

MATLAB 大作业一：音乐合成

姓名：陈彦旭

班级：无24 学号：2022010597

目录：

MATLAB 大作业一：音乐合成

实验目的

实验步骤

简单的合成音乐

用傅里叶级数分析音乐

基于傅里叶级数的合成音乐

感想与收获

实验目的

本章将基于傅里叶级数和傅里叶变换等基础知识，应用第一篇讲授的 MATLAB 编程技术，在电子音乐合成方面做一些练习，增进对傅里叶级数的理解，并能够熟练运用 MATLAB 基本指令。

实验步骤

简单的合成音乐

(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？

表格如下：

唱名	1	2	3	4	5	6	7	i
音名	F	G	A	(b)B	C	D	E	F
频率	349.23	392	440	466.16	523.25	587.33	659.25	698.45

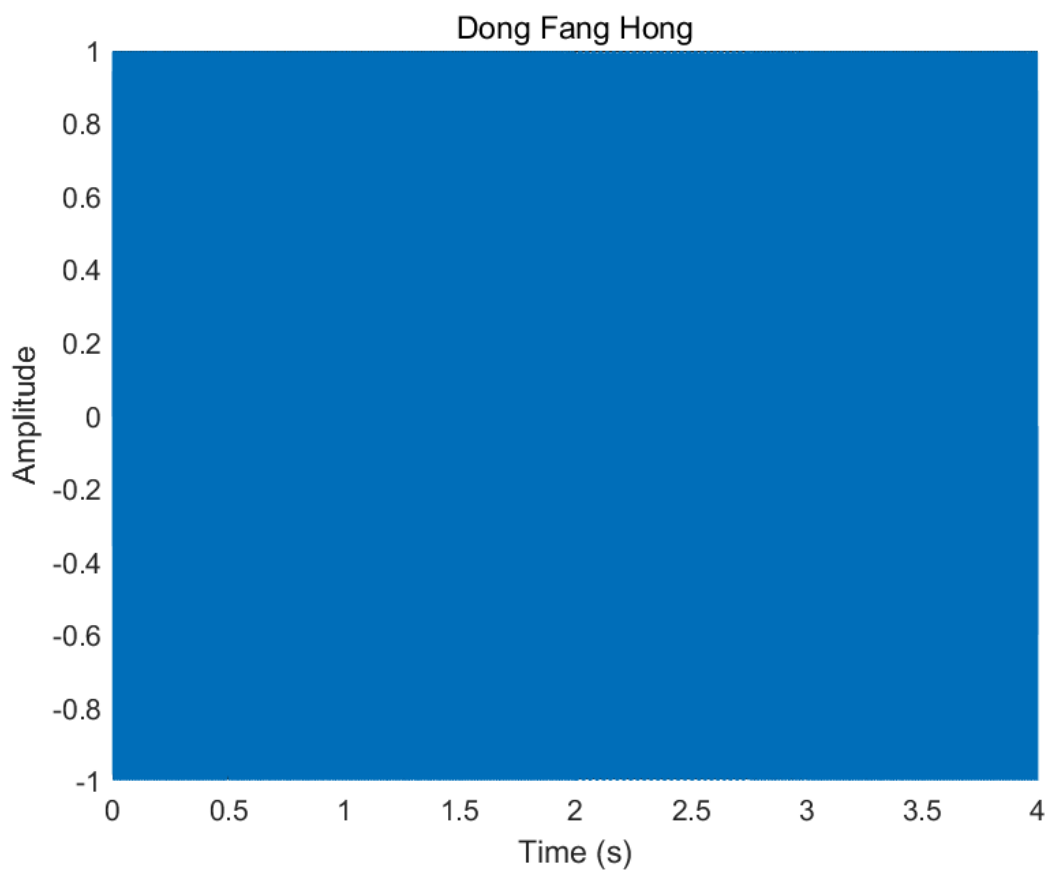
我根据两个 A 调频率（220Hz、440Hz）分别向上生成 12 个音调频率，得到一个二维数组 `freq`，其中每一行是从 A 到 G 的完整 12 个频率。

