

# 浙江大学

ZHEJIANG UNIVERSITY



## 《生物医学信号处理》 实验报告

姓名 \_\_\_\_\_

学号 \_\_\_\_\_

实验名称 声音信号的卷积处理

实验地点 玉泉创客中心

上交日期 郑婧、余馨琳

## 1 实验目的

- (1). 画出语音信号、音效信号的时域原始波形
- (2). 将语音信号和音效信号卷积，画出卷积后的信号波形
- (3). 结合主观听觉感受对上述卷积过程和结果进行分析

## 2 实验原理与注意事项

### 2.1 卷积

本实验的基本原理是离散时间卷积。设两离散信号为  $x[n]$  和  $h[n]$ ，则卷积输出为

$$y[n] = x[n] * h[n] = \sum_{k=-\infty}^{+\infty} x[k] h[n - k].$$

### 2.2 注意事项

在音频处理场景中， $h[n]$  常被视作系统的单位脉冲响应（如房间的混响脉冲响应、乐器或特效的响应），卷积可模拟线性时不变（LTI）系统对输入人声  $x[n]$  的作用，从而得到具有空间感或特效的输出  $y[n]$ 。

为便于实现与保证效果，需要注意以下要点：

- (1). 采样率必须一致。采样率不一致会导致时轴与频轴失配，引起严重失真（即“鬼畜”效果）。
- (2). 为避免削波与响度异常，要对  $h[n]$  做幅度归一化（如控制峰值或能量），必要时对输出  $y[n]$  做限幅或响度匹配，并可加入淡入/淡出以减少边界伪影。

## 3 主要仪器设备

计算机、MATLAB2025a 软件

## 4 操作方法与实验步骤

- (1). 录制一段清唱或语音的人声（尽量干净、少混响与噪声）；
- (2). 录制或准备一段音效素材（可为自然采集的脉冲响应，如敲桌子、拍掌等，和自行设计的卷积核）；

- (3). 使用 MATLAB (或 Python) 读取并绘制音频的时域波形;
- (4). 对两段音频进行卷积, 得到卷积后的文件, 并绘制结果波形和/或频谱图。

## 4.1 准备清唱人声

经过小组讨论, 我们最终决定从网络资源来寻找清唱人声, 通过小组投票决定, 选择孙燕姿的遇见作为清唱人声文件, 将音频文件保存为“遇见.mp3”。

## 4.2 程序设计的卷积核

我在 AI 的辅助下, 设计了如下的纯脉冲回声卷积核, MATLAB 代码如下:

```
1 % 生成纯脉冲回声卷积核
2 Fs = 44100; % 采样率, 与主音频保持一致
3 duration = 2; % 卷积核长度 (秒)
4 N = Fs * duration;
5 % 初始化卷积核
6 kernel = zeros(1, N);
7 % 主脉冲 (时间0)
8 kernel(1) = 1.0; % 振幅
9 % 回声设置 (延迟 + 衰减)
10 echoDelays = [0.02, 0.04, 0.06, 0.08, 0.1]; % 秒
11 echoAmps = [0.5, 0.25, 0.12, 0.06, 0.03]; % 衰减系数
12 for i = 1:length(echoDelays)
13     idx = round(echoDelays(i) * Fs);
14     kernel(idx) = echoAmps(i);
15 end
16 % 保存为 wav 文件
17 audiowrite('PulseEchoKernel.wav', kernel, Fs);
18 % 绘制卷积核波形
19 t = (0:N-1) / Fs; % 时间轴 (秒)
20 figure;
21 stem(t, kernel, 'filled');
22 xlabel('时间 (秒)');
23 ylabel('幅度');
24 title('纯脉冲回声卷积核波形');
25 grid on;
26 disp('纯脉冲回声卷积核生成完成: PulseEchoKernel.wav');
```

### 4.3 自然采集卷积核

我选择了在图书馆鼓掌来自然采集卷积核，直接沿用了老师上传文件中的“t4.m4a”

