

信号与系统大作业

小白鲸找妈妈

王晗

(2013011076)

2015 年 7 月 5 日

1 单频信号模拟

1.1 读入 whalesong.wav 文件，听一听声音；绘制波形，解释波形和声音的关系

whalesong.wav 波形如下图所示：

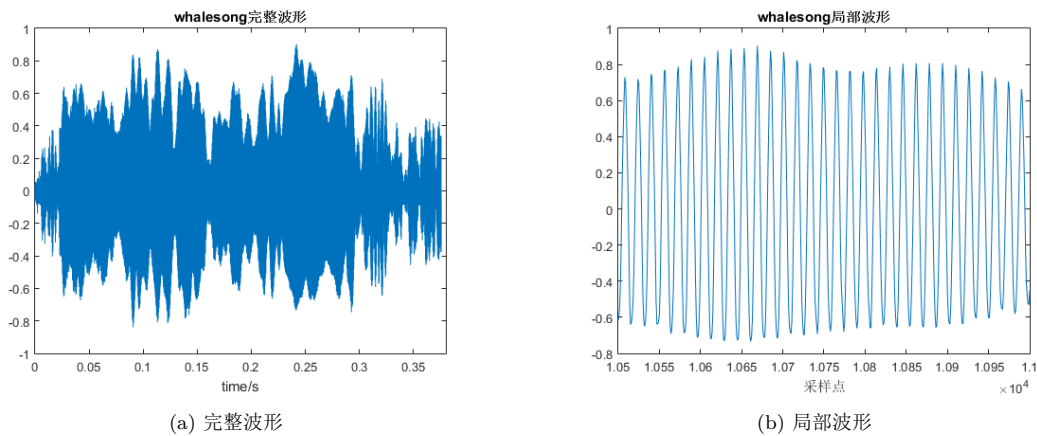


图 1: whalesong 波形

将波形和实际的音频进行比较，可以发现波形的振幅表示声音的响度，波形的振动频率表示声音的频率。

1.2 如果要用一个单频信号模拟上述声音，请计算该信号的频率

由局部波形图计算，采样点 $1.05 \times 10^4 \sim 1.095 \times 10^4$ 之间共有 28 个周期，采样频率 44.1kHz，故单频信号频率：

$$f = \frac{1}{\frac{(1.095-1.05) \times 10^4}{44.1 \times 10^4 \times 28}} Hz = 2744 Hz$$