然后根据《东方红》歌曲中每个乐音的音调以及节拍持续时间，创建二维数组 `DongFangHong`，其中每一行的第一个元素是频率，第二个元素是持续时间。在向乐音数组 `me1ody` 中添加各个乐音的音调时，各次循环会改变数组大小，因此我使用元胞数组 `ce11`，最后使用 `cat` 将其展平，提升了循环的效率。

最后使用 `sound` 函数播放乐音，可以听出不同音调之间有较为明显的“不连续感”。

生成的音频文件保存在 `exp1.wav` 中。

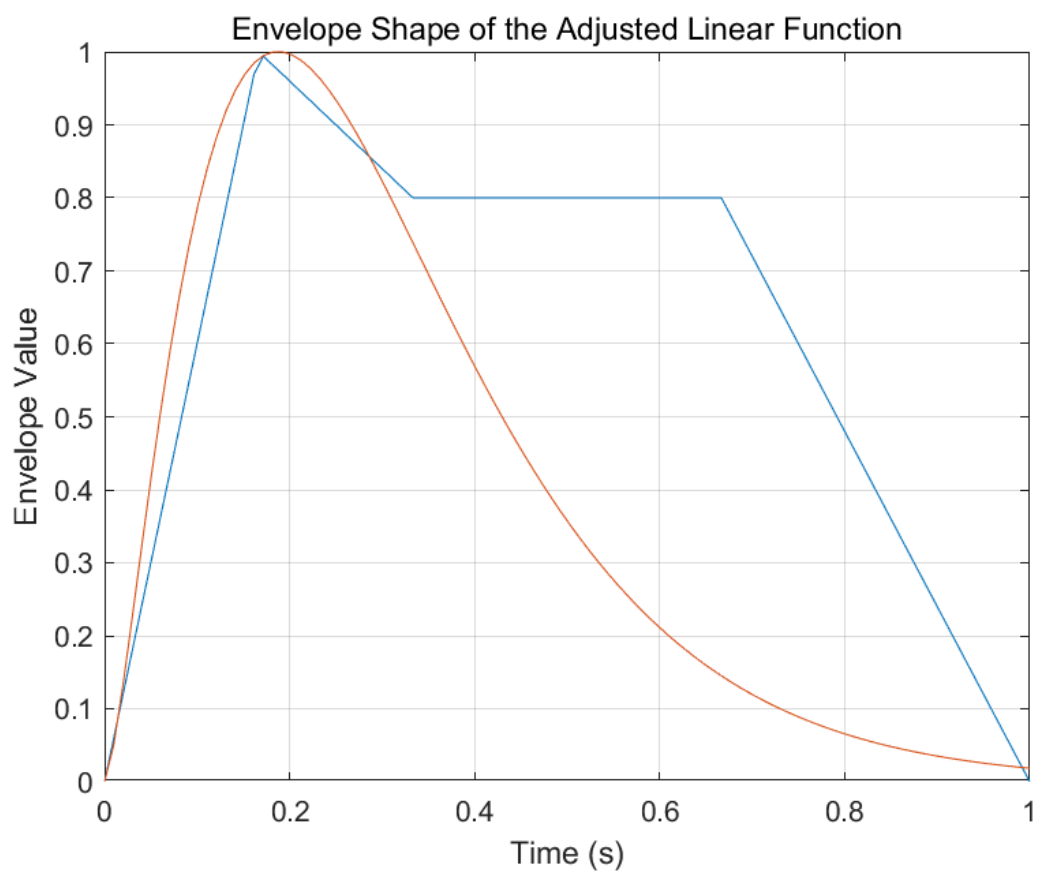
乐音波形图如下，可见各个音调幅度相同，均为1。



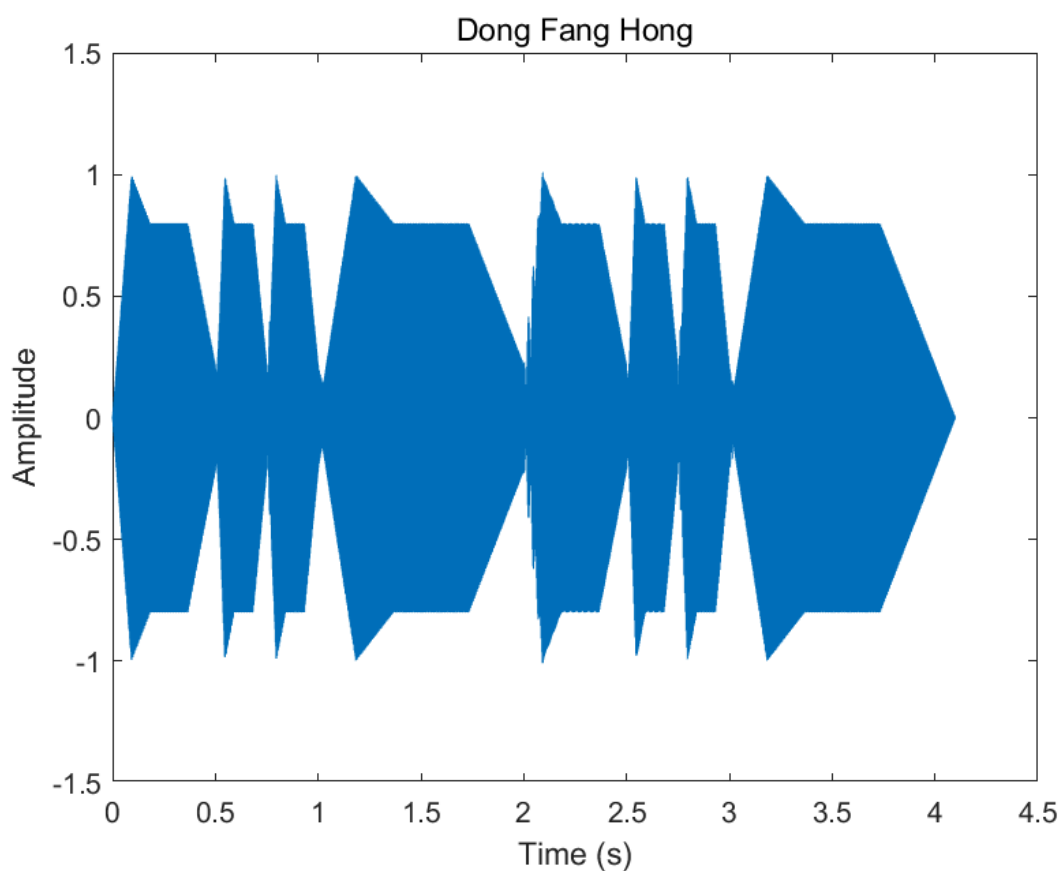
(2) 你一定注意到 (1) 的乐曲中相邻乐音之间有“啪”的杂声，这是由于相位不连续产生了高频分量。这种噪声严重影响合成音乐的质量，丧失真实感。为了消除它，我们可以用图 1.5 所示包络修正每个乐音，以保证在乐音的邻接处信号幅度为零。此外建议用指数衰减的包络来表示。

