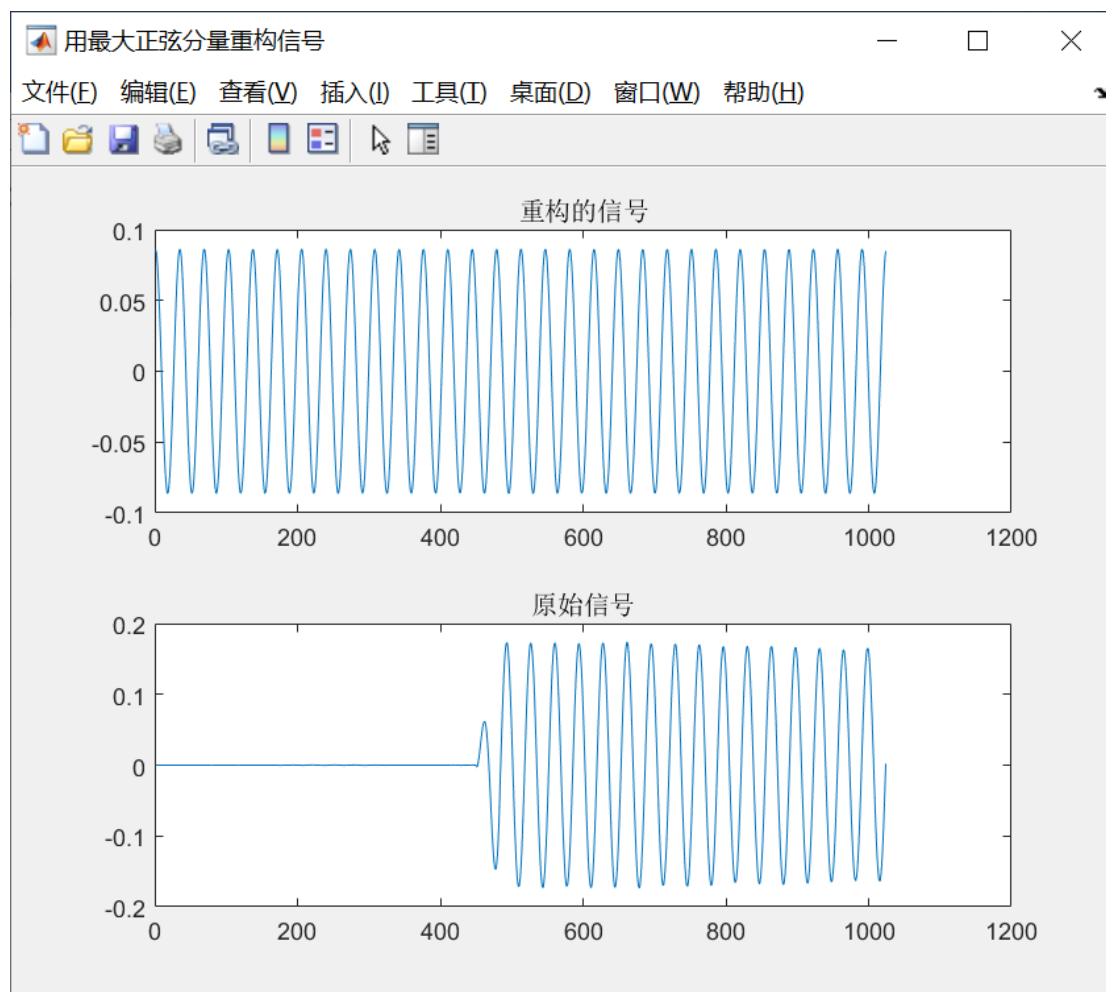


从频谱中找到幅度最大的正弦分量，构造一个同样幅度的正弦信号，将其波形与原始信号比较，并且试听一下。

代码如下：

```
25 %重构
26 %寻找幅度最大的正弦分量
27 [maxpeak, peaki]=max(abs(YR1024(1:512)));
28 MAXSIN=zeros(1, 1024);
29 MAXSIN(peaki)=maxpeak;
30 MAXSIN(1026-peaki)=maxpeak;
31 maxsin=ifft(MAXSIN);
32 figure('numbertitle','off','name','用最大正弦分量重构信号');
33 subplot(2,1,1)
34 plot(maxsin);
35 title('重构的信号');
36 subplot(2,1,2);
37 plot(yr1024);
38 title('原始信号');
39 %试听
40 sound(yr1024);
41 sound(maxsin);
```

