

实验四 音频信号的数字化处理实现

一. 实验目的

- 1、增强对信号数字化处理的理解。
- 2、巩固 IIR、FIR 数字滤波器的滤波实现方法
- 3、掌握利用 MATLAB 完成音频信号数字滤波的基本方法。
- 4、体验并感受音频信号数字化处理前后的差异。

二. 理论依据

(一) 数字化滤波

单位脉冲响应为 $h(n)$ 的线性时不变离散时间系统,其输入与输出的关系可表述如下:

$$y(n) = x(n) * h(n) \quad (1)$$

由于 FIR 数字滤波器的单位脉冲响应为有限长度,当输入信号长度也为有限长是, FIR 数字滤波器可以采用上述关系式直接实现滤波。

对于 IIR 数字滤波器,由于其单位脉冲响应 $h(n)$ 是无限长,因此需要从频域入手,假如 $x(n)$ 、 $h(n)$ 的傅里叶变换存在,则有输入、输出的频域关系:

$$Y(e^{j\omega}) = X(e^{j\omega})H(e^{j\omega}) \quad (2)$$

然后通过傅里叶反变换即可得到滤波结果。实际实现过程中,傅里叶变换一般是通过快速离散傅里叶变换来实现,而快速离散傅里叶变换是傅里叶变换的有限点的采样值,即是有限长序列。因此只要采样点数大于序列长度,就可以有效避免混叠失真。

IIR 线性时不变系统的系统函数为:

$$H(z) = \frac{\sum_{k=0}^M a_k z^{-k}}{1 - \sum_{k=1}^N b_k z^{-k}}$$

对应的常系数线性差分方程为:

$$y(n) = \sum_{k=1}^N b_k y(n-k) + \sum_{k=0}^M a_k x(n-k) \quad (3)$$

一般处理的信号都是从 0 时刻开始取值的有限长序列,因此 IIR 数字滤波器采用差分方程实现滤波时,起始部分的样点值无法实现滤波处理,通常采用的处理方

式为让输出起始部分的值为 0。

FIR 线性时不变系统的系统函数为：

$$H(z) = \sum_{k=0}^M a_k z^{-k}$$

因此对应的常系数线性差分方程为：

$$y(n) = \sum_{k=0}^M a_k x(n-k) \quad (4)$$

由于 FIR 数字滤波器的单位脉冲响应 $h(n)$ 为有限长度，因此可以利用关系式(1)、(2)实现滤波处理，也可以利用如关系式(4)的差分方程，采用快速傅里叶变换得到滤波的快速算法。

(二) 音频数字化处理

(1) 简易回音效果实现

回音，是一种效果，是声波传播后遇到障碍物反弹回来的声音。Echo 跟 Delay 效果很类似，不同处在于 Echo 的音质会受到反弹物(如墙壁)材质、距离的影响；而 Delay 效果则纯粹将原音再拷贝，不影响音质。

假如音源为 $x(n)$ ，简易回音效果实现输出 $y(n) = x(n) + ax(n - n_{delay})$ 。 a 为衰减系数， n_{delay} 为延时长度。

(2) 立体声效果构造

立体声能给听众以方位感和深度感，大大提高了听觉效果和声音品质。为了实现立体声效果，录制时通常需要多个摆放在不同位置的麦克风，播放时也需要两只或两只以上的扬声器。当只利用一个麦克风进行声音录制时，只能得到单声道音频，即便使用两只或两只以上的扬声器播放，也只能得到“平面化”的声音，而不会形成空间声像。利用人的空间听觉特性，如耳间声级差（Interaural Level Difference）、耳间时间差（Interaural Time Difference）和耳间相关性对空间声像定位，可以按照预期的听觉效果通过对多个声道信号进行相应处理，在听觉上形成空间感。对多声道信号进行的处理包括：扬声器排列法、分频法、移相法、延迟法等。

简易立体声效果的实现方式是将单声道音频转换为双声道音频， $x(n) = [x_{左}(n), x_{右}(n)]$ ，并通过周期性地、交替地对两个声道上的声音利用时变增益系