为了使不同音调之间有“迭接”，增强乐音的连续性，需要使用包络修正乐音的波形。

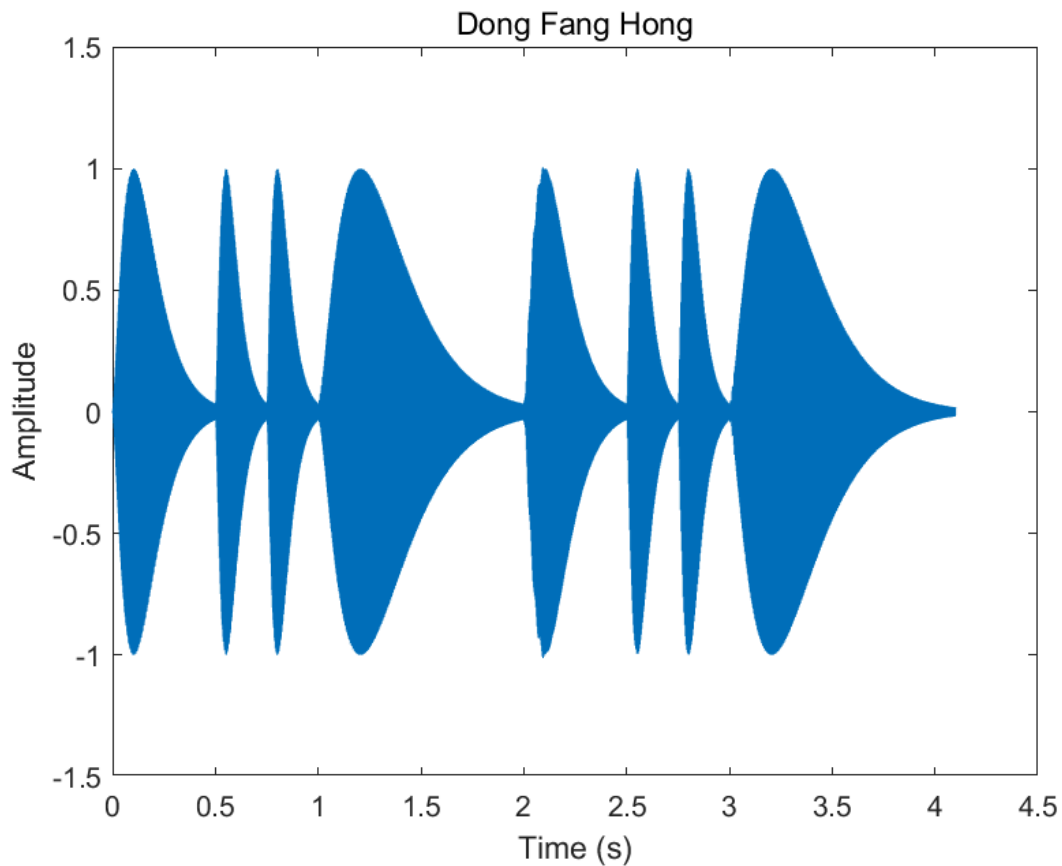
分别使用实验指导书中图 1.5 的分段折线包络和形式为 $t^A \exp(-Bt + C)$ 的指数衰减包络：



