MATLAB 综合实验之音乐合成

聂浩 无 31 2013011280 2015 年 8 月 12 日

1

1 简单的合成音乐

2

1. 请根据《东方红》片断的简谱和"十二平均律"计算出该片断中各个 乐音的频率,在 MATLAB 中生成幅度为 1、抽样频率为 8kHz 的正 弦信号表示这些乐音。请用 sound 函数播放每个乐音,听一听音调是 否正确。最后用这一系列乐音信号拼出《东方红》片断,注意控制每 个乐音持续的时间要符合节拍,用 sound 播放你合成的音乐,听起来 感觉如何?

思路: 利用 12 平均律的定义,并假设每拍为构造 m_n note 函数,将 音调和持续时间传过去³,调用一次函数发一次音,这样只需要按照 次序产生各个音即可。⁴

听起来调子是对的,但是各个音之间有爆破音。

代码如下 (dfh_1.m 和 m_note_1.,m):

```
clear; clc;

m_note_1(12,0.5,196,8000);

m_note_1(12,0.25,196,8000);
```

¹所有的.m 文件均采用 utf8 编码,在 matlab 中打开可能会出现中文乱码的情况,请用其它编辑器打

 $^{^2}$ 本部分在目录 dfh 中执行

 $^{^3}$ 与输入的 base 相差的音阶,从 -5 到 19 共 25 个音,传 -10 表示这是空节拍

⁴这里参考了 matlab help kron 中的内容

```
m_note_1(14,0.25,196,8000);
m_note_1(7,1,196,8000);
m_note_1(5,0.5,196,8000);
m_note_1(5,0.25,196,8000);
m_note_1(2,0.25,196,8000);
m_note_1(7,1,196,8000);
```

```
function m note 1 (note, time, base, f)
       %输入参数
2
       %音符note,
3
       %between -5\sim25,
       \%-10 means an empty beat
5
       %持续时间time
6
       %基调base
       %采样频率f
       n = [-5:19];
       freq = base *2.^kron(1/12,n);
10
       t = [0: time * f] / f;
11
        if note==10
12
            s=0*t;
13
        else
14
            s=cos(2*pi*freq(note+6)*t);
15
            sound(s, f);
            pause(time+0.01);
^{17}
       end
18
       return
19
```

2. 你一定注意到 (1) 的乐曲中相邻乐音之间有"啪"的杂声,这是由于相位不连续产生了高频分量。这种噪声严重影响合成音乐的质量,丧失真实感。为了消除它,我们可以用图 1.5 所示包络修正每个乐音,以保证在乐音的邻接处信号幅度为零。此外建议用指数衰减的包络来表示。

思路:直接利用.* 给生成的 s 信号乘以一个指数变换的序列来改变包

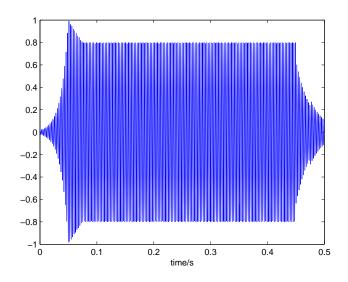


图 1: 增加了包络的信号

络,使得每一个音看起来像图 1,虽然开始结束的时间点不严格为 0,但是通过修改参数使其很小。

同时为了之后方便处理,将每个音的产生和播放分开,将每次产生的音乐序列连在数组 s 后面,最后统一播放。这里消除了爆音,但是听起来音色很奇怪。

代码如下 (dfh_2.m 和 m_note_2.,m):

```
clear; clc; format long;
base=196; f=8000; s=zeros (f*0.05,1);
s=[s;m_note(12,0.5,196,8000)];
s=[s;m_note(12,0.25,base,f)];
s=[s;m_note(14,0.25,base,f)];
s=[s;m_note(7,1,base,f)];
s=[s;m_note(5,0.5,base,f)];
s=[s;m_note(5,0.25,base,f)];
s=[s;m_note(2,0.25,base,f)];
s=[s;m_note(7,1,base,f)];
s=[s;m_note(7,1,base,f)];
s=[s;m_note(5,0.25,base,f)];
s=[s;m_note(7,1,base,f)];
```

```
function [s]=m_note_2(note, time, base, f)
       %输入参数
2
       %音符note,
3
       %between -5\sim25,
       \%-10 means an empty beat
       %持续时间time
       %基调base
       %采样频率f
       %声音信号s
9
       n = -5:19;
10
       freq=base*2.^kron(1/12,n);
11
       t = ((1:(time)*f)/f);
12
       if note == -10
13
            s=0*t;
14
       else
15
            e = (t < 0.1 * time) .* (t - 0.1 * time) *80 + (t
16
               >=0.1*time\&t<0.15*time).*(0.1*
               time-t)*4.46/time-(t>=0.15*time&
               t < 0.95 * time) * 0.223 + (t > = 0.9 * time)
                .*((0.9*time-t)*40-0.223);
           %exp(e)为指数序?
17
            s=exp(e).*(cos(2*pi*freq(6+note)*t)
18
               );
       end
19
       return
20
```

3. 请用最简单的方法将 (2) 中的音乐分别升高和降低一个八度。(提示:音乐播放的时间可以变化)再难一些,请用 resample 函数(也可以用 interp 和 decimate 函数)将上述音乐升高半个音阶。(提示:视计算 复杂度,不必特别精确)

答:最简单的方法是改变播放时 sound 函数的采样率来进行播放,本质上是改变播放的速率。利用十二品平均律的定义,利用上一问中得到的 s,可以有:

二倍速播放, 高了一个八度

```
sound(s,16000)
```

即 0.5 倍速播放,低了一个八度。

```
sound(s,4000)
```

resample 函数为修改函数的采样率,然后以原来的采样率播放,就会改变音调。提高半个音阶使 s 的采样率变为 $\frac{8000}{2\frac{1}{2}}$, 然后仍然以 8000 的 采样率播放即可,这样做依然会有播放时间改变的问题。具体做法为: 但是, 无论是

```
resample (s, 10000, 10594);
sound (s, 8000)
```

由于只改变了半个音阶,虽然没有对音乐的时间进行调整,但是听起 来变化不大。

思考:本题的思路比较简单,主要在于对 resample 函数使用和原理的了解。这里利用 matlab 提供的文档以及搜索引擎进行学习也是掌握 matlab 函数的常规方法。

4. 试着在 (2) 的音乐中增加一些谐波分量,听一听音乐是否更有"厚度"了? 注意谐波分量的能量要小,否则掩盖住基音反而听不清音调了。(如果选择基波幅度为 1 ,二次谐波幅度 0.2 ,三次谐波幅度 0.3 ,听起来像不像象风琴?)