1.3 由计算得到的频率合成一个单频信号，绘制波形，听听声音，解释和白鲸的歌声有何异同

合成音频波形如下图所示：

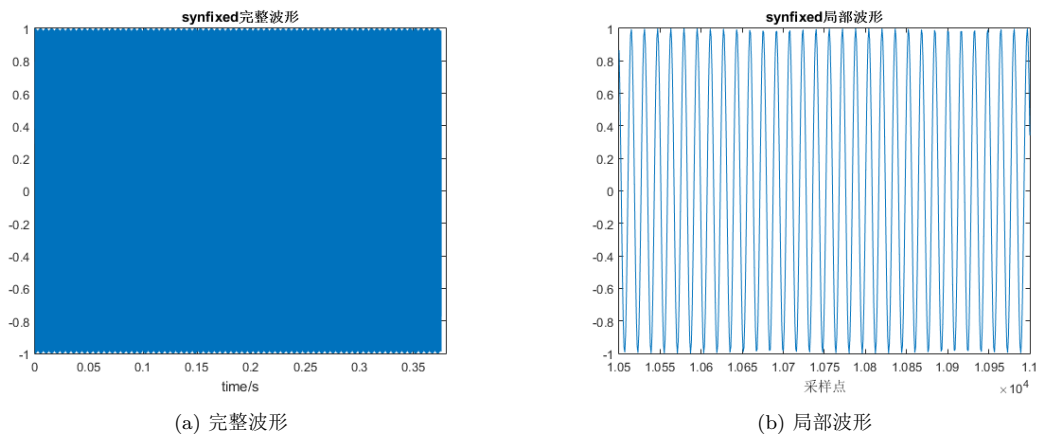


图 2: synfixed 波形

单频模拟出的声音和白鲸的叫声差别较大，单频信号听起来干涩、单薄、缺乏变化，而白鲸的歌声较为饱满、通透。

1.4 将上述单频信号保存为 synfixed.wav 文件

2 变频信号模拟

2.1 读入 whalesong.wav 文件，绘制时频图，解释其含义

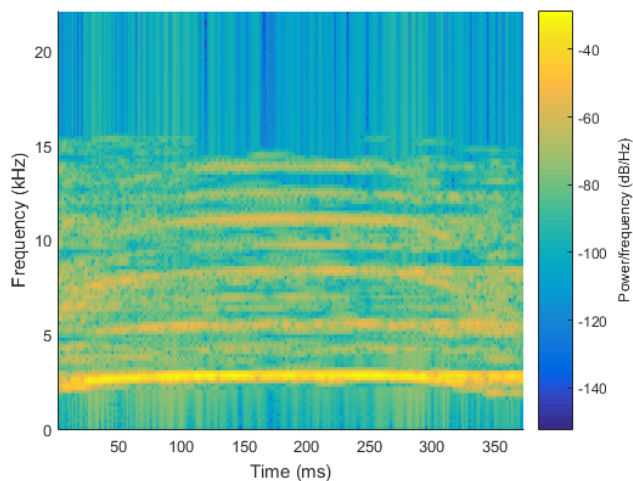


图 3: Matlab 绘制的 whalesong 时频图

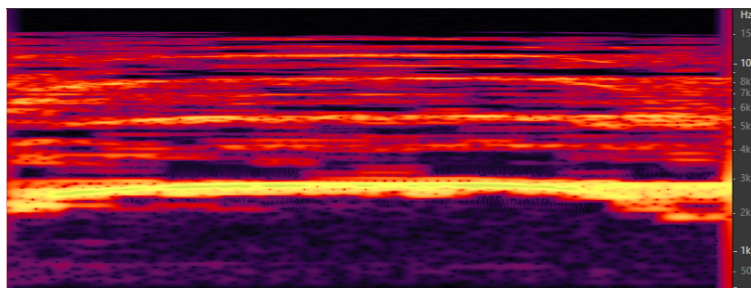


图 4: Audition 绘制的 whalesong 时频图

时频图中的颜色分布表示不同时间点上能量在频域的分布，颜色越亮的区域能量越高。上图表明白鲸叫声的能量在频域主要分布在若干个频率附近。

2.2 如果要用一个包络和频率都随时间变化的单频信号模拟上述声音，请描述该频率变化的特征

1~4000 采样点频率由 2.25kHz 线性增加至 2.8kHz，幅度由 0.2 线性增加至 1；12000~16572 采样点频率由 2.8kHz 线性降低至 1.94kHz，幅度由 1 线性降低至 0。