对于分段折线包络：



现在听起来比刚才好多了。然后再尝试用指数衰减包络：



可以发现效果更好了，不同音调之间的衔接明显更加顺滑。

生成的音频文件分别为 `exp2_1.wav`, `exp2_2.wav`。

(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）

升高一个八度：原乐音不变，采样频率变为原来的两倍。播放时间变为原来的一半。

降低一个八度：原乐音不变，采样频率变为原来的一半。播放时间变为原来的两倍。

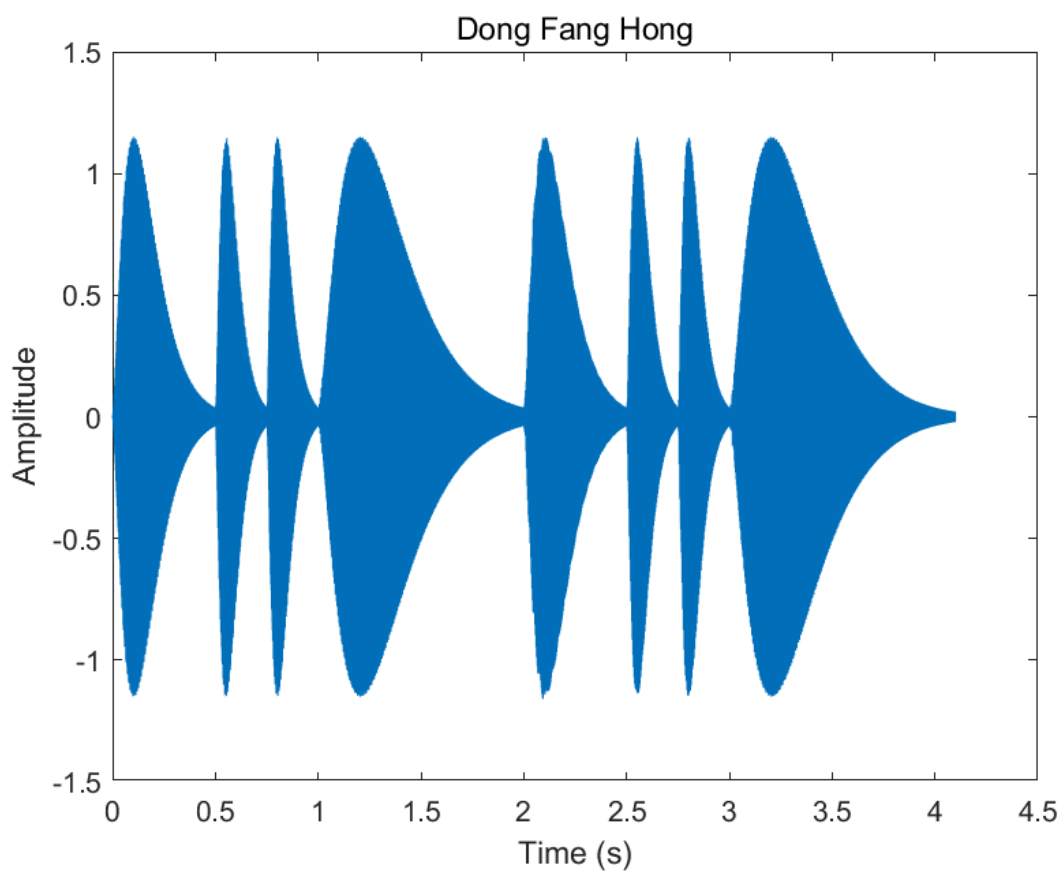
升高半个音阶：使用 `resample` 函数重新采样，采样率为原来的 $2^{1/12}$ 。