思路: 只需在产生每个音时把谐波加上就可以了, 其他并不用改变, 代码如下 (dfh_3.m,m_note_3.m)

```
clear; clc; format long;
base=196; f=8000; s=zeros (f*0.05,1);
s=[s;m_note_3(12,0.5,base,f)];
s=[s;m_note_3(12,0.25,base,f)];
s=[s;m_note_3(14,0.25,base,f)];
s=[s;m_note_3(7,1,base,f)];
```

```
 \begin{array}{l} s = [s \; ; m\_note\_3 \, (5 \; , 0.5 \; , base \; , f \, ) \; ] \; ; \\ s = [s \; ; m\_note\_3 \, (5 \; , 0.25 \; , base \; , f \, ) \; ] \; ; \\ s = [s \; ; m\_note\_3 \, (2 \; , 0.25 \; , base \; , f \, ) \; ] \; ; \\ s = [s \; ; m\_note\_3 \, (7 \; , 1 \; , base \; , f \, ) \; ] \; ; \\ sound \, (s \; , f \, ) \; ; \\ \end{array}
```

```
function [s]=m_note_3(note, time, base, f)
       %输入参数
2
       %音符note
3
       \%between -5\sim25
4
       %-10 means an empty beat
       %持续时间time
       %基调base
       %采样频率f
       %声音信号s
9
       n = -5:19;
10
       freq = base *2.^kron(1/12,n);
11
       t = ((1:(time)*f)/f);
12
       if note == -10
13
            s = 0*t;
14
       else
15
            e = (t < 0.1 * time) .* (t - 0.1 * time) * 80 + (t
16
                >=0.1*time\&t<0.15*time).*(0.1*
                time-t)*4.46/time-(t>=0.15*time&
                t < 0.95 * time) * 0.223 + (t > = 0.9 * time)
                .*((0.9*time-t)*40-0.223);
            %exp(e)为指数序?
17
            s = \exp(e) . *(\cos(2*pi*freg(6+note)*t)
18
                +0.2*\cos(2*pi*2*freq(6+note)*t)
                +0.3*\cos(2*pi*3*freq(6+note)*t))
       end
19
       return
20
```

思考: 听起来还是有点风琴的感觉,但是似乎更像笛子,这和音的包络也有关系。

5. 自选其它音乐合成,例如贝多芬第五交响乐的开头两小节。

思路: 合成的是致爱丽丝的第二节。出于方便输入的考量,首先将标准的简谱和对应的音的时间长存在两个数组中,然后用 matlab 转换谱子为十二平均律的形式,再循环调用之前的 m_note_3 函数代码如下 (my_music.m):

```
clear; clc; clear all;
   %tone 中
   %1~7 与简谱一致
3
   tone=[13 \ 12.5 \ 13 \ 12.5 \ 13 \ 7 \ 12 \ 11 \ 6 \ -10 \ 1 \ 3
        6\ 7\ -10\ 3\ 11\ 7\ 6;
   time = [0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25
        0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25
        0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.5;
   %谱子转十二平均律
   msheet2tone = \begin{bmatrix} -3 & -4 & -4.5 & -5 & -5.5 & -6 & -6.5 & -7 \end{bmatrix}
        1 \ 1.5 \ 2 \ 2.5 \ 3 \ 4 \ 4.5 \ 5 \ 5.5 \ 6 \ 6.5 \ 7 \ 11
        11.5 12 12.5 13];
    for i=1:length(tone)
         [\sim, \text{num}] = \text{find} (\text{msheet2tone} = \text{tone} (i));
9
          if isempty (num)
10
               num = -4;
11
         end
12
         tone(i)=num;
13
   \quad \text{end} \quad
14
   s = [];
15
   %演奏
   for i=1:length(tone)
17
         s = [s; m\_note\_3(tone(i)-6, time(i)
18
              ,220,8000)];
   end
```

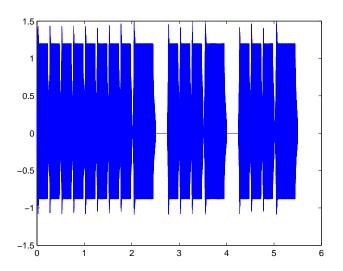


图 2: 合成音乐波形图

```
sound(s, 8000);
```

波形图如图 2:

2 用傅里叶级数分析音乐

5

6. 先用 wavread 函数载入光盘中的 fmt.wav 文件,播放出来听听效果如何?是否比刚才的合成音乐真实多了? 听起来是很明显的吉他声,确实真实很多。操作如下:

```
[R Fs]=audioread(fmt.wav);
sound(R,Fs);
```

7. 你知道待处理的 wave2proc 是如何从真实值 realwave 中得到的么?这个预处理过程可以去除真实乐曲中的非线性谐波和噪声,对于正确分

⁵本部分在目录 fmt 中执行

析音调是非常重要的。提示: 从时域做,可以继续使用 resample 函数。

思路: 先对 wave2proc 和 realwave 做傅立叶分析,画出其频谱图如图 3. 可以看出,两者的频谱除了低频部分基本是一致的,思路首先是滤去 realwave 的低频部分然后进行傅里叶逆变换。但题目要求以时域的方法处理,同时由于 realwave 中的低频分量不是很好处理,所以没有采用这种方案。

傅立叶分析代码⁶(anay_wave.m)

```
load('guitar.mat');
  R1=wave2proc;
  R2=realwave;
3
  Fs = 8000;
4
  L=length (R1);
5
  NFFT=2<sup>nextpow2</sup>(L);
  Y1 = fft (R1, NFFT)/L;
  Y2=fft(R2,NFFT)/L;
  nf = NFFT/2 + 1;
  f = Fs/2*linspace(0,1,nf);
   plot(f, 2*abs(Y1(1:nf)), 'b', f, 2*abs(Y2(1:nf))
11
      ), 'r');
   legend('wave2proc', 'realwave');
```

这里观察 wave2proc 和 realwave 的波形如图 4, 可以看出, 大致有十个峰, 将 wave2proc 的十个峰画在一起如图 5, 可以看出, 其周期性相当强。因此采用将 realwave 分为 10 个周期, 然后对其求平均得到一个周期, 再延拓的方法。需要注意的是, realwave 有 243 个采样点, 应先用 resample 函数将此采样为 250 个点, 处理完后再恢复为243 个。生成的波形如图 6

画图代码为

```
clc; clear; close all;
Fs=8000;
```

⁶这里参照了 matlab fft demo 的代码

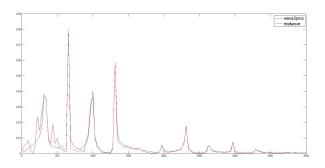


图 3: wave2proc 与 realwave 的频谱

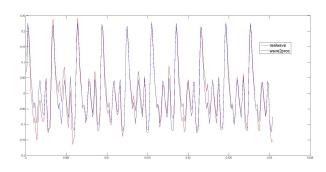


图 4: wave2proc 与 realwave 的波形

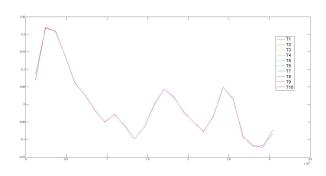


图 5: wave2proc 的十个周期

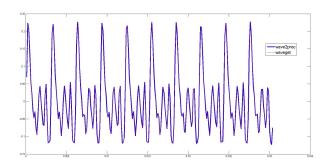


图 6: wave2proc 与得到的波形

```
load guitar.mat;
               tmp=resample(wave2proc,250,243);
               t = (1:25)/(8000/243*250);
5
               colors = hsv(10);
6
               labels = [];
7
               for d=1:10
8
               {\tt plot}\,(\,{\tt t}\,\,,{\tt tmp}\,(\,(\,{\tt d}-1)^{\,*}25\!+\!1\!:\!d^{\,*}25)\,\,,\,{\tt 'color'}
9
                    , colors (d,:));
               labels \{d\} = ['T' num2str(d)];
10
               hold on
11
               end
12
               legend(labels);
13
```

波形生成代码 (wave4proc.m)

```
clc; clear; close all;
Fs=8000;
load guitar.mat;
tmp=resample(realwave,250,243);
a=zeros(250,25);
for d=1:25
a((0:9)*25+d,d)=1/10;
end
```

```
wavetoproc=tmp'*a;
wavetoproc=kron(ones(10,1), wavetoproc');
wavetoproc=resample(wavetoproc,243,250);
t=(1:243)/8000;
plot(t, wave2proc, 'LineWidth',3);
hold on;
plot(t, wavetoproc, 'r');
legend('wave2proc', 'waveget')
```