运行结果如下：



3.2 时变音的短时频谱分析

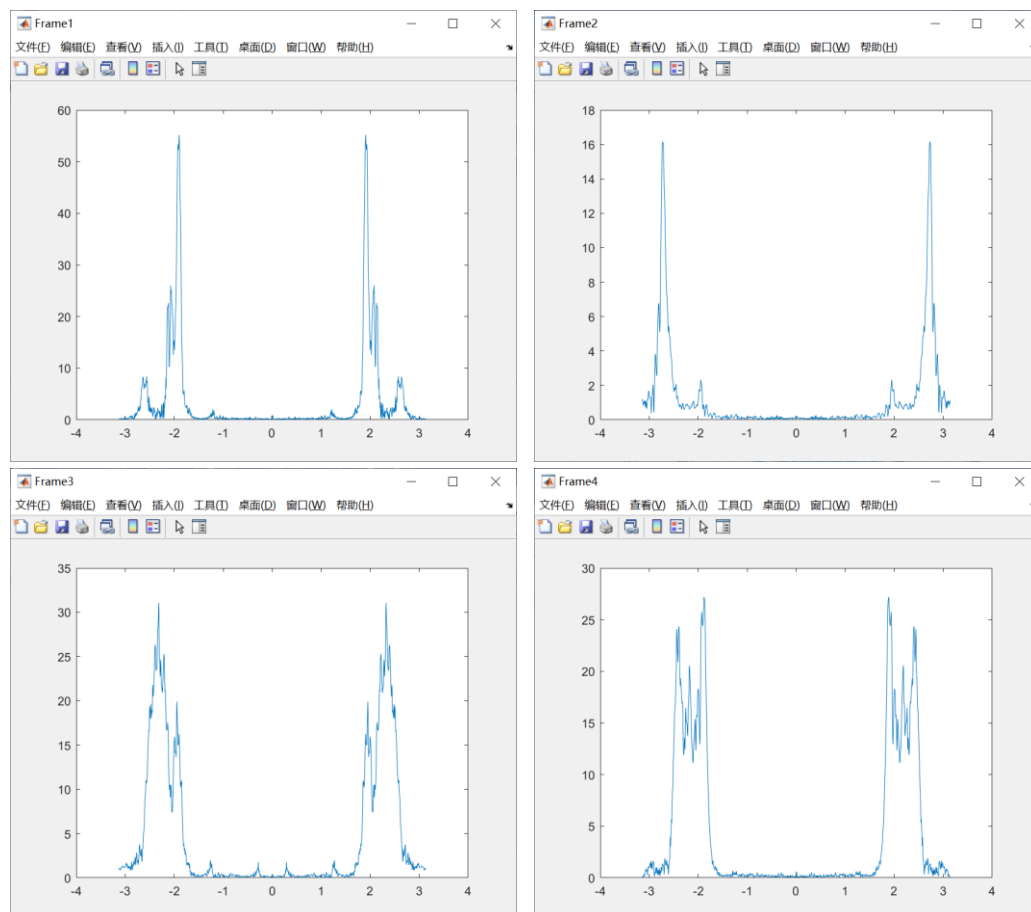
使用” load chirp” 载入 matlab 自带的一个时变音；

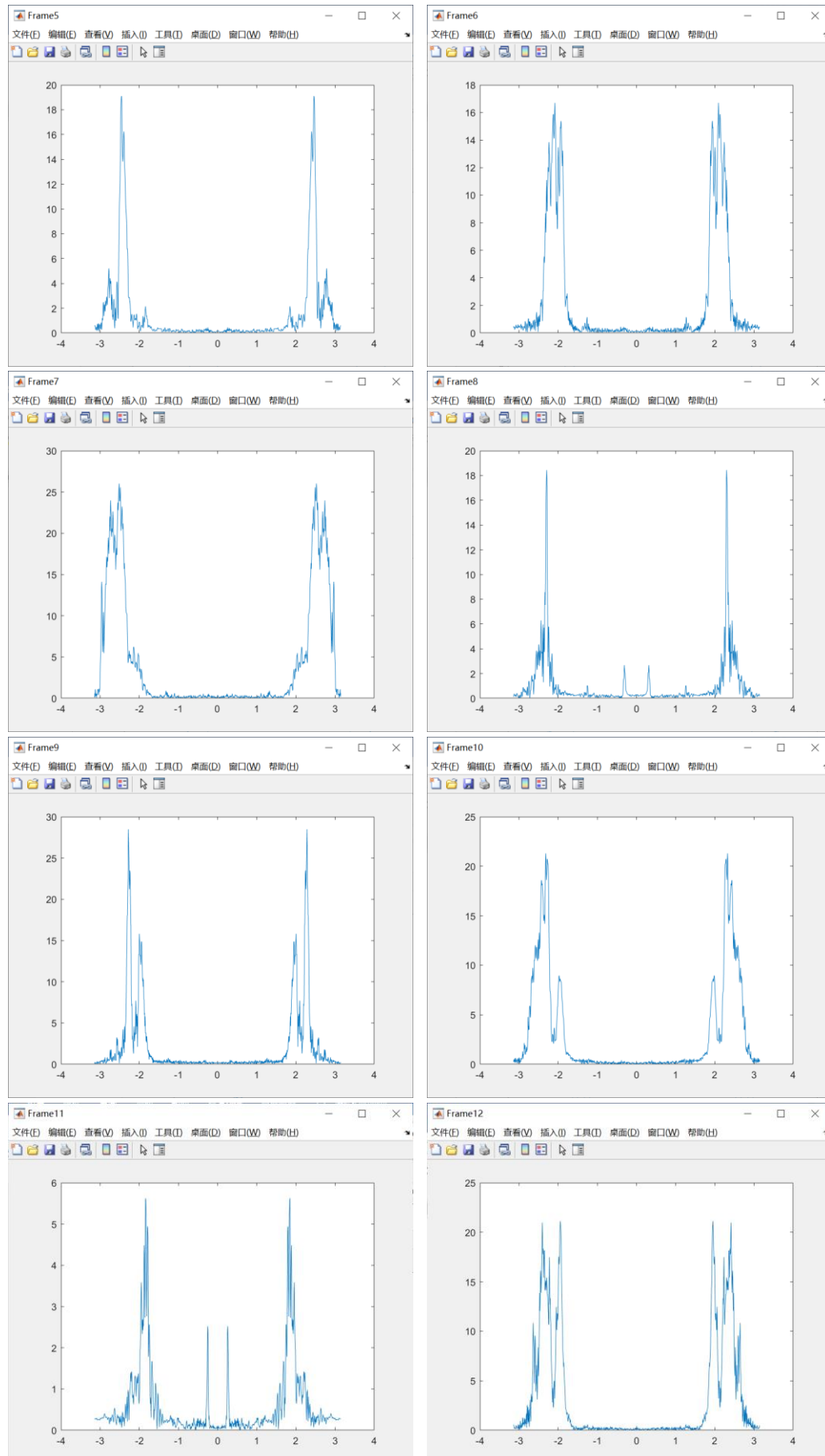
从信号中依次截取 1024 个点，利用上述方法求取其幅度谱，并显示出来，观察幅度谱随时间的变化情况。

代码如下：

```
1 — load chirp %y, Fs
2 — len=length(y);
3 — for i=1:floor(len/1024)
4 —     seg=y((i-1)*1024+1:i*1024);
5 —     figure(' numbertitle','off',' name', ['Frame', num2str(i)]);
6 —     plot(linspace(-pi,pi, 1024), fftshift(abs(fft(seg))));
7 — end
```

运行结果如下：





4 思考题

分别录制男生和女生发元音“a”的声音，通过对音频文件的频谱分析对比两者的差异，并进行合理的解释。

4.1 录制声音

代码如下：

```
1      %录制声音
2 —    Fs=8192;
3 —    nBits=16;
4 —    nChannels=2;
5 —    ID=-1;
6 —    waveFile='C:\Users\ASUS\Desktop\大三上\信号与系统\lab_hw8\boy.wav';
7 —    y=audiorecorder(Fs,nBits,nChannels,ID);
8 —    disp('Start speaking. ');
9 —    recordblocking(y,2);
10 —    disp('End of speaking');
11 —    int16Array = getaudiodata(y,'int16');
12 —    plot(int16Array);
13 —    title('Audio Signal (int16)');
14 —    audiowrite(waveFile,int16Array,Fs);
```

用 `audiorecorder` 函数进行声音的录制，当运行此程序时，命令行窗口会提示“Start Speaking”，开始持续 2 秒的声音录制，结束后提示“End of speaking”，然后用 `audiowrite` 函数将声音以 `int16` 的格式写入 `boy.wav` 文件中，并将 `wav` 文件与 `m` 文件保存在同一个文件夹中。