2.3 用上题结果合成一个变频信号，绘制波形和时频图，听听声音，解释和白鲸的歌声有何异同

合成音频波形如下图所示：

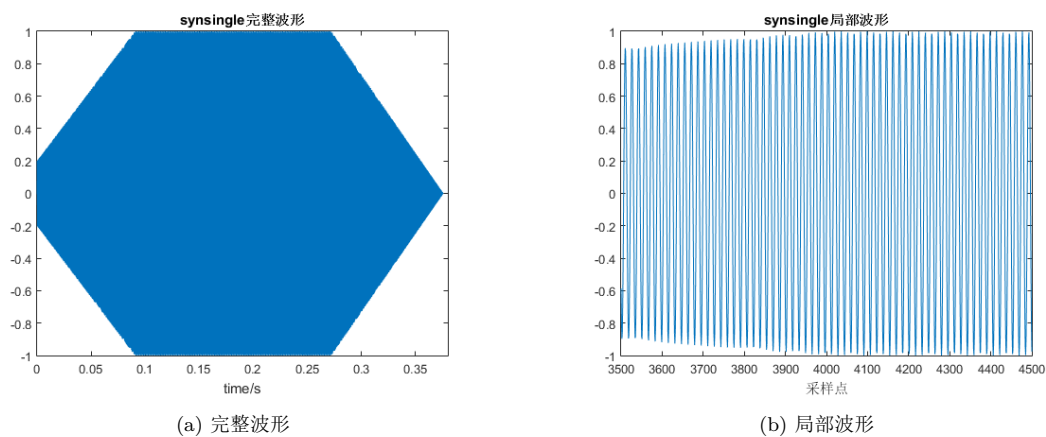


图 5: synsingle 波形

时频图：

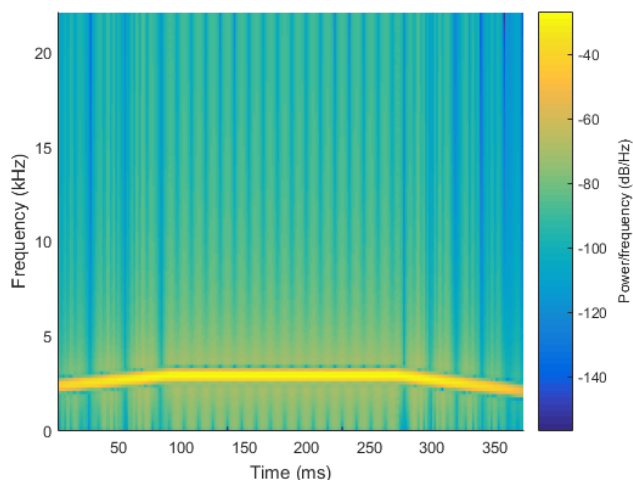


图 6: synsingle 时频图

现在合成的音频在响度、基频变化等方面已经比较接近白鲸的叫声了，但是由于缺少高频分量，声音显得单薄、苍白。

2.4 将上述变频信号保存为 synsingle.wav 文件

3 多变频信号模拟

3.1 认真观察 whalesong 的时频图，思考什么结构的合成信号能更好地模拟它

根据时频图中的能量分布，选取中心频率位于 10.875kHz、5.5kHz、8.19kHz 的三条谱线，作为高频谐波加入到合成的音频中。

3.2 如果允许用多个包络和频率都随时间变化的单频信号模拟白鲸歌声，请描述这些频率变化的特征

在上题 2.8kHz 基频的基础上加入下面的三个谐波分量：

10.875kHz 分量

12000 采样点以后频率由 10.875kHz 线性减小至 8.69kHz。

5.5kHz 分量

4000 采样点以前频率由 5.8kHz 线性较小至 5.5kHz，12000 采样点以后频率由 5.5kHz 线性减小至 4.88kHz。