数 $G(n)$ ，进行衰减和增强的方式，即可在感官上造成声源远离听者的一侧而运动到另一侧的感觉，从而形成声音方位感变化的立体声效果 $y(n) = G(n) \cdot x(n)$ 。

三. 实验内容

①、对给定的 dspx1.wav 文件，利用 audioread 函数读取音频信号数据流及采样频率信息，绘制出音频信号的时域波形（横坐标单位为“秒”）及幅频图（纵坐标归一化，横坐标范围 0~8000Hz）。

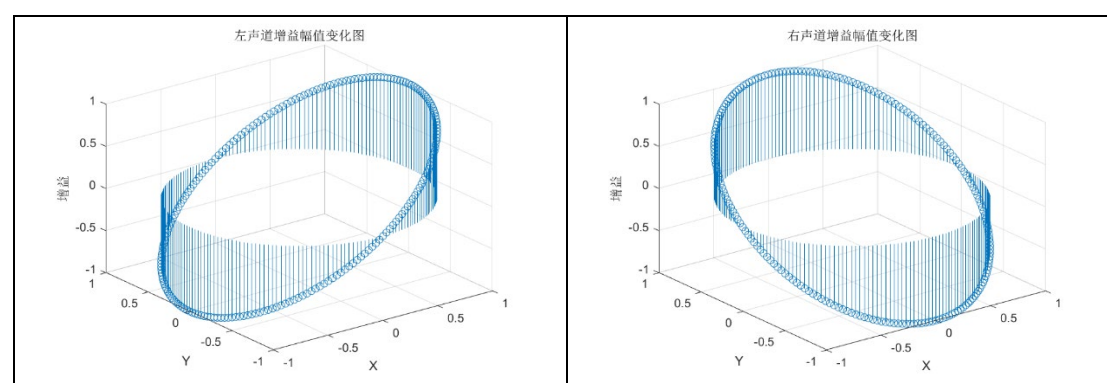
②、假定正弦噪声信号 $Nt(t) = A\cos(2\pi ft)$ ， $f = 4kHz$ ， $A = 0.02$ 。以 dspx1.wav 的采样频率将噪声信号数字化并混入音频信号之中，得到加噪后的音频。请分别使用巴特沃兹滤波器、椭圆滤波器，设计出 IIR 数字滤波器，对音频进行去噪声处理。

要求：设计的数字滤波器通带最大衰减 δ_p 不大于 3dB，阻带最小衰减 δ_s 不低于 40dB。注明所设计的滤波器类型（带通、带阻、低通）、以及设计的通带截止频率和阻带起始频率。绘制出加噪信号时域波形及幅频图、滤波器幅频特性曲线、以及去噪后的时域波形及幅频图进行对比。并利用 sound 函数播放去噪后的音频，体会数字滤波效果。

③、选取符合要求的窗函数法设计一个 FIR 滤波器，完成实验内容②。绘制 FIR 滤波器幅频特性曲线、以及去噪后的时域波形及幅频图。

④、对 dspx1.wav 音频文件实现简易回音效果，要求 $n_{delay} \geq 10000$ 个采样点。

⑤、生成单一频率的正弦信号 $x(t) = A\sin(2\pi ft)$ ，幅度 $A = 1$ ， $f = 800Hz$ ，采样频率 $F_s = 10 \times f$ ，持续时长为 5 秒。左声道时变增益系数 $G_{左}(n)$ 和右声道时变增益系数 $G_{右}(n)$ 在一个圆周内的幅度变化效果如下图所示，



增益变化频率设置为 0.1Hz ，根据以上条件实现听者能感觉到声源在围绕自己进行圆周转动的效果。绘制出左、右声道的时域波形图。

四. 实验要求

- 1、 按照实验内容编写 MATLAB 程序，给出运行结果（图），并进行分析讨论。
- 2、 撰写数字信号处理实验课程的总结，内容不限，应包含心得体会、对实验内容的意见建议等方面。
- 3、 按时提交实验报告。