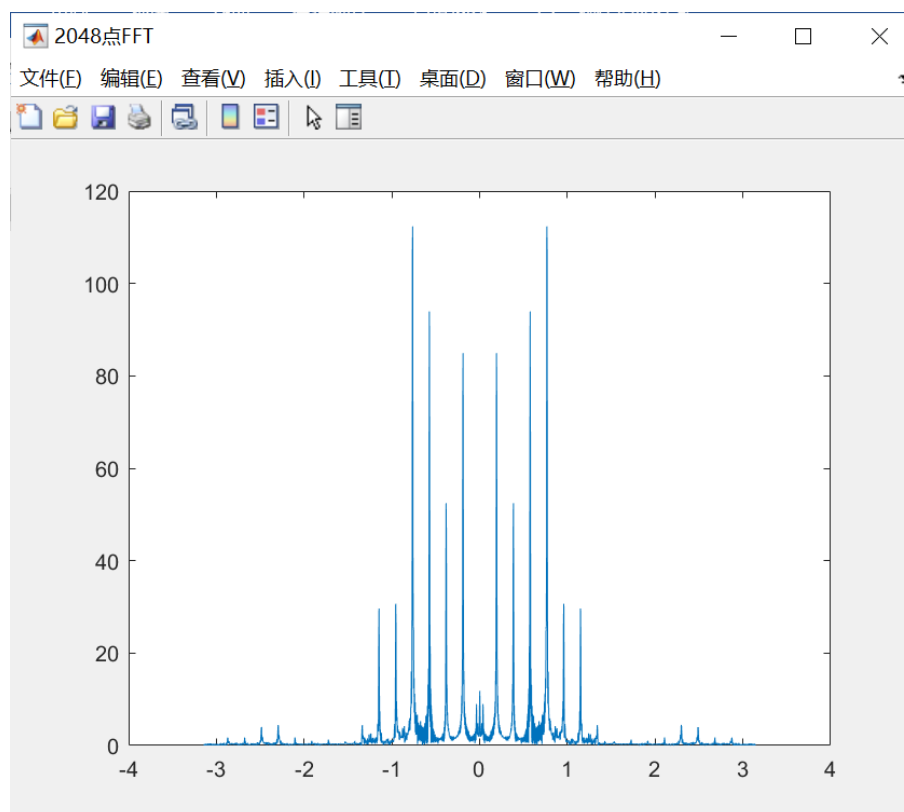
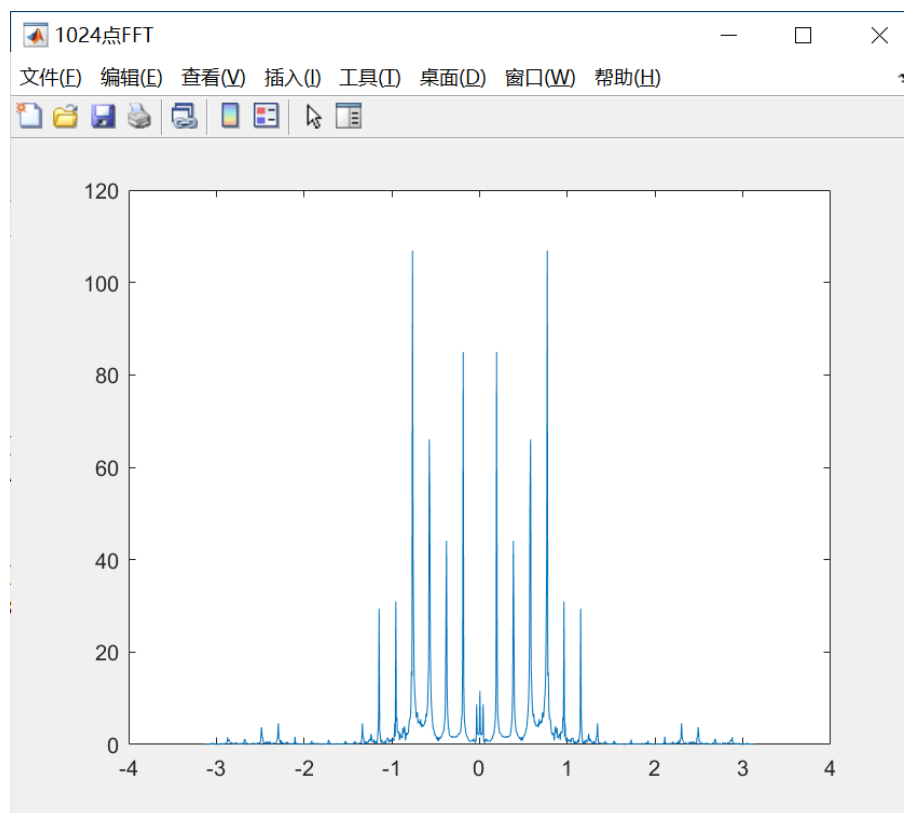
4.2 频谱分析代码