### 4.4 使用 matlab 对两段音频卷积

分别将卷积核音频文件替换为程序设计的卷积核和自然采集的卷积核，观察输出结果。

```
1 %% 音频卷积实验：清唱与音效
2 clc; clear; close all;
3 clean_vocal_file = '遇见.mp3';
4 clapping_effect_file = 't4.m4a';
5 output_file = 'lab2.wav';
6 try
7     % 读取清唱文件 (x)
8     [x, Fs_x] = audioread(clean_vocal_file);
9
10    % 读取音效文件 (h)
11    [h, Fs_h] = audioread(clapping_effect_file);
12 catch ME
13     error(['文件读取失败：请确保文件 "' clean_vocal_file '" 和 "'
14           clapping_effect_file ...
15           "' 存在于当前MATLAB路径中，并且您的MATLAB安装支持MP3格式（需要Audio
16           Toolbox）。']);
17 end
18 % 卷积要求两个信号的采样率必须一致。
19 if Fs_x ~= Fs_h
20     fprintf('警告：原始采样率不一致（清唱：%d Hz，鼓掌：%d Hz）。\n', Fs_x, Fs_h);
21
22    % 以清唱的采样率为主，对鼓掌音效进行重采样
23    Fs = Fs_x;
24    h = resample(h, Fs, Fs_h);
25 else
26    Fs = Fs_x;
27 end
28 % 取一个通道进行卷积
29 if size(x, 2) > 1
30     x = x(:, 1);
31 end
32 if size(h, 2) > 1
```

```
31     h = h(:, 1);
32 end
33 disp(['开始执行卷积操作... (清唱长度: ', num2str(length(x)), ...
34       ', 音效长度: ', num2str(length(h)), ')']);
35 % 使用内置的 conv 函数计算卷积
36 y = conv(x, h);
37 disp('卷积完成。');
38 % 为了避免削波 (Clipping), 需要将信号幅度归一化。
39 y = y / max(abs(y));
40 % 写入新的音频文件
41 audiowrite(output_file, y, Fs);
42 disp(['结果已保存到文件: ', output_file]);
43 % 绘制波形图
44 t_x = (0:length(x)-1)/Fs;
45 t_h = (0:length(h)-1)/Fs;
46 t_y = (0:length(y)-1)/Fs; % 卷积后的时间长度会增加
47 figure;
48 subplot(3, 1, 1);
49 plot(t_x, x);
50 title('原始清唱波形 (x)');
51 xlabel('时间 (s)');
52 subplot(3, 1, 2);
53 plot(t_h, h);
54 title('原始音效波形t4 (h)');
55 xlabel('时间 (s)');
56 subplot(3, 1, 3);
57 plot(t_y, y);
58 title('卷积后的声音波形 (x * h)');
59 xlabel('时间 (s)');
60 disp('正在播放卷积后的声音... (注意音量)');
61 sound(y, Fs);
```