生成的音频文件分别为：`exp3_1.wav`, `exp3_2.wav`, `exp3_3.wav`。

(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？）

使用谐波分量矩阵 `harmonics = [1; 0.2; 0.3]`。高次谐波分量使得音色更加多样，加入谐波后确实更有“厚重感”，有些像风琴。

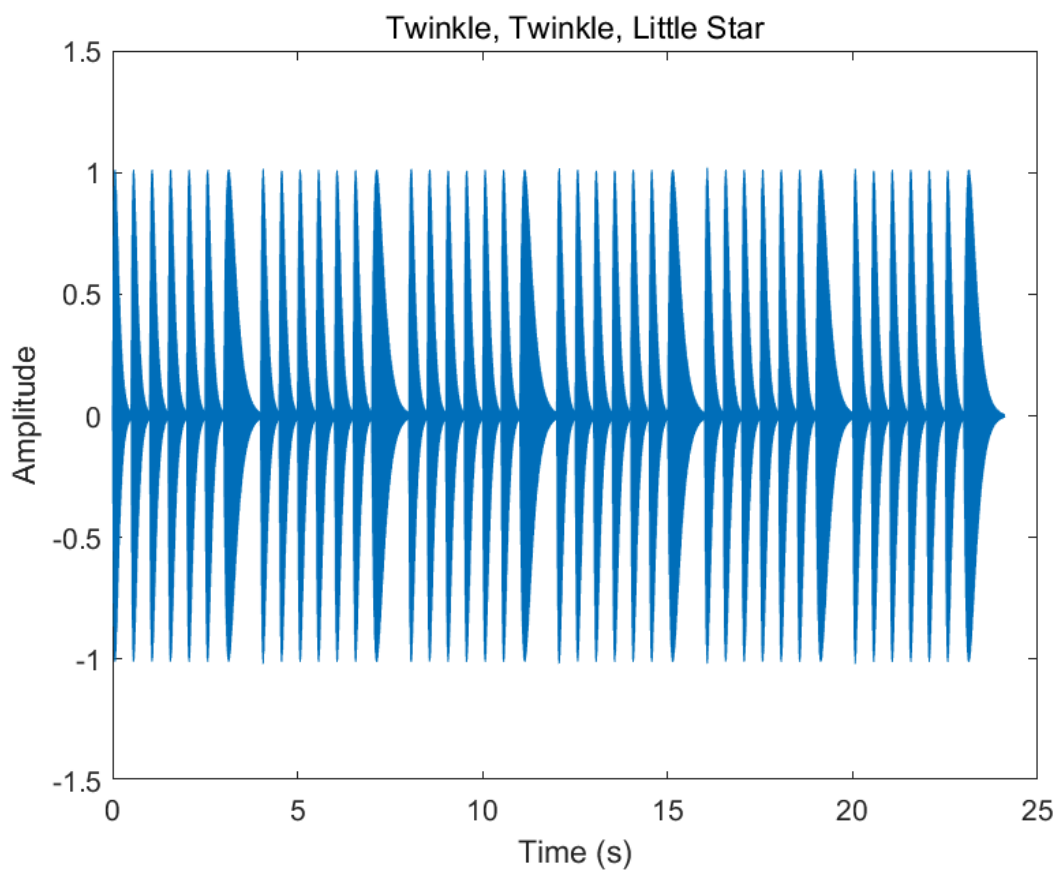
乐音波形如下：



生成的音频文件保存在 `exp4.wav` 中。

(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。

我选取的音乐是《小星星》，乐音波形如下：

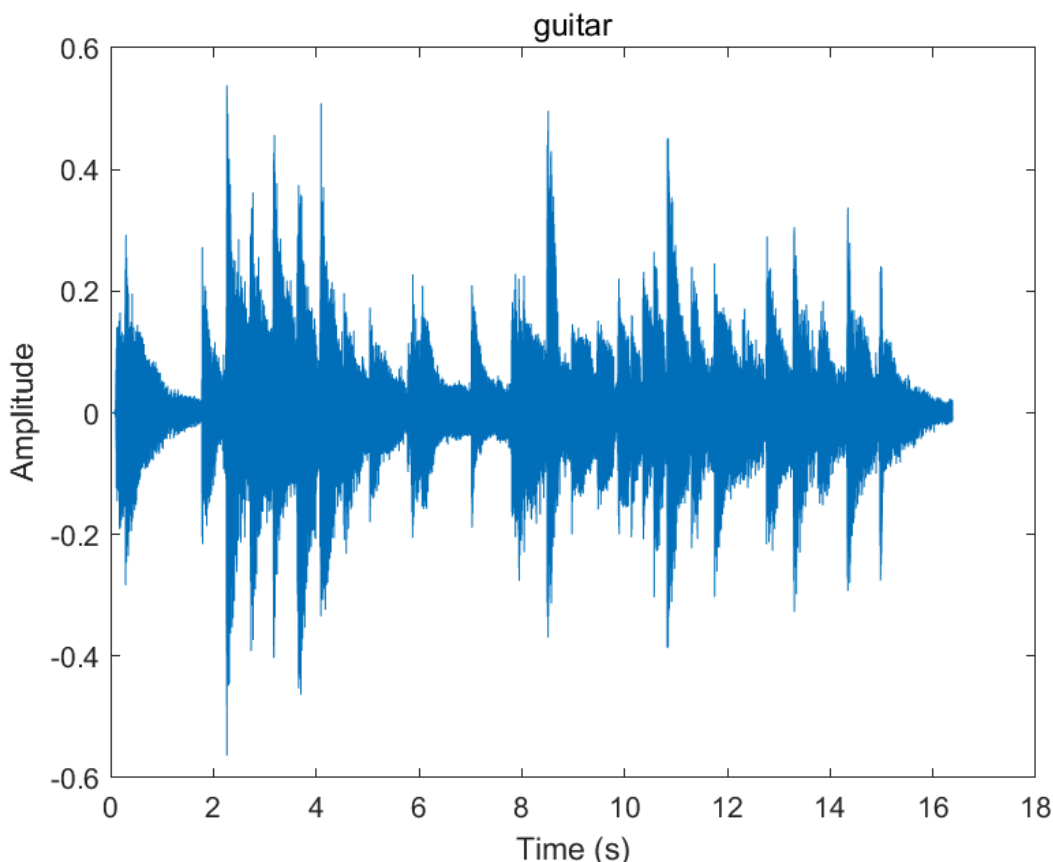


生成的音频文件保存在 `exp5.wav` 中。

用傅里叶级数分析音乐

(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？

播放出来的音乐像极了吉他音，非常真实。



从波形图也可以看出，真实的乐音幅度不一、各个音调之间看起来“杂乱无章”、谐波分量千变万化，较为符合真实世界的情况。

(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，对于正确分析音调是非常重要的。提示：从时域做，可以继续使用 `resample` 函数。

首先绘制出 `realwave` 和 `wave2proc`，可以发现该段乐音大致有 10 个周期，为了去除非线性谐波与噪声，可以采取分段累加求平均的方法：先将真实吉他音的采样率变为原来的 10 倍，这样每个周期内的采样点数与原来的相同。然后将这 10 段求平均（累加除 10），通过 `repmat` 扩展为 10 倍，再将采样率复原为 8KHz，得到处理过后的 `wave_proc`。

(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怎么提高频域的分辨率，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。

方法一：只对第一个周期内的波形做傅里叶变换。此时效果极差，很难基波和谐波分量。