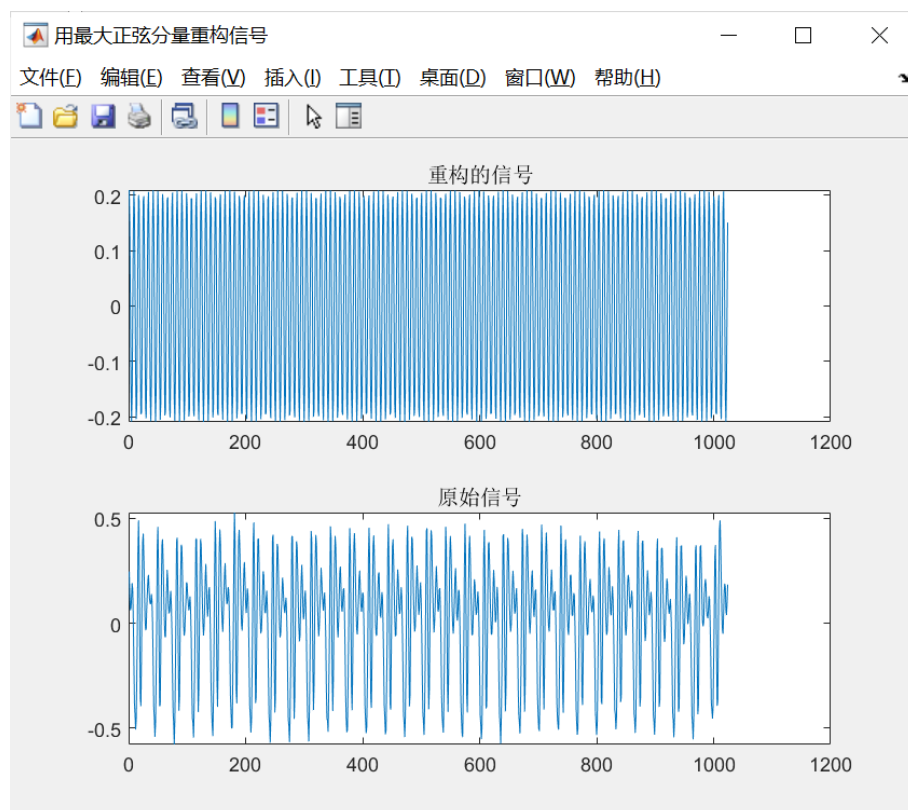
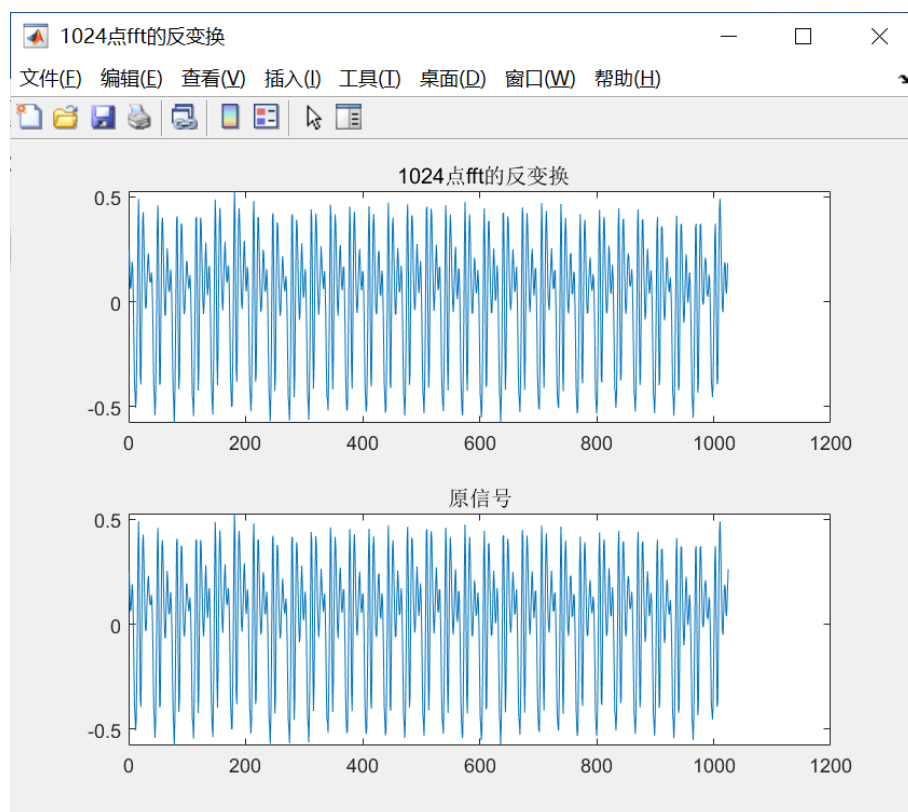
```
41      %%
42 —    [y,fs]=audioread('boyl.wav');
43 —    yr=y(:,2);
44 —    yr=yr(10000:11024);
45 —    %求取幅度谱并显示，首先是1024点的
46 —    YR1024=fft(yr,1024);
47 —    figure('numbertitle','off','name','1024点FFT');
48 —    plot(linspace(-pi,pi,1024),fftshift(abs(YR1024)));
49 —    %求取2048点的
50 —    YR2048=fft(yr,2048);
51 —    figure('numbertitle','off','name','2048点FFT');
52 —    plot(linspace(-pi,pi,2048),fftshift(abs(YR2048)));
53 —    %反变换，结果应与原始信号相同
54 —    yr1024=real(ifft(YR1024));
55 —    figure('numbertitle','off','name','1024点fft的反变换');
56 —    subplot(2,1,1);
57 —    plot(yr1024)
58 —    title('1024点fft的反变换')
59 —    subplot(2,1,2);
60 —    plot(yr);
61 —    title('原信号');
```

```
62 %重构
63 %寻找幅度最大的正弦分量
64 [maxpeak, peaki]=max(abs(YR1024(1:512)));
65 MAXSIN=zeros(1,1024);
66 MAXSIN(peaki)=maxpeak;
67 MAXSIN(1026-peaki)=maxpeak;
68 maxsin=ifft(MAXSIN);
69 figure('numbertitle','off','name','用最大正弦分量重构信号');
70 subplot(2,1,1)
71 plot(maxsin);
72 title('重构的信号');
73 subplot(2,1,2);
74 plot(yr1024);
75 title('原始信号');
76 %试听
77 sound(yr1024);
78 sound(maxsin);
```

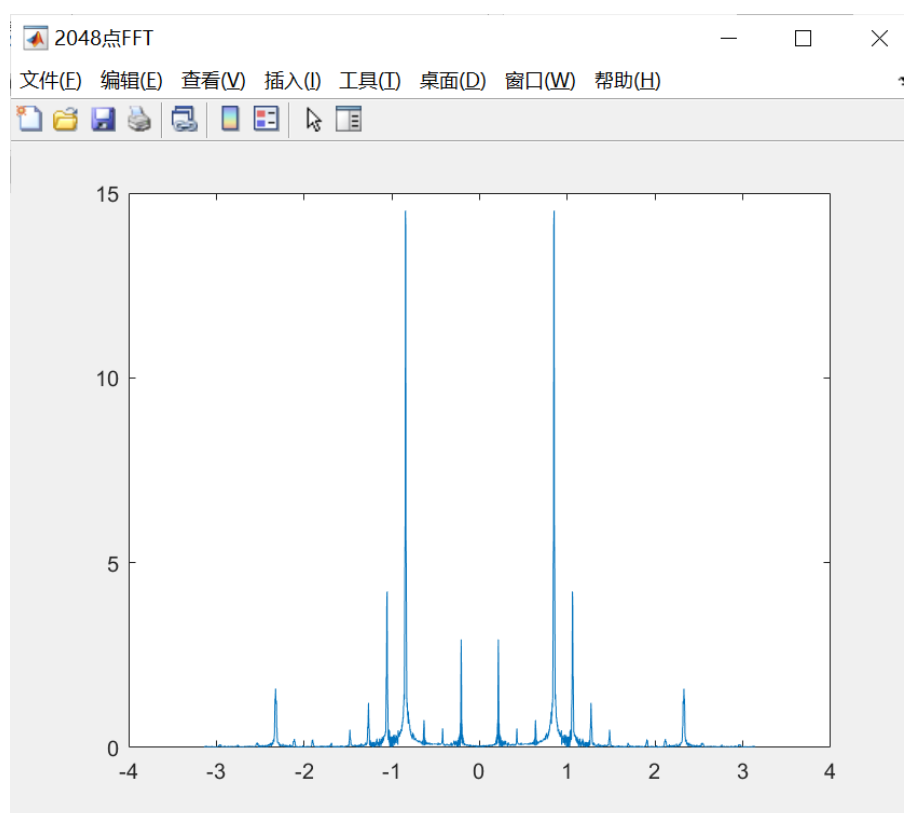
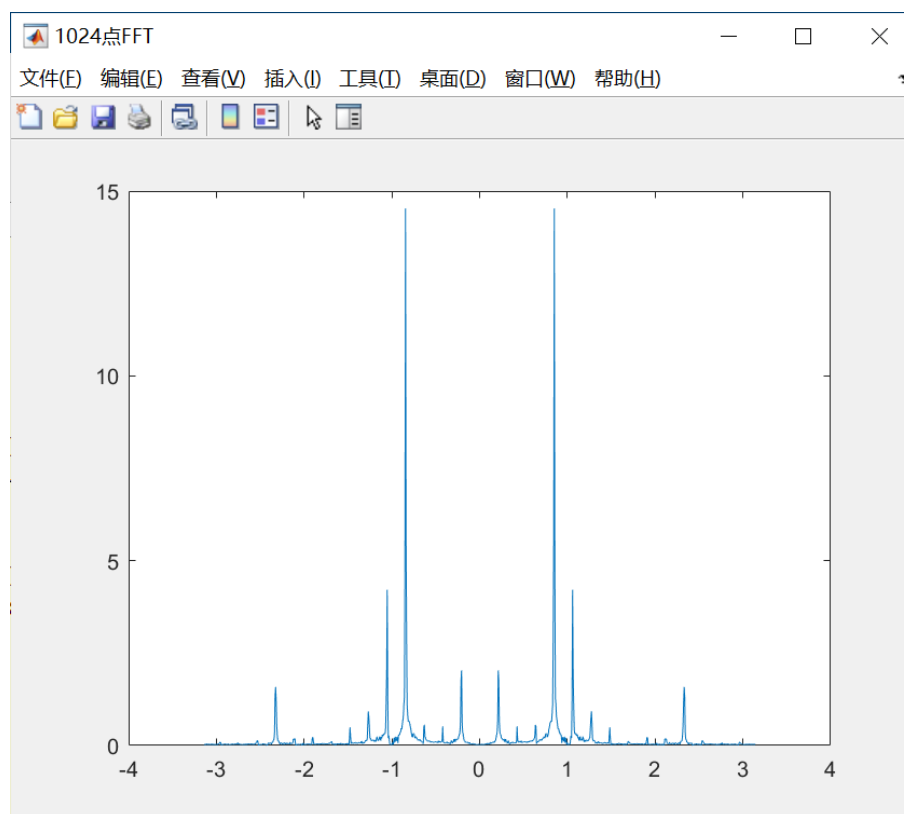