可以看出,所得到的波形和 wave2proc 是非常相似的,这样做通过平均减弱了噪音和多次谐波的影响。

8. 这段音乐的基频是多少?是哪个音调?请用傅里叶级数或者变换的方法分析它的谐波分量分别是什么。提示:简单的方法是近似取出一个周期求傅里叶级数但这样明显不准确,因为你应该已经发现基音周期不是整数(这里不允许使用 resample 函数)。复杂些的方法是对整个信号求傅里叶变换(回忆周期性信号的傅里叶变换),但你可能发现无论你如何提高频域的分辨率,也得不到精确的包络(应该近似于冲激函数而不是 sinc 函数),可选的方法是增加时域的数据量,即再把时域信号重复若干次,看看这样是否效果好多了?请解释之。

思路:将该段音乐重复 100 次后利用 ftt 函数进行傅里叶变换,代码如下:

```
clear; clc;
Fs=8000;
load guitar.mat;
y=repmat(wave2proc,100,1);
L=length(y);
FFT=2^nextpow2(L);
Y=fft(y,NFFT)/L;
Inf=NFFT/2+1;
F=Fs/2*linspace(0,1,nf);
reso=Fs/2/nf;
Y=2*abs(Y(1:nf)');
```

```
plot(f,Y);
   xlabel('f/Hz');
   Y1=zeros(2,nf);
   Y1(1,2:nf)=Y(1:nf-1);
15
   Y1(2, 1: nf - 1) = Y(2: nf);
16
   Y1=(Y1-[Y;Y]);
17
   Y1 = [1 \ 1] * (Y1 < 0);
   Y1=(Y1==2);
   f = f . *Y1;
20
21
   if (\max(Y.*Y1)) > 0.03
22
        f=f.*((Y.*Y1)>0.03);
23
   else
24
        f=f.*((Y.*Y1)>0.013);
   end
26
27
   [ list, I] = sort(f+10000.*(f==0));
28
   base = (1:6) * list (1);
29
   a = zeros(1,6);
30
   a(1)=Y(I(1));
   for n=2:6
32
        [a1, f1] = \max(Y(n*I(1) - fix(2/reso):n*I(1))
33
           +fix(2/reso));
        base(n)=base(n)-2+f1*reso; a(n)=a1;
34
   end
   A=a ';
   base
   Α
```

得到如表 1

9. 再次载入 fmt.wav , 现在要求你写一段程序, 自动分析出这段乐曲 的音调和节拍! 如果你觉得太难就允许手工标定出每个音调的起止 时间, 再不行你就把每个音调的数据都单独保存成一个文件, 然后让

	基波	一次谐波	二次谐波	三次谐波	四次谐波	五次谐波
频率/Hz	328.10	658.40	987.26	1316.36	1645.22	1974.32
幅度	0.0439	0.0791	0.0438	0.0594	0.0025	0.0059
相对幅度7	1	1.80	1.00	1.35	0.06	0.13

表 1: realwave 的基波及谐波

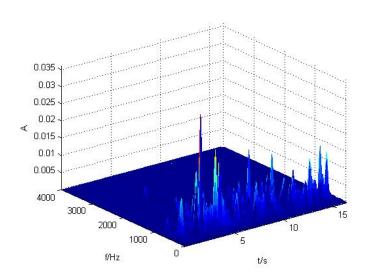


图 7: fmt 音乐的时频图

MATLAB 对这些文件进行批处理。注意:不允许逐一地手工分析音调。编辑音乐文件,推荐使用"CoolEdit"编辑软件。

思路: 因为之前做过小白鲸找妈妈的作业,所以第一想法是对信号进行短时傅里叶变换 8 ,然后每隔 $\frac{1}{4}$ 拍读取一次频率,这样就可以得到各个时间点的音调,因为音乐约为 16.3 秒,约为 32.5 拍,所以分为 140 段进行短时傅里叶变换。变换结果如图 7.

代码是这样的(short fourier.m)

```
[s Fs]=audioread('fmt.wav');
L=length(s);
NFFT=2^nextpow2(L)/64;
```

⁸此处参照网络教程http://blog.sina.com.cn/s/blog_6163bdeb0102dwfw.html

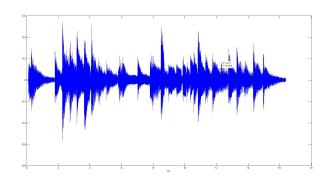


图 8: fmt 波形图

```
4  [S1,F1,T1,P1]=spectrogram(s,128,16,NFFT,Fs)
;
5  surf(T1,F1,sqrt(P1),'edgecolor','none');
    axis tight;
6  xlabel('t/s');ylabel('f/Hz');zlabel('A');
7  t=(L/Fs)
```

然而很难分清得到的 4 分音符究竟是独立的一个音还是和前后的音连 在一起的长音。需要分析音乐的节拍。方案有:

- 提取音乐的包络,但是在用高斯滤波提取后,得到的波形图与原波形契合度不高,无法获得音节划分。
- 仿照 cooledit 节拍分化的功能,通过判断时域信号在短时间(指定时间,取 6ms)内的变化率(取 6.5dB 临界值)进行节奏分化。但是如图 8所示,12.37s 时幅度变化太小,小于一些拍子内部的变化,无法划分。在调整参数后,也无法解决该问题

因此,采用最基本的手工标定法,利用 cooledit 将音乐分为 32 拍,分别存储在 fmt (2).wav fmt (3).wav 中,批处理获得各个音的音调即对应的的谐波强度。代码如下(anay.m,f_f.m):

```
clc; clear; close all;
freq = []; time = []; A = [];
%freq 存储每段的基波与谐波频率
```

```
%time 存储每段音乐时长
%A 存储每段基波与谐波的振幅
for i=2:32
    [freq,time,A]=f_f(freq,time,['fmtu('num2str(i)').wav'],A);
end
note=round(log2(freq(1,:)/220)*12);
```

```
function [freq, time, A]=f_f(freq, time, name, A
      )
  % time 为本段的时长
  % name 为文件名
  % freq 返回基波和谐波频率
  %A 返回振幅
  %use demo fft of matlab
  [R, Fs] = audioread (name);
  y = repmat(R, 100, 1);
  L=length(y);
  time=[time length(R)/Fs];
10
11
  NFFT=2^nextpow2(L);
12
  Y = fft (y, NFFT)/L;
13
  nf = NFFT/2 + 1;
14
  f = Fs/2*linspace(0,1,nf);
15
  reso=Fs/2/nf;
16
  Y=2*abs(Y(1:nf)');
17
18
  Y1=zeros(2,nf);
19
  Y1(1,2:nf)=Y(1:nf-1);
  Y1(2,1:nf-1)=Y(2:nf);
21
  Y1=(Y1-[Y;Y]);
  Y1=[1 \ 1]*(Y1<0);
```

```
Y1=(Y1==2);
   f = f.*Y1;
  %取极大点对应的频率
26
   if (\max(Y.*Y1)) > 0.03
27
        f=f.*((Y.*Y1)>0.03);
28
   else
29
        f=f.*((Y.*Y1)>0.013);
30
   \quad \text{end} \quad
   %加幅值的限制
   [list, I] = sort(f+10000.*(f==0));
   %得到基波
34
   base = (1:6) * list (1);
35
   a = zeros(1,6);
36
   a(1)=Y(I(1));
   %得到谐波
   for n=2:6
39
        [a1, f1] = \max(Y(n*I(1) - fix(2/reso):n*I(1))
40
           +fix (2/reso)));
       base (n)=base (n)-2+f1*reso; a(n)=a1;
41
   end
   freq = [freq base'];
  A = [A \ a'];
   return
```

最终的得到的结果为??