## 5 实验结果和分析

### 5.1 自行设计的卷积核

程序生成的纯脉冲回声卷积核如图所示。

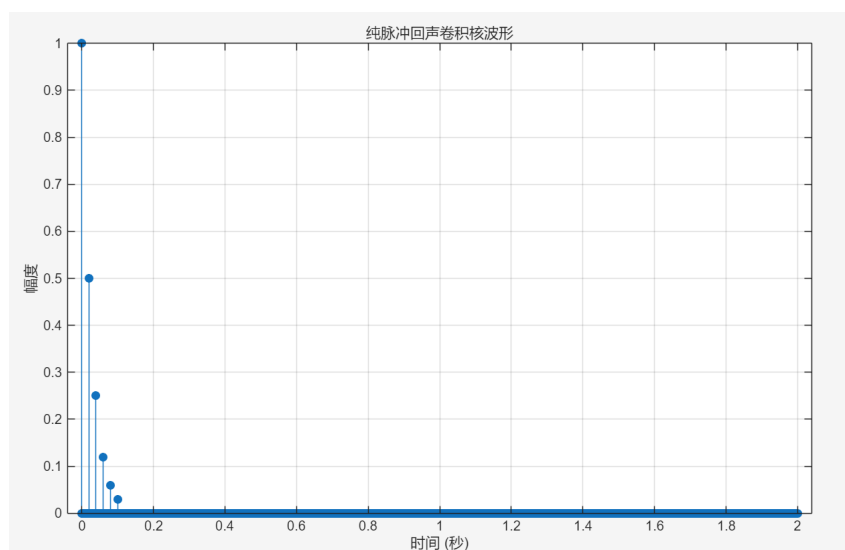


图 1: 纯脉冲回声卷积核

## 5.2 卷积核卷积结果

自行设计的卷积核和遇见清唱人声的卷积结果如下，声音文件都已一起上传至学在浙大。

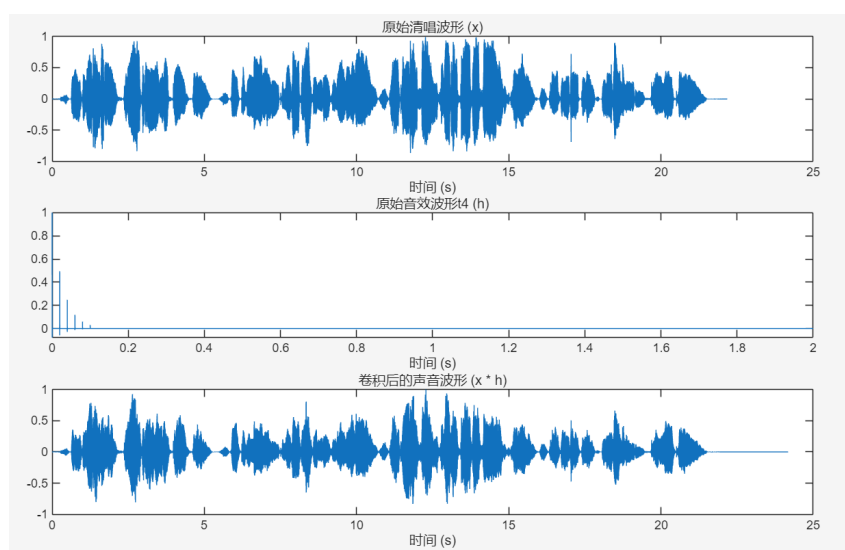


图 2: 程序实现的卷积核卷积结果

采用程序生成的脉冲回声卷积核对原始清唱音频进行卷积处理时，从波形图可以看出，该卷积核由几个离散脉冲组成，衰减规律且较快，因此卷积后的音频整体波形结构与原始清唱相似，仅在特定时间节点上出现有规律的回声峰值。主观听感上，该处理方式增加了轻微且均匀的回声效果，声音保持较高的清晰度，没有明显的音色改变，仅在句尾部分形成可辨识的重复尾声。

自然采集的鼓掌卷积核和遇见清唱人声的卷积结果如下，声音文件都已一起上传至学在浙大。

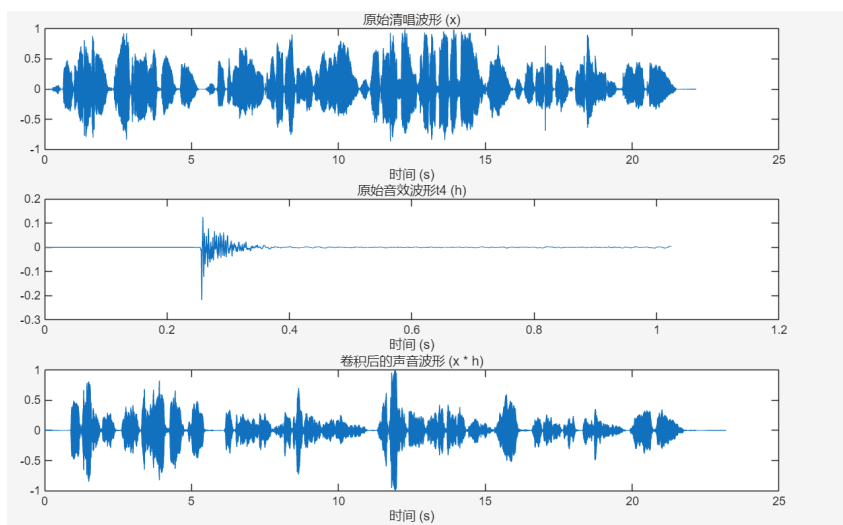


图 3: 自然采集的鼓掌卷积核卷积结果

卷积核来自自然采集鼓掌的音效信号时，时域图显示该卷积核包含一个主脉冲，与之后的复杂高频波形和较长的衰减尾部。卷积后的音频在部分片段中出现明显的持续峰值，整体波形比原始清唱更加密集且能量分布不均。主观听感上，这种处理显著改变了声音质感，不仅增加了空间混响效果，使声音低沉程度增强，声音层次更复杂。

综合来看，程序生成的卷积核能提供可控且干净的回声效果，适用于需要保持原声清晰度的场景；而自然采集的卷积核包含了更多混响效果，适用于需要模拟真实空间或物体声学特性的场景，但在使用时需要适当控制幅度，以防止音频失真或音色变化过大。

## 6 心得与讨论

这是一次非常有趣且具有启发性的实验。通过对音频文件进行卷积处理，不仅让我直观地感受到了信号卷积在时域上的效果，也让我进一步理解了卷积在声音处理、空间效果模拟等方面的意义。在实验过程中，我分别尝试了程序生成的脉冲回声卷积核和自然采集的卷积核，两种方式在波形和听感上都呈现出截然不同的效果，前者回声规则且可控，后者空间感更强但同时改变了音色。这种明显的差异让我意识到卷积核的设计与选择对音频最终呈现效果的重要性。

此外，实验让我更加熟悉了 MATLAB 的音频处理工具与绘图函数，包括音频读写、波形绘制以及卷积函数的使用。在不断调试参数和观察波形的过程中，我体会到理论知识与实际操作之间的紧密联系，也认识到通过可视化手段分析信号特性，能够帮助我们更好地理解和优化处理方法。这不仅提高了我的信号处理能力，也让我对声音的空间呈现与艺术化加工有了更浓厚的兴趣。