4.3 女生声音频谱分析结果

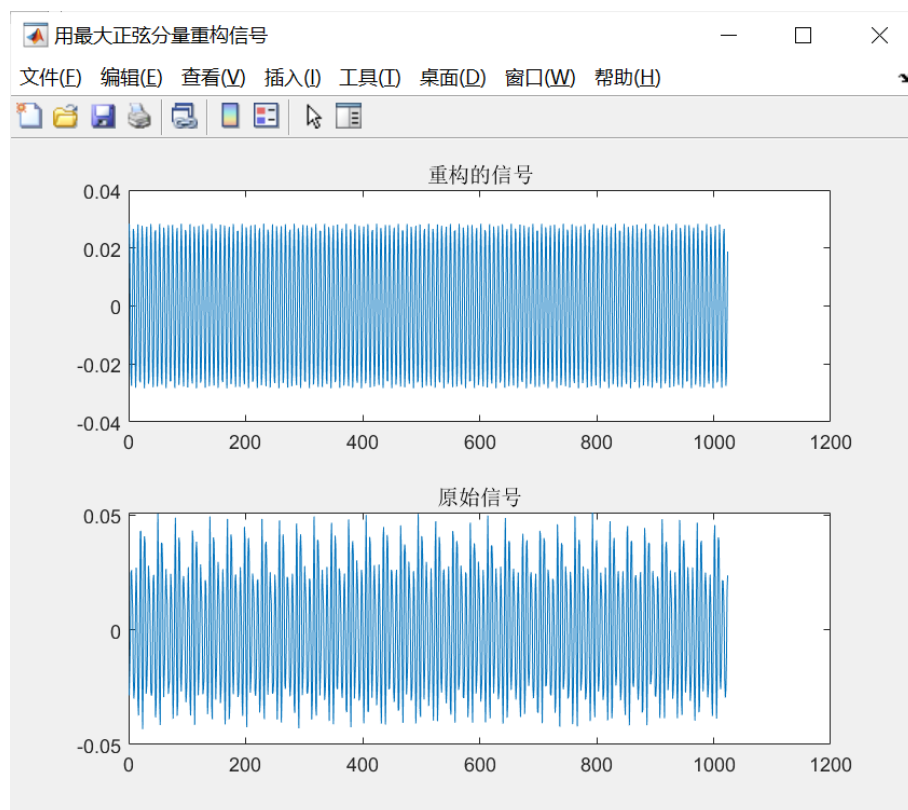
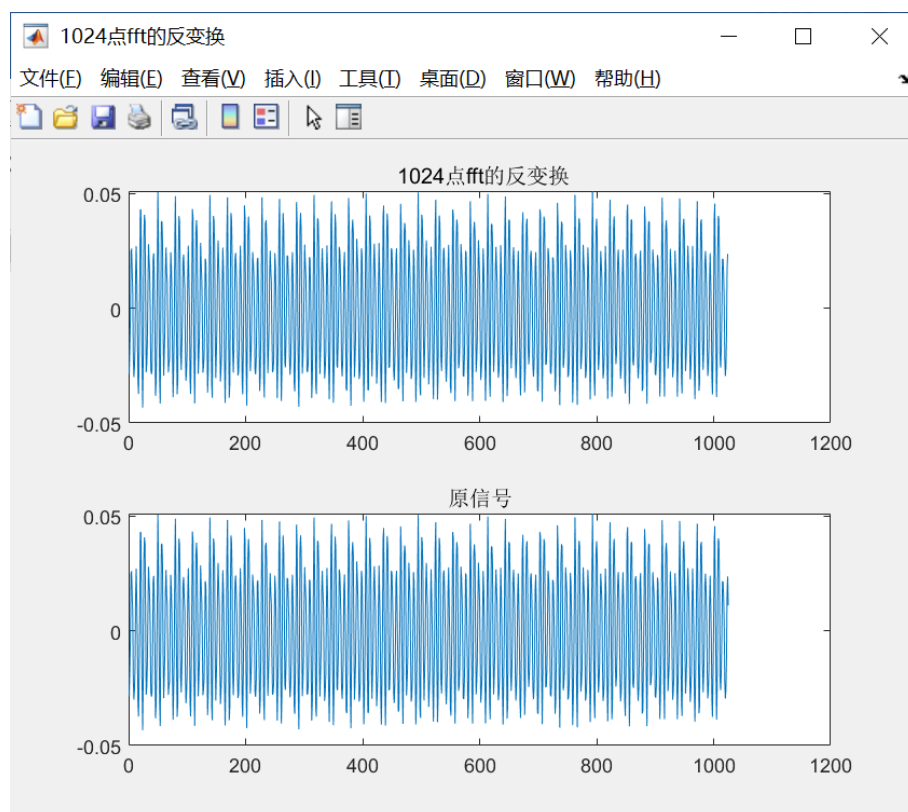
(1)女生 1