3 基于傅里叶级数的合成音乐

10. 用 (7) 计算出来的傅里叶级数再次完成第 (4) 题, 听一听是否像 演奏 fmt.wav 的吉他演奏出来的? 思路:将谐波的振幅关系传给 m_note_guitar 函数,使产生的音有谐波分量,代码如下:(dfh_guitar.m,m_note_guitar.m):

```
clear; clc; format long;
Fs=8000;
```

		世洲	. Veraltract	— Ve2Hor	— V#285#	mi yezhoù	75 16-28-34
	频率/Hz	基波 219.67	一次谐波 439.31	二次谐波 658.95	三次谐波 878.58	四次谐波 1098.22	五次谐波 1317.85
1	振幅		0. 00051	0. 01535		0. 00175	0. 00157
	频率/Hz	0. 08166 219. 84		661. 52	0. 00041 881. 36	1101. 20	1320. 36
2	振幅	0. 01373	440. 35 0. 00738	0.00448	0.00219	0.00089	0. 00117
022	频率/Hz	247. 94	495. 86	743. 79	993. 77	1239. 62	1487. 55
3	振幅	0.06010	0.00516	0. 00205	0.00112	0.00017	0.00028
	频率/Hz	217. 04	434. 08	651.09	868. 12	1085. 14	1302. 17
4	振幅	0. 03314	0.00140	0.00086	0.00008	0.00014	0.00120
5	频率/Hz	247. 18	494. 34	741. 50	988. 66	1235. 81	1482.97
J	振幅	0. 03062	0.00138	0.00173	0.00208	0.00015	0.00163
6	频率/Hz	329. 99	659. 97	989. 94	1319. 91	1649.89	1979.86
0	振幅	0.04808	0. 01838	0. 02096	0.00402	0.00067	0.00069
7	频率/Hz	193. 27	386. 53	579. 79	773. 04	966. 29	1159. 54
	振幅	0.05014	0.00178	0.00287	0.00074	0.00053	0.00039
8	频率/Hz	173. 71	347. 41	521. 12	694. 81	868. 50	1042. 19
	振幅	0. 07271	0.00062	0.00321	0.00141	0. 00046	0.00084
9	频率/Hz	174. 87	349. 73	522. 67	699. 42	874. 27	1049. 12
	振幅	0. 04760	0. 01557	0.00190	0.00284	0.00437	0.00419
10	频率/Hz	174. 25	349. 88	524. 12	698. 36	872.60	1046. 84
	振幅	0. 02362	0.00930	0. 00062	0.00048	0.00053	0.00040
11	频率/Hz	208. 44	416. 82	625. 23	833. 63	1042.01	1250. 41
	振幅 频率/Hz	0. 03025	0.00538	0.00886	0.00038	0.00022	0.00024
12	频率/HZ 振幅	246. 20	492. 40 0. 00822	738. 59	985. 82	1232. 02	1478. 21 0. 00077
	频率/Hz	0.01489	657. 78	0.00345	0. 00443 1315. 54	0.00064	1973. 31
13	振幅	328. 89 0. 01709	0. 02016	986. 66 0. 01450	0. 00879	1644. 43 0. 00060	0. 00127
	频率/Hz	221. 07	442. 15	663. 21	884. 26	1105. 33	1326. 38
14	振幅	0. 03992	0. 01272	0. 01351	0. 00249	0. 00018	0.00951
	频率/Hz	222. 23	444. 44	666. 61	888.81	1111.01	1333. 21
15	振幅	0. 04759	0.00120	0.00139	0.00039	0.00006	0.00034
-							
		1 220, 78	1 441.55	662.31	883. 07	1103.83	1324, 60
16	频率/Hz 振幅	220. 78 0. 03763	441. 56 0. 00286	662. 31 0. 02018	883. 07 0. 00071	1103.83 0.00039	1324. 60 0. 00362
16	振幅			0. 02018			
	振幅 频率/Hz	0. 03763	0. 00286 880. 58	0. 02018	0. 00071 1761. 14	0. 00039	0. 00362 2641. 69
16	振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344	0. 00286 880. 58 0. 01702	0. 02018 1320. 86 0. 01354	0. 00071 1761. 14 0. 00166	0. 00039 2201. 41 0. 00205	0. 00362 2641. 69 0. 00245
	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40	0. 00039 2201. 41 0. 00205 1105. 48	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57
17	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40 0. 00036	0. 00039 2201. 41 0. 00205 1105. 48 0. 00012	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57 0. 00146
17	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40 0. 00036 1572. 37	0. 00039 2201. 41 0. 00205 1105. 48 0. 00012 1965. 44	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57 0. 00146 2358. 53
17	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801	880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40 0. 00036 1572. 37 0. 00278	0. 00039 2201. 41 0. 00205 1105. 48 0. 00012 1965. 44 0. 00178	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57 0. 00146 2358. 53 0. 00059
17	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61	880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40 0. 00036 1572. 37 0. 00278 1398. 39	0. 00039 2201. 41 0. 00205 1105. 48 0. 00012 1965. 44 0. 00178 1747. 97	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55
17 18 19	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477	880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117	0. 00071 1761. 14 0. 00166 884. 40 0. 00036 1572. 37 0. 00278 1398. 39 0. 00403	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57 0. 00146 2358. 53 0. 00059 2097. 55 0. 00087
17 18 19	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11	880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25	0.00071 1761. 14 0.00166 884. 40 0.00036 1572. 37 0.00278 1398. 39 0.00403 1320. 30	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37	0. 00362 2641. 69 0. 00245 1326. 57 0. 00146 2358. 53 0. 00059 2097. 55 0. 00087 1980. 45
17 18 19 20 21	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 0. 04671	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37 0.00070	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038
17 18 19 20	振幅 频率/Hz 振幅 频率/Hz 振幅/ 频率/Hz 振幅/ 频率/Hz 振幅/ 频率/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77	880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 0. 04671 589. 49	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23	0.00071 1761. 14 0.00166 884. 40 0.00036 1572. 37 0.00278 1398. 39 0.00403 1320. 30 0.00407 1178. 94	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37 0.00070 1473.68	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42
17 18 19 20 21 22	振幅 频率/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振率/Hz 振率/Hz 振率/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 0. 04671 589. 49 0. 03521	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37 0.00070 1473.68 0.00200	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174
17 18 19 20 21	振幅 频率/Hz 振幅 / Hz 振率 /Hz 振率 /Hz 振率 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 0. 04671 589. 49 0. 03521 525. 15	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70	0.00071 1761. 14 0.00166 884. 40 0.00036 1572. 37 0.00278 1398. 39 0.00403 1320. 30 0.00407 1178. 94 0.00316 1050. 26	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37 0.00070 1473.68 0.00200 1312.82	0.00362 2641.69 0.00245 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38
17 18 19 20 21 22 23	振幅 频率/Hz 振幅/Hz 振率/Hz 振率/Hz 振率/Hz 振率/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振幅/Hz 振率/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 0. 04671 589. 49 0. 03521	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70 0. 01253	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316	0.00039 2201.41 0.00205 1105.48 0.00012 1965.44 0.00178 1747.97 0.00194 1650.37 0.00070 1473.68 0.00200	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174
17 18 19 20 21 22	振幅 频率/Hz 振幅 / Hz 振率 /Hz 振率 /Hz 振率 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz 振幅 /Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 699.20 0.00857 660.17 0.04671 589.49 0.03521 525.15 0.00556	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00012 1965. 44 0.00178 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422
17 18 19 20 21 22 23 24	振幅 頻率	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01	0. 00286 880. 58 0. 01702 442. 21 0. 01542 786. 21 0. 02425 699. 20 0. 00857 660. 17 589. 49 0. 03521 525. 15 0. 00556 494. 02	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 1048.81 0.00147 1990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00012 1965. 48 0.0017 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99
17 18 19 20 21 22 23	振幅 頻率	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 055490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 699.20 0.00857 660.17 0.04671 589.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00017 990.25 0.30176 884.23 787.70 0.01253 741.01 0.00716	0.00071 1761. 14 0.00166 884. 40 0.00036 1572. 37 0.00278 1398. 39 0.00407 1178. 90 0.00407 1050. 26 0.01083 988. 01 0.00281	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00012 1965. 44 0.00178 1747. 97 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235.00 0.00031	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.0003 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081
17 18 19 20 21 22 23 24 25	振幅 頻率	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 034801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04401 0. 03460	0.00286 880,58 0.01702 442,21 0.01542 786,21 0.02425 699,20 0.00857 0.04671 559,49 0.03521 525,15 0.00556 494,02 0.00933 493,76	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00012 1965. 44 0.00178 1747. 97 0.00178 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 3312. 82 0.00845 1235. 00 0.00201	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081
17 18 19 20 21 22 23 24	振幅 頻率/Hz 振率 M/Hz 振率 M/Hz 振 M/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04242 247. 80 0. 03366	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 559.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55 0.00326	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 49 0.00178 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 14473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.00031 1237. 12 0.00014	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26	振幅 頻率/Hz 振率幅 頻率/Hz 振率幅/Hz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03396 0. 03396 0. 03490	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 528.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 0017 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70 0. 01253 741. 01 0. 00716 741. 55 0. 00326 786. 65	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00281 0.00281	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00015 1965. 44 0.00178 1747. 97 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1237. 12 0.00031	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00081
17 18 19 20 21 22 23 24 25	振幅 頻率/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz 振率MHz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03160 262. 57 0. 04124 247. 80 0. 03396 0. 03396 262. 20 0. 03060	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 699.20 0.00857 660.17 0.04671 589.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44 0.00246	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00617 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 741.05 0.00326 786.65 0.00339	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00284 1048.87 0.00284 1048.87 0.00063	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00012 11955. 44 0.00178 1747. 97 0.00178 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.00201 1237. 12 0.00014 1311. 08 0.00031	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00025