方法二：对完整的波形（十个周期）做傅里叶变换。此时效果稍好，频谱呈现三角脉冲的形状。

方法三：对原波形使用 `repmat` 函数延拓 20 倍，然后做傅里叶变换。根据图像可知，频谱更加接近冲激函数，这是因为是时域波形周期性很强。

我们通过 `findpeaks` 函数找到频谱中出现的脉冲，也就是波形中包含的频率分量。取出最小的那个即为基波频率，剩下的是高次谐波。由于采样率固定为 8KHz，因此最高频率分量不超过 4KHz。

最终得到基波频率为 330.86 Hz，对应的乐音频率为 329.63 Hz。

（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 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。

首先划分节拍：先对信号取平方，得到能量，然后窗函数 `barthannwin` 做卷积，得到上述波形的包络。包络中冲激发生处是每个乐音的起始位置，由于发生冲激后衰减部分较“平缓”，不利于直接检测峰值，因此对该波形做差分，然后取正值，此时在图像中清晰可见各处峰值。再使用 `findpeaks` 函数，设定峰值的最小幅度、峰值之间的最小间隔。

划分好节拍后，对每一个节拍分析音调：采用同样的策略，先将片段周期性重复足够多次，做傅里叶变换得到频谱。由于该片段中频谱连续性太强，使用 `findpeaks` 函数寻找频率点误差太大，我们需要采取其他方法。为了找到基波频率，我们先在频谱中找到幅度最大的频点，以此最大值的 1/4 为阈值，向下筛选基波频率：当最大幅度频段接近该频率的整数倍时（相对误差在 0.5% 之间），我们将此频率定为基波频率。寻找高次谐波分量时，在基波频率的整数倍的左右范围内寻找幅度最大处，定位高次谐波的幅度。由此可以找到基波频率的各次谐波信息。最后我们找到所有音调的谐波信息，存储在一个谐波矩阵中。

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？

使用（7）中傅里叶变换得到的各次谐波的幅度数组，以基波频率幅度为基准归一化之后，加上各次谐波。此时播放出的声音并没有很像吉他音。

（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。

感想与收获