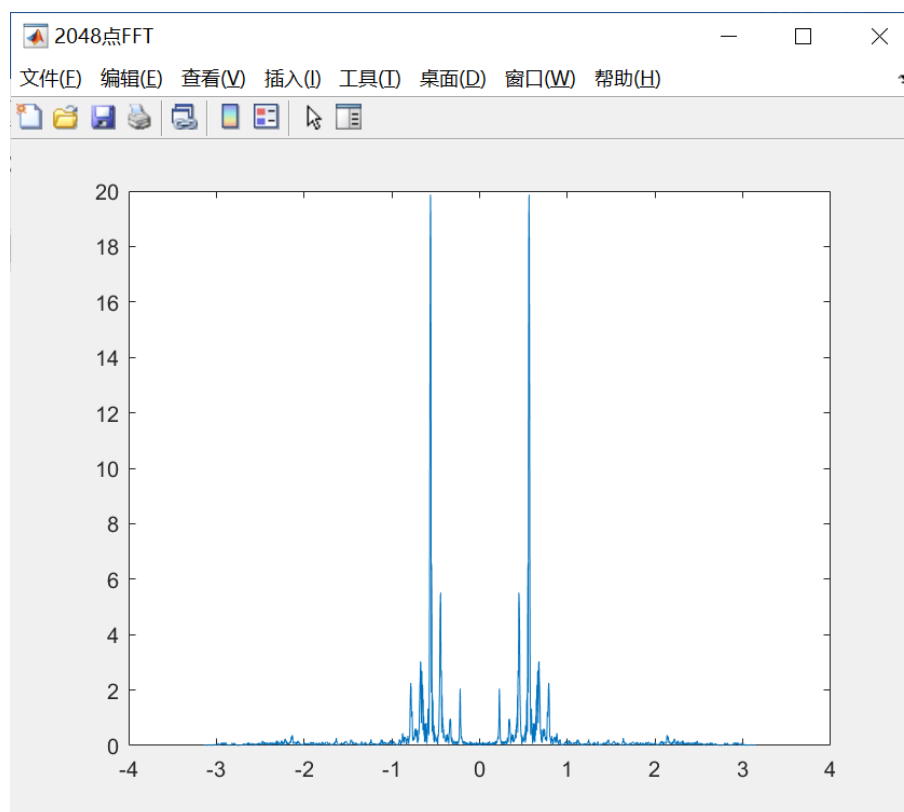
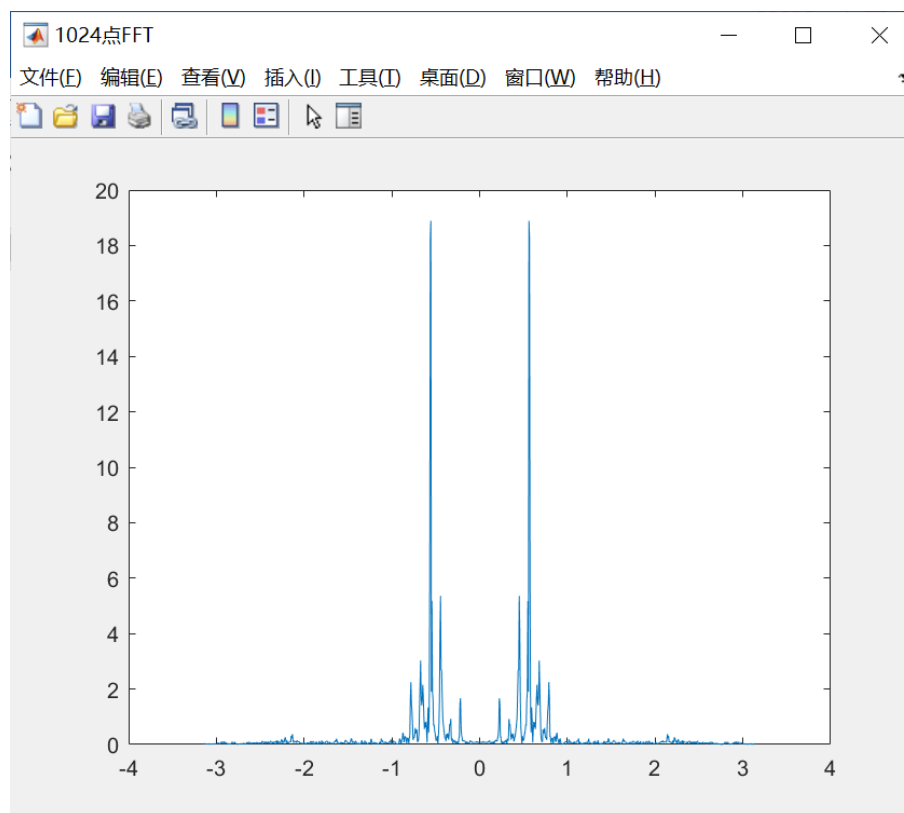
(2)女生 2

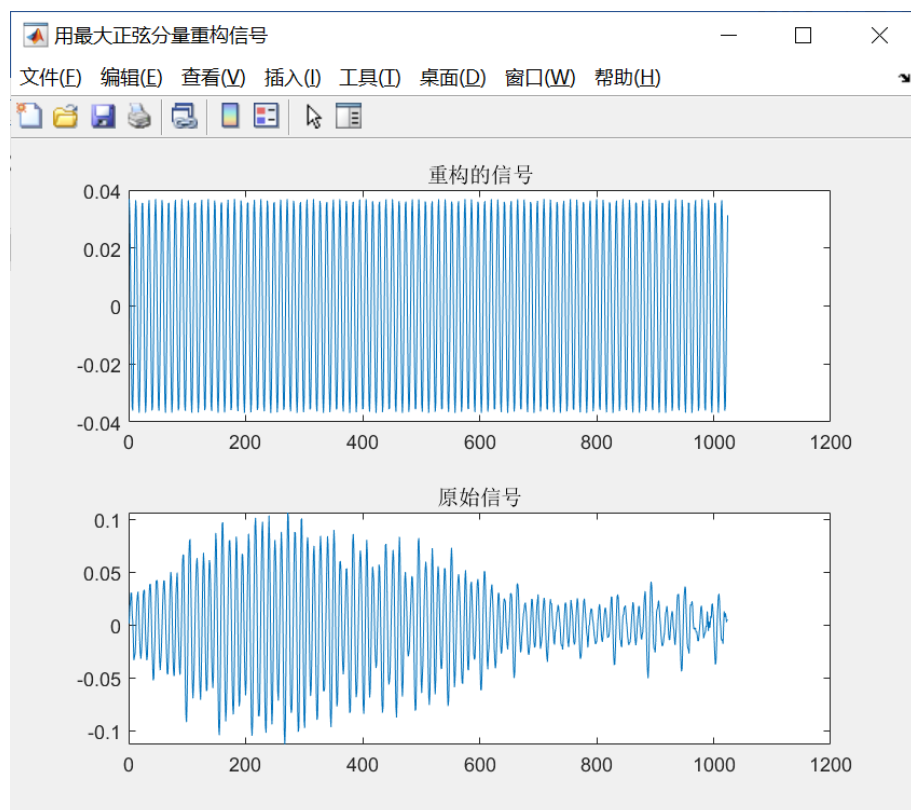
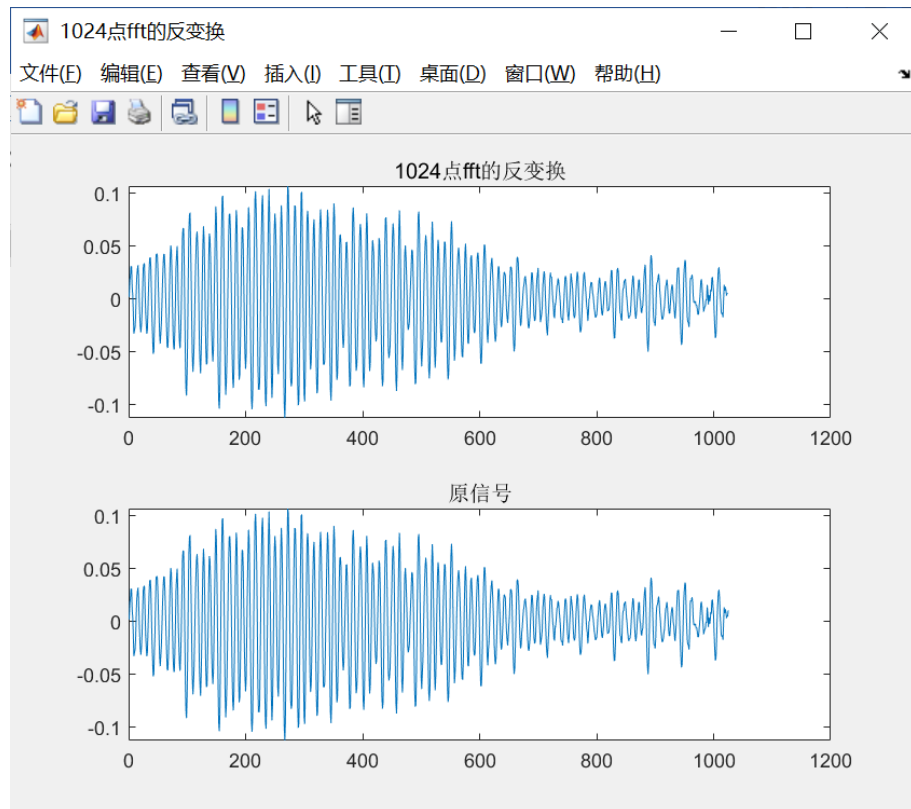