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27-	振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 0386 294. 77 0. 03160 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03396 262. 22 0. 03060 0. 03396	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 0.03521 525.15 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44 0.00246 348.68	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55 0.00326 786.65 0.00336	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284 1048.87 0.00083 699.26	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 49 0.00179 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00031 1235. 00 0.00031 1237. 12 0.00014 1311. 08	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00043 1573.29 0.00043 1573.29
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26	振幅	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03487 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03960 262. 22 0. 03060 175. 31 0. 04658	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 699.20 0.00857 660.17 0.04671 528.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44 0.00246 348.68 0.01264	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55 0.00326 786.65 0.00336 665.73 0.00180 663.73 0.00180	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284 1048.87 0.00003	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1195. 44 0.00178 1747. 97 10.00194 1650. 37 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.00031 1237. 12 0.00011 1311. 08 0.000031	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00031 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00025 0.00025 0.00025
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27 28	振幅 頻率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 频率幅/Hz 频率幅/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03368 0. 03368 0. 03460 262. 57	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 699.20 0.00857 660.17 0.04671 559.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.01264 442.49 0.00286 0.00933 348.68 0.01264 442.49 0.00933 330.08	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00117 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70 0. 01253 741. 01 0. 00716 741. 55 0. 00326 0. 00326 0. 00326 0. 00339 523. 97 0. 00180 663. 73	0.00071 1761. 14 0.00166 884. 40 0.00036 1572. 37 0.00278 1398. 39 0.00407 1178. 94 1050. 26 0.01083 999. 18 0.00281 991. 18 0.00281 991. 18 0.00281 990. 00063 699. 26	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00173 11965. 44 0.00178 1747. 97 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 02 0.00031 1237. 12 0.000031 374. 56 0.000031 374. 56	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00038 1768.42 0.00017 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27-	振幅 / Hz / 振率幅 / Hz / Kz / Hz / Kz / Hz / Hz / Kz / Hz / H	0.03763 440.29 0.04344 221.10 0.05490 393.10 0.04801 349.61 0.03477 330.11 0.03088 294.77 0.03460 262.57 0.06187 247.01 0.04424 247.80 0.0396 262.22 0.03060 175.31 0.04658 221.25 0.06692 165.04 0.01478	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 5589.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44 0.00246 442.49 0.00938 330.08 0.02411	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00137 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70 0. 01253 741. 01 0. 00716 741. 55 0. 00339 523. 97 0. 00133	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 998.01 0.00281 1048.87 0.00063 699.26 0.000741 884.95 0.00087 658.39 0.00143	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.0012 1965. 44 0.00178 1747. 97 0.00070 1473. 68 0.0020 1312. 82 0.00845 1235. 12 0.00014 13311. 08 0.00031 874. 56 0.00585 1108. 24 0.00034 825. 15 0.00754	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1875.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86 0.00315 1327.41 0.00257 991.90 0.00351
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27 28	振幅 頻率/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率幅/Hz 振率相/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03486 294. 77 0. 03460 262. 57 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03396 262. 20 0. 03066 175. 31 0. 04658 221. 25 0. 06692 165. 04 0. 01478 221. 25	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.02425 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 589.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00139 524.44 0.00246 348.68 0.01264 442.49 0.00938 330.08 0.02411 442.31	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 0.00326 786.65 0.00339 523.97 0.00180 663.73 0.01335 493.36 0.01335 665.85	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00036 1572.37 0.00278 1398.39 0.00403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284 1048.87 0.00083 699.26 0.00741 884.95 0.00087 658.39 0.00163	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 49 0.00179 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00079 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.0031 1237. 12 0.00014 1311. 08 0.00031 874. 56 0.000585 1108. 24 0.00034 825. 15 0.00034	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00087 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86 0.00315 1327.41 0.00257 991.90 0.0035 1331.66
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27 - 28 29	振幅 /Hz 振率 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 /Hz L /Hz /Hz L /Hz /Hz L /H	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 0386 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03396 262. 22 0. 0306 0. 03096 263. 21 264. 25 0. 0366 0. 0386 0. 04658 0.	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 559.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.01264 442.49 0.00246 0.00933 330.08 0.02411 442.31 0.00481	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55 0.00326 786.65 0.00339 0.01253 493.36 0.01033	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00166 885.4.40 0.000278 1398.39 0.000403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284 1048.87 0.00063 699.26 0.00741 884.95 0.00087 658.39 0.00143	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 49 0.00179 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 14473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.00031 1237. 12 0.00014 1311. 08 0.00585 1108. 24 0.00038 825. 15 0.00754	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.65 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00042 1481.99 0.00043 1573.29 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86 0.00351 1327.41 0.00257 991.90 0.000351
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27 - 28 29	振幅 /Hz 振率幅/Hz	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 03088 294. 77 0. 03160 262. 57 0. 06187 0. 04424 247. 80 0. 0396 262. 22 0. 03060 175. 31 0. 04658 221. 25 0. 06692 165. 04 0. 01478 221. 95 0. 08120 0. 08120 0. 08120 0. 08120 0. 08120 0. 08120 0. 08120	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 589.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.00159 524.44 0.00246 348.68 0.01264 442.49 0.00930 0.003938 0.02411 442.31 0.00481	0. 02018 1320. 86 0. 01354 663. 30 0. 00635 1179. 27 0. 00497 1048. 81 0. 00137 990. 25 0. 03176 884. 23 0. 00643 787. 70 0. 01253 741. 01 0. 00716 741. 55 0. 00326 786. 65 0. 00339 653. 73 0. 0133 665. 85 0. 00566 626. 02	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00366 1572.37 0.00278 1398.39 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 1048.87 0.00063 699.26 0.00741 884.95 0.00083 886.18 0.00043	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 44 0.00178 1747. 97 0.00070 1473. 68 0.00200 1312. 82 0.00200 1312. 82 0.00031 1237. 12 0.00031 1237. 12 0.00031 1238. 00 0.00031 1237. 12 0.00031 1237. 12 0.00031 1237. 12 0.00031 1237. 12 0.00031	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00038 1980.45 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00422 1481.99 0.00081 1484.91 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86 0.00315 1327.41 0.00257 991.90 0.00351 1331.66 0.00351 1331.66
17 18 19 20 21 22 23 24 25 26 -27-28 29 30	振幅 /Hz 振率 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 振座 /Hz 上 /Hz L /Hz /Hz L /Hz /Hz L /H	0. 03763 440. 29 0. 04344 221. 10 0. 05490 393. 10 0. 04801 349. 61 0. 03477 330. 11 0. 0386 294. 77 0. 03460 262. 57 0. 06187 247. 01 0. 04424 247. 80 0. 03396 262. 22 0. 0306 0. 03096 263. 21 264. 25 0. 0366 0. 0386 0. 04658 0.	0.00286 880.58 0.01702 442.21 0.01542 786.21 0.02425 669.20 0.00857 660.17 0.04671 559.49 0.03521 525.15 0.00556 494.02 0.00933 493.76 0.01264 442.49 0.00246 0.00933 330.08 0.02411 442.31 0.00481	0.02018 1320.86 0.01354 663.30 0.00635 1179.27 0.00497 1048.81 0.00117 990.25 0.03176 884.23 0.00643 787.70 0.01253 741.01 0.00716 741.55 0.00326 786.65 0.00339 0.01253 493.36 0.01033	0.00071 1761.14 0.00166 884.40 0.00166 885.4.40 0.000278 1398.39 0.000403 1320.30 0.00407 1178.94 0.00316 1050.26 0.01083 988.01 0.00281 991.18 0.00284 1048.87 0.00063 699.26 0.00741 884.95 0.00087 658.39 0.00143	0.00039 2201. 41 0.00205 1105. 48 0.00178 1105. 49 0.00179 1747. 97 0.00194 1650. 37 0.00070 14473. 68 0.00200 1312. 82 0.00845 1235. 00 0.00031 1237. 12 0.00014 1311. 08 0.00585 1108. 24 0.00038 825. 15 0.00754	0.00362 2641.69 0.00245 1326.57 0.00146 2358.53 0.00059 2097.55 0.00038 1768.42 0.00174 1575.38 0.00042 1481.99 0.00081 1573.29 0.00043 1573.29 0.00025 1049.86 0.00351 1327.41 0.00257 991.90 0.000351