8.19kHz 分量

4000 采样点以前频率由 6.25kHz 平方增加至 8.19kHz，12000 采样点以后频率由 8.19kHz 线性减小至 5.94kHz。

对基频和上述 3 个谐波分量，包络变化与第 2 题相同。当它们合成为一个音频时，振幅比例为 0.8、0.1、0.05、0.05。

3.3 用上题结果合成一个多变频信号，绘制波形和时频图，听听声音，解释和白鲸的歌声有何异同

合成音频波形如下图所示：

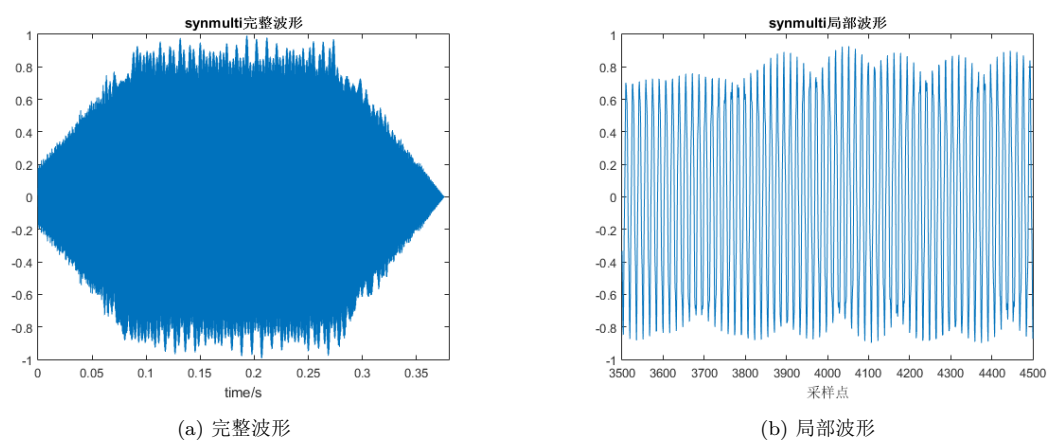


图 7: synmulti 波形

时频图：

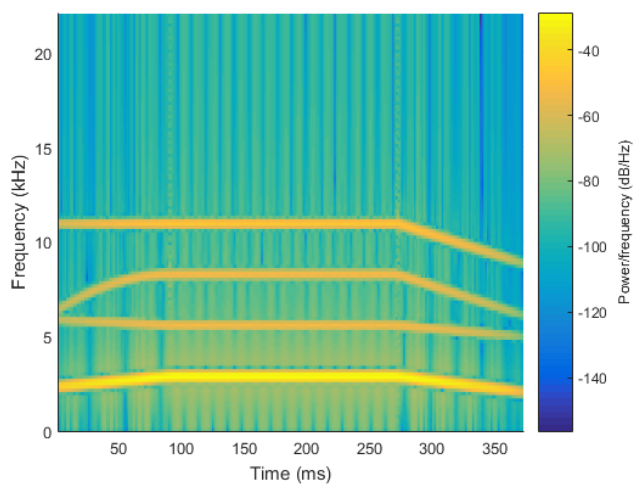


图 8: synmulti 时频图

现在合成的音频已经比较接近白鲸的叫声了。和白鲸的叫声相比，合成的音频听起来非常清晰，而原始音频带有混响，略有模糊感。

3.4 将上述单频信号保存为 synmulti.wav 文件

4 模拟混响效果

4.1 思考如何模拟混响效果

海洋馆中的小白鲸处于一个巨大的房间中，混响效果较为明显。在 Audition 的“卷积混响”设置中，“房间大小”应该较大。另外，白鲸叫声悦耳，因此混响设置中高频衰减较小，低频衰减较大。