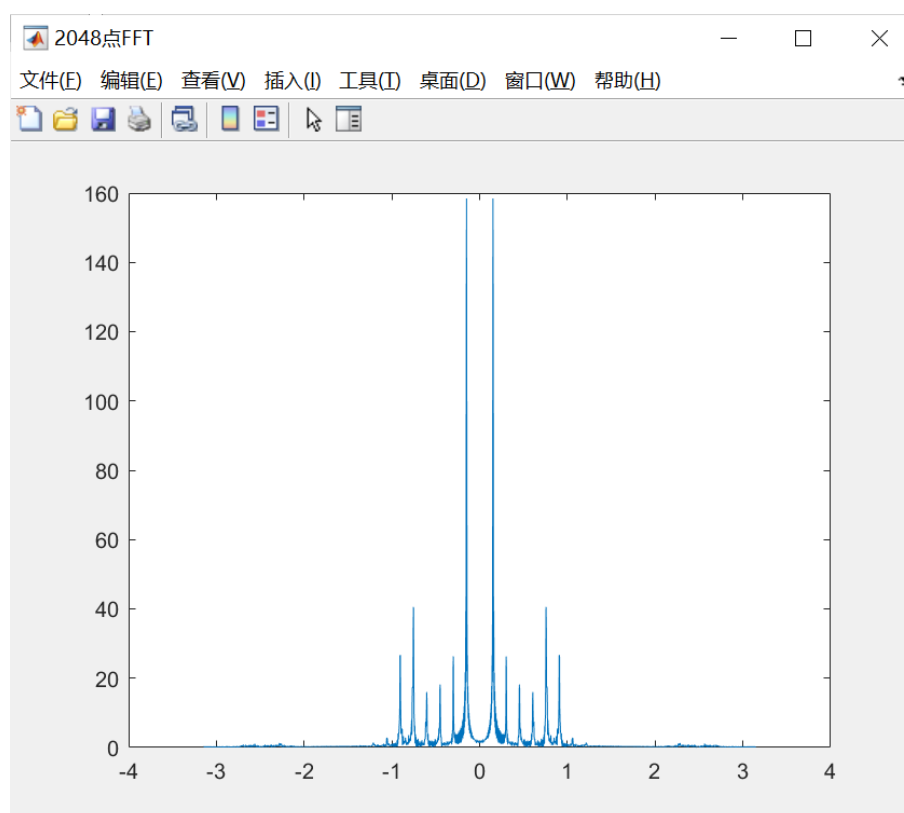
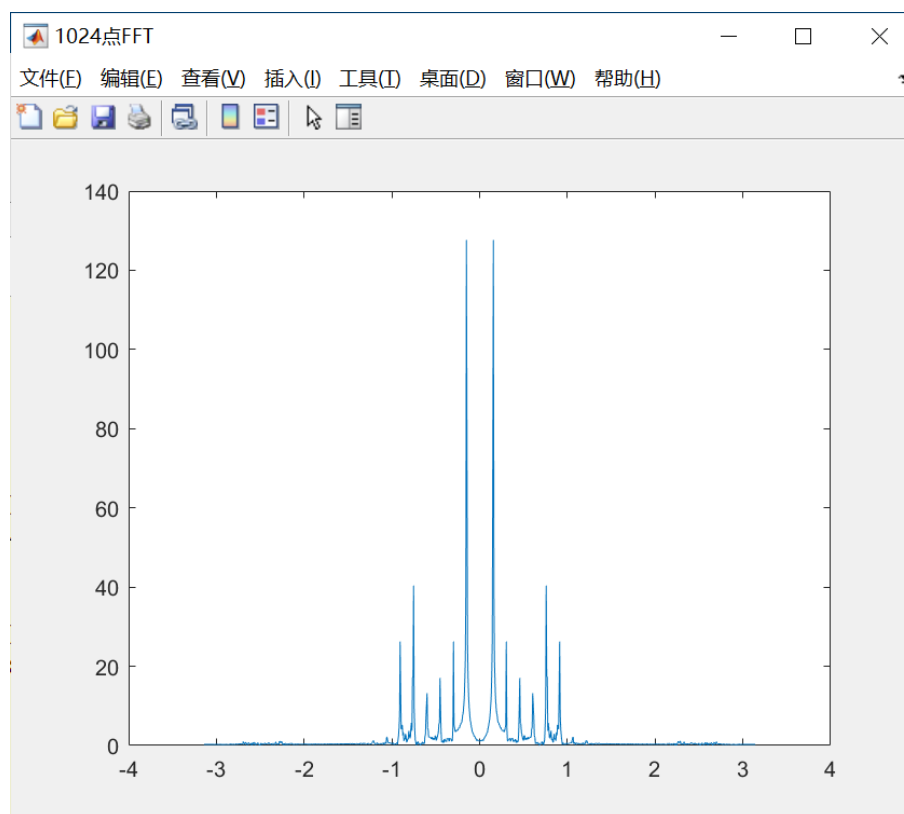
4.4 男生声音频谱分析结果