图 9: fmt 分析结果??

```
load guitar.mat;
  y=repmat(wave2proc, 100, 1);
  L=length(y);
  NFFT=2^nextpow2(L);
  Y = fft (y, NFFT)/L;
  nf = NFFT/2 + 1;
  f = Fs/2*linspace(0,1,nf);
  reso=Fs/2/nf;
  Y=2*abs(Y(1:nf)');
12
13
  Y1=zeros(2,nf);
14
  Y1(1,2:nf)=Y(1:nf-1);
15
  Y1(2, 1: nf - 1) = Y(2: nf);
  Y1=(Y1-[Y;Y]);
  Y1=[1 \ 1]*(Y1<0);
  Y1=(Y1==2);
19
  f = f . *Y1;
20
  %取极大 点对应的频率?
   if (\max(Y.*Y1)) > 0.03
       f=f.*((Y.*Y1)>0.03);
   else
24
       f=f.*((Y.*Y1)>0.013);
25
   end
26
  %加幅值的限制
27
   [list, I] = sort(f+10000.*(f==0));
  %得到基频
  base = (1:6) * list (1);
30
  a = zeros(1,6);
31
  a(1)=Y(I(1));
32
   for n=2:6
33
       [a1, f1] = \max(Y(n*I(1) - fix(2/reso):n*I(1))
          +fix(2/reso));
```

```
base(n)=base(n)-2+f1*reso;a(n)=a1;
   \quad \text{end} \quad
36
   A=a ';
37
38
39
   base=220; f=8000; s=zeros(f*0.05,1);
40
   s = [s; m\_note\_guitar(10, 0.5, base, f, A)];
41
   s = [s; m\_note\_guitar(10, 0.25, base, f, A)];
   s = [s; m\_note\_guitar(12, 0.25, base, f, A)];
   s=[s; m_note_guitar(5,1,base,f,A)];
44
   s = [s; m\_note\_guitar(3, 0.5, base, f, A)];
45
   s = [s; m\_note\_guitar(3, 0.25, base, f, A)];
46
   s = [s; m\_note\_guitar(0, 0.25, base, f, A)];
47
   s=[s; m_note_guitar(5,1,base,f,A)];
   sound(s, f);
```

```
function [s]=m note guitar(note, time, base, f
      ,A)
       %输入参数
2
       %音符note
3
       %between -5\sim25,-10 means an empty beat
4
       %持续时间time
5
       %基调base
6
       %采样频率f
       %声音信号s
       %谐波强度A
10
11
       A = A/A(1);
12
       n = -5:19;
13
       freq=base(1)*2.^kron(1/12,n);
14
       t = ((1:(time)*f)/f);
15
       if note == -10
16
```

```
s = 0*t;
17
        else
             s=zeros(time*f,1);
19
             for i=1:6
20
                  s=s+A(i)*cos(2*pi*freq(note+6)*
21
                     i*t);
             end
22
            %包络
23
             e = (t < 0.05 * time) .* (t - 0.05 * time) *80/
24
                time + (t > = 0.05*time\&t < 0.3*time)
                 .*(0.05*time-t)*4.43/time+(t)
                >=0.3*time).*(2.7*(0.3*time-t)/
                time - 1.10);
             s=s.*exp(e);
25
        end
26
        return
27
```

思考:第一次做完后听起来并不像,但是这里的谐波分布和之前应该是一致的,为了更符合要求,我仿照图 8修改了包络,使得新的波形从 2变为 10. 修改之后听起来确实像吉他了,但是还有一些奇怪的杂音。

11. 也许 (9) 还不是很像,因为对于一把泛音丰富的吉他而言,不可能每个音调对应的泛音数量和幅度都相同。但是通过完成第 (8) 题,你已经提取出 fmt.wav 中的很多音调,或者说,掌握了每个音调对应的傅里叶级数,大致了解了这把吉他的特征。现在就来演奏一曲《东方红》吧。提示: 如果还是音调信息不够,那就利用相邻音调的信息近似好了,毕竟可以假设吉他的频响是连续变化的。