4.2 使用 CoolEdit 处理上题的合成音，模拟混响效果，试听结果，并保存为 synmultireverb1.wav 文件

CoolEdit 被 Adobe 公司收购后更名为 Audition。这里使用 Audition CC 2014 对上题合成的音频进行处理。

根据前面的分析，混响参数设置如下：



图 9: Audition 混响设置

处理后的音频波形和时频图如下：

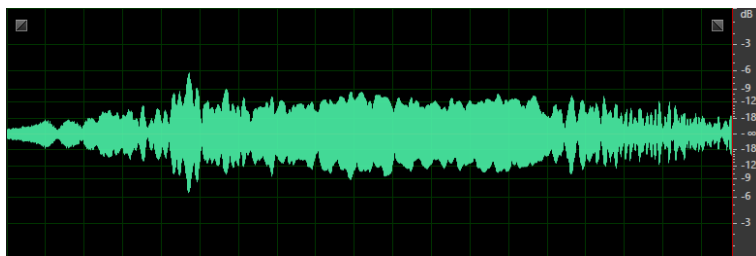


图 10: Audition 混响波形

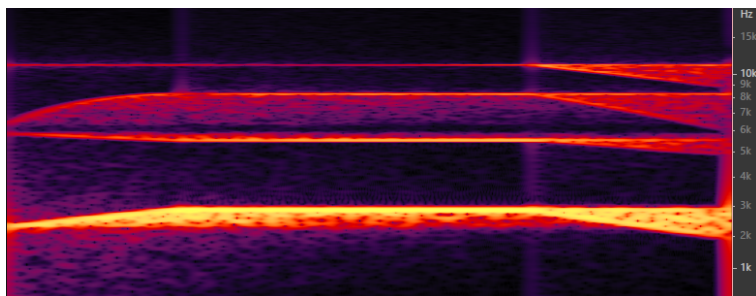


图 11: Audition 混响时频图

4.3 设计一个产生混响（产生回声）的滤波器，对上题的合成音进行处理，试听结果，并保存为 synmultireverb2.wav 文件

如下图所示， $g(0 < g < 1)$ 为反馈增益：

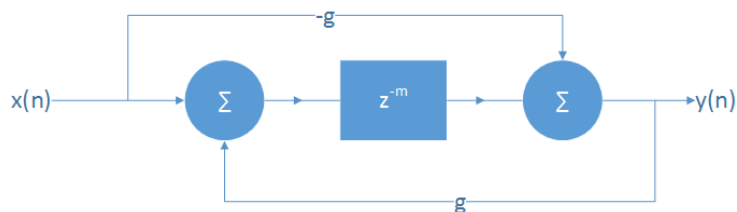


图 12: 全通滤波器混响模型

该系统的输入输出方程为：

$$y(n) = -gx(n) + x(n - m) + gy(n - m)$$

传递函数：

$$H(z) = \frac{z^{-m} - g}{1 - gz^{-m}}$$

由于 $|H(z)| = 1$ ，这是一个全通滤波器混响模型。

取 $m = 250, g = 0.8$ ，作用于上题合成的音频后，时频图如下图所示：

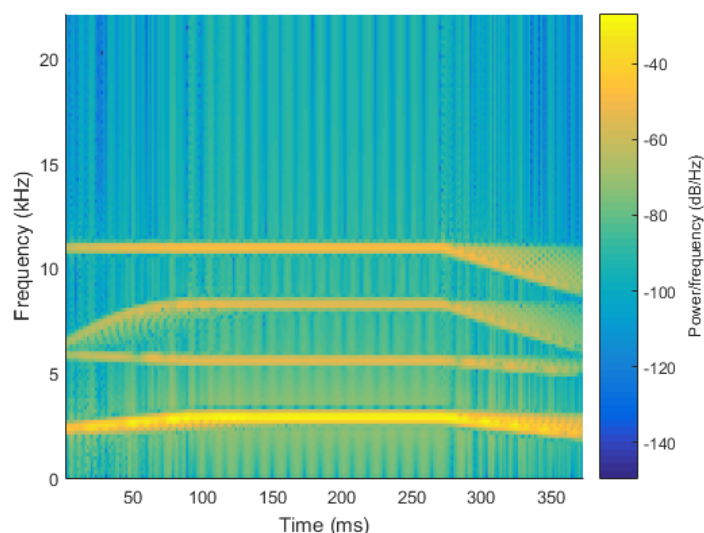


图 13: Matlab 混响时频图

通过时频图可以确认混响（回声）的存在，但是回声密度不高，混响效果不明显，实际听到音频也是如此。

4.4 解释混响后的多变频声音和白鲸的歌声有何异同

混响后的音频和白鲸的叫声非常相近，但是听起来没有原始音频明亮。这是因为合成音频的过程中，仅选取了能量分布较为集中的 3 个高频分量，忽略了其他高频分量。高频分量的缺失会使声音听起来略显低沉。

5 备注

5.1 变频信号的生成

Matlab 中的 `chirp` 函数可以生成线性、平方扫频信号。本文将信号频率分量的首末端近似看做频率线性或平方变化的变频信号，以起始频率、相位、终止频率为参数，用 `chirp` 函数产生。

和作业说明文档中不同，本文中的高频分量多出一条，且起始端频率按二次函数变化。

5.2 混响滤波器

全通滤波混响模型中回声密度较小，可以考虑通过级联增加回声密度。