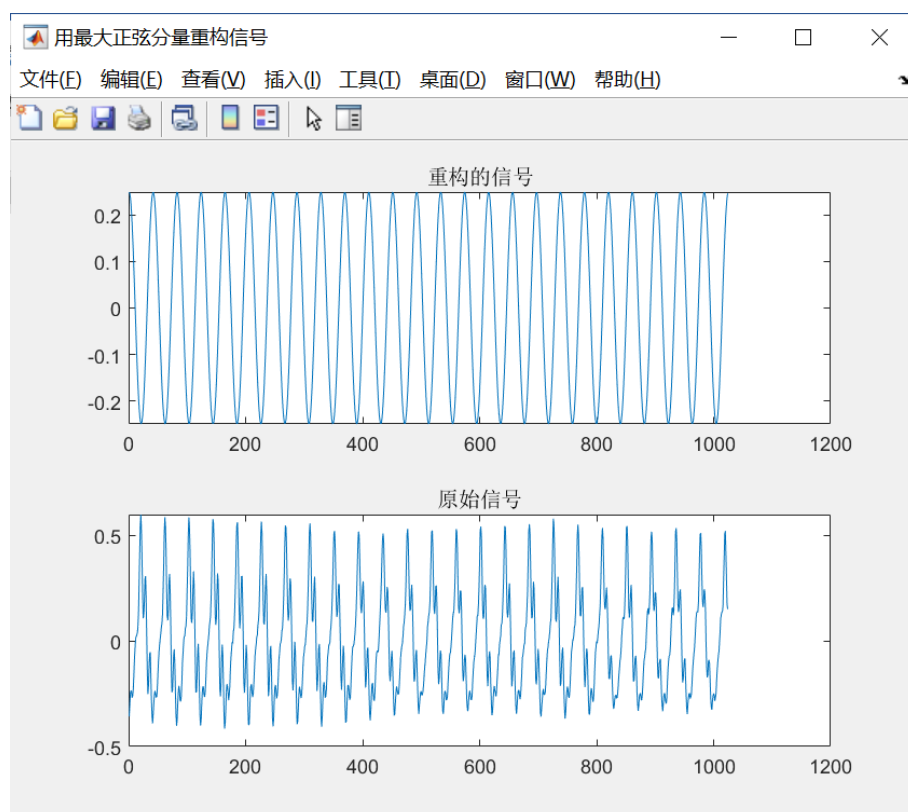
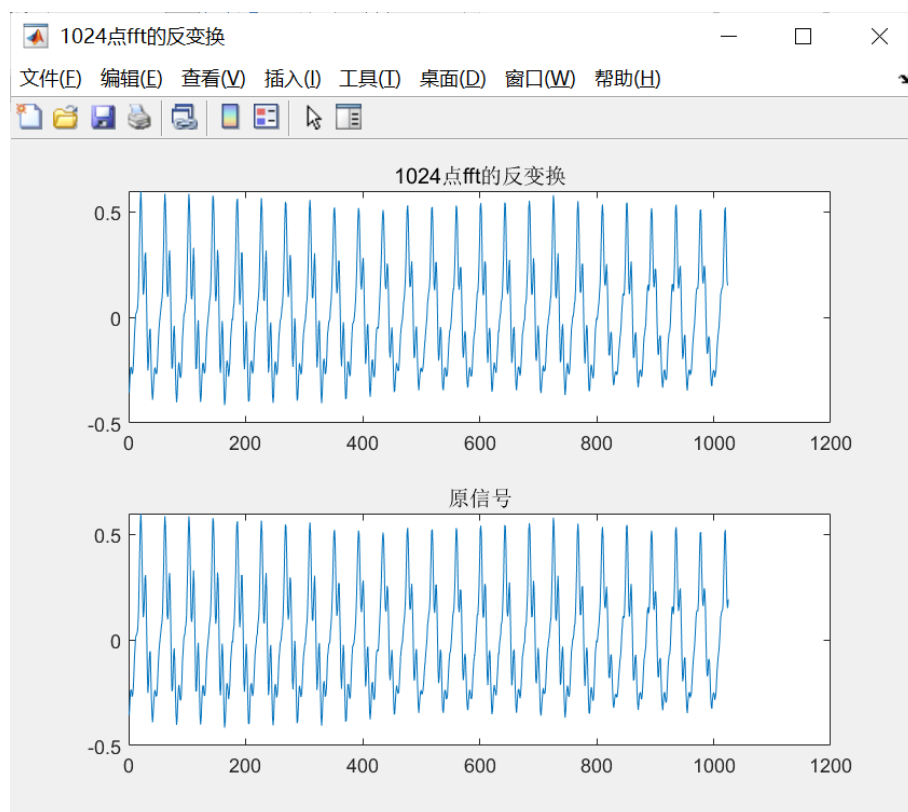
(1)男生 1





(2)男生 2





4.5 男女声频谱差异分析

①一般情况下，女声比男声听上去高，原因是女性的声带更细，女声比男声的基频高，基频决定了人听到声音的高低。通常男声基频在 50Hz~180Hz 之间，女声基频在 160Hz~380Hz 之间。人耳对声音最敏感的频率范围是 2000Hz~5000Hz。

②由男女声频谱图可见：女声最大幅值的频率比男声要高一些，因而女声听起来尖一些，男声听起来低沉一些，二者的频带宽度差别不是很大，幅值大小的差异主要由录制时的音量大小引起。

5 实验心得体会

①在 MATLAB 2020b 中，wavread、wavrecord、wavplay 这几个函数被 audioread、audiorecorder、audioplayer 所代替。

②在实验过程中，需要考虑到声音的采样点是否有声音信号，因为有时候录制的 wav 文件并不是一开始就有声音信号的。因而，在频域分析时，尽量把所选的采样区域控制在整个 wav 文件的中间位置，以保证有稳定正常的声音信号。

③用 audiorecorder 录制声音时要取好 Fs，使其在人耳可听见的范围内，从理论上说，Fs 越大声音效果越好，越接近原始声音。

④如果在最后想要听到持续时间比较长的原始声音，可以在开始时从离散的声音信号中多选一些点（在实验过程中选取的是 1024 个点，也可以选择更多的点，譬如 20480 个），就能在恢复时听到更长的“a”。

⑤在编写录制声音的程序时，因为使用的是 MATLAB 最新版，实验指导书上的相关函数都已经被替代，因而总是出现一些函数无法识别、数据类型和格式上的错误，拖慢了实验进度。这些问题最终通过查阅 MATLAB 的帮助文档得到了解决。

⑥通过这次实验，掌握了在 MATLAB 中编写程序录制声音、将声音写入 wav 文件，读取 wav 文件，对声音信号进行离散傅里叶变换和反变换、以及用最大正弦分量重构声音的方法，对理论知识有了更深刻的理解，同时锻炼了自己处理和分析声音信号的能力，受益匪浅。

附件

对系统自带的 Ring01.wav 文件的频谱分析: Ring01.m

对时变音 chirp 的频谱分析: chirp.m

声音录制程序: record.m

声音分析程序: analysis.m

系统自带音频: Ring01.wav

录制好的男女声: girl1.wav、girl2.wav、boy1.wav、boy2.wav