代码如下:

```
run anay.m;

%A=A./repmat(A(1,:),6,1);

%幅度改为相对 220Hz 为基准音
```

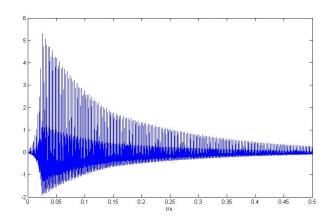


图 10: 新包络

```
f=round(log2(freq(1,:)/220)*12);
  %以音名为索引
   [C, I] = sort(f);
  A_{tmp=zeros}(6,18);
  tmp=C(1); count=0;
  %将重复音的频谱特征取平均
10
   for i=1:31
11
       if C(i) = tmp;
12
           A_{tmp}(:, C(i) + 6) = A_{tmp}(:, C(i) + 6) + A
13
               (:, I(i));
            count = count + 1;
14
       else
15
           A_{tmp}(:, C(i-1)+6)=(A_{tmp}(:, C(i-1)
16
               +6)+A(:, I(i-1)))/count;
           tmp=C(i);
17
            count = 1;
18
       end
19
   end
20
  A_{tmp}(:,C(31)+6)=A(:,I(31));
21
  %不存在的音以两侧音的特征的平均值替代
```

```
for i=1:18
        if A tmp(:, i) == 0
24
             A_{tmp}(:, i) = (A_{tmp}(:, i+1) + A_{tmp}(:, i)
25
                 -1))/2;
        end
26
   end
27
28
   base=220; f=8000; s=zeros(f*0.05,1);
   s = [s; m\_note\_guitar(10, 0.5, base, f, A\_tmp]]
       (:,10+6));
   s = [s; m\_note\_guitar(10, 0.25, base, f, A\_tmp]]
31
       (:,10+6));
   s = [s; m\_note\_guitar(12, 0.25, base, f, A\_tmp]]
32
       (:,12+6));
   s = [s; m\_note\_guitar(5, 1, base, f, A\_tmp(:, 5+6))]
       ];
   s = [s; m\_note\_guitar(3, 0.5, base, f, A\_tmp]]
34
       (:,3+6))];
   s = [s; m\_note\_guitar(3, 0.25, base, f, A\_tmp]]
       (:,3+6))];
   s = [s; m\_note\_guitar(0, 0.25, base, f, A\_tmp]]
       (:,0+6))];
   s = [s; m\_note\_guitar(5, 1, base, f, A\_tmp(:, 5+6))]
37
   sound(s, f);
```

生成的波形如图 11

思考: 听起来很像吉他了,但是两个长音中还是有杂音. 但单独播放这个音的短音时并无杂音。所以这是拖得过长而导致的,需要给长音增加特殊的包络就能解决这一问题。本题的难点在于将第(9)问的数据应用在这里,这里进行了较为复杂的运算才得到,是自己有了不小的提升。

12. 现在只要你掌握了某乐器足够多的演奏资料,就可以合成出该乐器

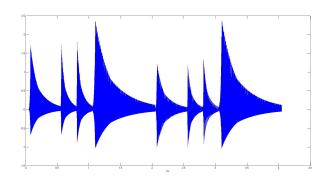


图 11: 生成的波形

演奏的任何音乐,在学完本书后面内容之后,试着做一个图形界面把上述功能封装起来。 GUI 界面如图 12其中内置了三首曲子:《东方红》《茉莉花》《致爱丽丝》;提供 C 大调和 A 大调两种音调;提供吉他、风琴(如第四题,但是仍使用吉他的包络)、电子音(只有基波)三种音色。

在简谱栏中输入音符如 1 2 3 就是 do re mi, 11 就是高八度的 do, -6 就是低八度的 la, 1.5 就是降 re, -10 表示是空音。可以演奏从 -3 到 13 的所有音(C 大调,A 大调为 -5 到 15)在时间栏中输入各个音符对应的时间,然后样例乐谱选无,点击演奏就能听到音乐了。同时,用户可以点击分析音乐按钮,选择的一小段 wav 文件,程序会进行分析(无法进行分拍分析,只会当做一个音),然后音色选择 custom 就能使用该音色。

思考:本题的核心是 GUI,主要的逻辑都需要做在按钮的 callback 函数中。因为给用户的反馈是按下按钮后才发声。这有几个难点,一个是空音,需要选择一个不会出现的数字。另一方面,允许用户输入,所以处理输入的音符时应该对其进行限制来增强鲁棒性。代码如下:(gui.m)



图 12: GUI 界面

```
'gui_Singleton',
                           gui_Singleton, ...
                        'gui_OpeningFcn',
5
                           @gui\_OpeningFcn, ...
                        'gui_OutputFcn',
6
                           @gui_OutputFcn, ...
                        'gui_LayoutFcn',
                        'gui_Callback',
                                           []);
8
   if nargin && ischar(varargin{1})
9
       gui_State.gui_Callback = str2func(
10
          varargin \{1\});
   end
11
12
   if nargout
13
       [varargout {1:nargout}] = gui_mainfcn(
14
          gui_State , varargin {:});
   else
15
       gui_mainfcn(gui_State, varargin(:));
   end
  \% End initialization code - DO NOT EDIT
```

```
19
20
  % — Executes just before gui is made
21
      visible.
  function gui_OpeningFcn(hObject, eventdata,
22
       handles, varargin)
  % Choose default command line output for
23
      gui
  handles.output = hObject;
^{24}
25
  % Update handles structure
26
  %不同音调guitar
27
  handles. guitar = [0.0295583566761820]
                            0.0456155248168245\\
      0.0410941345134757
      0.0501369151201733
                            0.0150942327948900
      0.0506918143957047
                            0.0411115638971236
      0.0315313133985425
                            0.0306018188528348
      0.0326034060041743 \quad 0.0346049931555137
      0.0304438595623305
                            0.0262827259691473
      0.0347713477835479
                            0.0413905767692186\\
      0.0480098057548894
                            0.0457266497451795
      0.0434434937354695;
  0.0482126003883897 0.0125374140745269
      0.00716059137425992 \quad 0.00178376867399290
      0.00495078360762451 \quad 0.00666430595013039
      0.00550363690446728 \quad 0.00434296785880417
      0.00246330674711421 \quad 0.0188350822355054
      0.0352068577238966 \quad 0.0365342250971077
      0.0378615924703188 0.00857053773470121
      0.0164106182936462 \quad 0.0242506988525912
      0.0206351382394561
                            0.0170195776263210;
  0.0206558500193487 \quad 0.00152760756396231
      0.00219890018041650 \quad 0.00287019279687068
```

```
0.00349294202926450 \quad 0.00793580678314517
   0.00585318846766221 0.00377057015217924
   0.00338667456050978 0.00490771858196665
   0.00642876260342353 0.0162190114081411
   0.0260092602128588 \quad 0.00117258606592246
   0.00307346918072569 0.00497435229552892
   0.00925582041626151 0.0135372885369941;
0.00285336304856058 \quad 0.00453640669792585
   0.00263949648145414 \ 0.000742586264982436
       6.68401761333680e-05
   0.000814065440693232
   0.00190609132895165 \quad 0.00299811721721007
   0.000628637998314440
   0.00189444843869244 \quad 0.00316025887907043
   0.00440233177136729 \quad 0.00564440466366414
   0.00403417874801128 0.00340693225315865
   0.00277968575830602 0.00221847975503006
   0.00165727375175410;
0.0150876502796980 \quad 0.00414709484646134
   0.00233614670375124 0.000525198561041149
       4.20504657581285e-05
   0.000291684580679916
   0.000283492071550838
   0.000275299562421759
   0.000309384394071862
   0.00115327671849602 0.00199716904292017
   0.00132983323130851 0.000662497419696851
       0.00194061187195759
   0.00186164673013615 0.00178268158831472
   0.00191739094342452 0.00205210029853432;
0.00702799658954647 0.00272518393583796
   0.00155648685901399 0.000387789782190024
       3.17892339543552e-05
```

```
0.00240451218998288 \quad 0.00160935705722773
      0.000814201924472573
      0.000248809480213054
      0.000996328456682373
      0.00174384743315169 \ \ 0.00120906410397970
      0.000674280774807711
      0.000872029083003068
      0.000729265978417851
      0.000586502873832633
      0.00151829881512565
      0.00245009475641867;
  handles.guitar=[handles.guitar repmat(
34
      handles.guitar(:,18),1,7);
  %organ
  handles.organ=kron([1 0.2 0.3 0 0 0]', ones
      (1,25));
  %基本
37
  handles.basic=zeros(6,25); handles.basic
38
      (1,:)=1;
  handles.custom=handles.basic;
   handles.A=handles.guitar;
   handles.tone = [];
41
   handles.time=[];
42
43
   guidata (hObject, handles);
44
  % --- Outputs from this function are
      returned to the command line.
   function varargout = gui_OutputFcn(hObject,
47
       eventdata, handles)
   varargout {1} = handles.output;
48
```

```
% --- Executes on selection change in
      ch tone.
   function ch_tone_Callback(hObject,
      eventdata, handles)
   switch get(hObject, 'Value')
53
       case 1
54
           handles.A=handles.guitar;
       case 2
           handles.A=handles.organ;
       case 3
           handles.A=handles.basic;
59
       case 4
60
           handles.A=handles.custom;
61
   end
   guidata (hObject, handles);
64
65
  % --- Executes during object creation,
66
      after setting all properties.
   function ch_tone_CreateFcn(hObject,
67
      eventdata, handles)
   if ispc && isequal(get(hObject,'
68
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
69
  end
70
72
73
  % --- Executes on selection change in
75
      popupmenu2.
  function popupmenu2_Callback(hObject,
```

```
eventdata, handles)
   function popupmenu2 CreateFcn(hObject,
      eventdata, handles)
78
   if ispc && isequal (get (hObject,'
79
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
   end
81
82
83
   function ch_tone_ButtonDownFcn(hObject,
84
      eventdata, handles)
86
   function get_rhy_Callback(hObject,
87
      eventdata, handles)
    handles.tone=str2num(get(hObject, 'String')
88
       );
   guidata (hObject, handles);
90
91
       - Executes during object creation,
92
      after setting all properties.
   function get_rhy_CreateFcn(hObject,
93
      eventdata, handles)
   if ispc && isequal(get(hObject,'
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
95
  end
96
97
```

```
- Executes on button press in anay_file
   function anay_file_Callback(hObject,
100
       eventdata, handles)
   [Filename, Pathname, ~] = uigetfile('*.wav');
101
   A = []; freq = []; time = [];
102
   [\sim,\sim,A]=f_f (freq, time, [Pathname Filename], A
103
       );
   handles.custom=repmat(A, 1, 25);
104
   guidata (hObject, handles);
105
106
107
   % — Executes on button press in play.
108
   function play_Callback(hObject, eventdata,
       handles)
   switch get(handles.get_rhy, 'Value')
110
        case 1
111
            handles.A=handles.guitar;
112
        case 2
113
            handles.A=handles.organ;
        case 3
115
            handles.A=handles.basic;
116
        case 4
117
            handles.A=handles.custom;
118
   end
119
120
   switch get (handles.get_demo, 'Value')
121
        case 1%用户输入
122
            handles.tone=str2num(get(handles.
123
                get_rhy , 'String'));
            handles.time=str2num(get(handles.
124
                get_time, 'String'));
        case 2%东方红
125
```

```
handles.tone=[5 \ 5 \ 6 \ 2 \ 1 \ 1 \ -6 \ 2];
126
               handles.time = [0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 1 \ 0.5]
127
                   0.25 \ 0.25 \ 1 ];
         case 3%茉莉花
128
               handles.tone=[3 3 5 6 11 11 6 5 5 6
129
                    5 3 3 5 6 11 11 6 5 5 6 5 5 5 5
                    3 5 6 6 5 3 2 3 5 3 2 1 1 2 1];
               handles.time = [0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]
130
                   0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 1
                   0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25
                   0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 1 \ 0.5 \ 0.5 \ 0.5
                    0.25 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.5 \ 1 \ 0.5 \ 0.25
                   0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25
                    1];
         case 4%致爱丽丝
131
               handles.tone=[13 12.5 13 12.5 13 7
132
                   12 \ 11 \ 6 \ -10 \ 1 \ 3 \ 6 \ 7 \ -10 \ 3 \ 11 \ 7
                   6];
               handles.time = [0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25]
133
                   0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.25
                   0.25 \ 0.25 \ 0.25 \ 0.5 \ 0.25 \ 0.25
                   0.25 \ 0.25 \ 0.5;
         end
134
135
    msheet2tone = \begin{bmatrix} -3 & -4 & -4.5 & -5 & -5.5 & -6 & -6.5 & -7 \end{bmatrix}
136
        1 \ 1.5 \ 2 \ 2.5 \ 3 \ 4 \ 4.5 \ 5 \ 5.5 \ 6 \ 6.5 \ 7 \ 11
        11.5 12 12.5 13 14 14.5 15];
    for i=1:length(handles.tone)
137
         if handles.tone\sim = -10 \&\&(handles.tone)
138
             <(-1+get (handles.get base, 'Value')
             *2) | | handles.tone>(11+get (handles.
             get_base, 'Value')*2))
               warning ('wrong input');
139
```

```
140
        end
        [\sim, num] = find (msheet2tone = handles.tone (
           i));
         if isempty (num)
142
            num = -4;
143
         end
144
        handles.tone(i)=num;
145
   end
   switch get(handles.get_base, 'Value')
147
        case 2
148
            if handles.tone\sim = -4
149
                 handles.tone=handles.tone-3;
150
            end
151
            handles.A(:,(4:25)) = handles.A
                (:,(1:22));
            handles.A(:,(1:3))=repmat(handles.A
153
                (:,4),1,3);
   end
154
   s = [];
155
   %220为基准音Hz
   for i=1:length(handles.tone)
        s = [s; m\_note\_guitar(handles.tone(i)-6,
158
           handles.time(i),220,8000, handles.A
           (:, abs(handles.tone(i))))];
       %由于空音出现了索引为负数的情况,所以加上abs
159
   end
160
   sound(s,8000);
162
   function get_time_Callback(hObject,
163
       eventdata, handles)
   handles.time=str2num(get(hObject, 'String'))
164
   guidata(hObject, handles);
```

```
166
   function get_time_CreateFcn(hObject,
167
      eventdata, handles)
   if ispc && isequal(get(hObject,'
168
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
169
   end
171
   function get_demo_Callback(hObject,
172
      eventdata, handles)
   function get_demo_CreateFcn(hObject,
173
      eventdata, handles)
   if ispc && isequal(get(hObject,'
174
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
175
   end
176
177
        - Executes on selection change in
      get_base.
   function get_base_Callback(hObject,
180
      eventdata, handles)
   function get_base_CreateFcn(hObject,
181
      eventdata, handles)
   if ispc && isequal(get(hObject,'
      BackgroundColor'), get(0,'
      defaultUicontrolBackgroundColor'))
       set(hObject, 'BackgroundColor', 'white');
183
   end
184
```