

基于 MATLAB 的音频信号滤波处理设计

作者/冉刚, 中煤科工集团重庆研究院有限公司

摘要: 本论文主要介绍的是音频信号的滤波处理。本论文运用数字信号学基本原理实现音频信号的处理, 在 Matlab8.0 环境下综合运用信号提取, 幅频变换以及傅里叶变换、滤波等技术来进行音频信号处理。

关键词: 音频信号; 滤波; Matlab

DOI:10.16589/j.cnki.cn11-3571/tn.2017.09.030

前言

音频是语言的声学表现, 是人类交流信息最自然、最有效、最方便的手段。随着社会文化的进步和科学技术的发展, 人类开始进入了信息化时代, 用现代手段研究音频处理技术, 使人们能更加有效地产生、传输、存储、和获取音频信息, 这对于促进社会的发展具有十分重要的意义, 因此, 音频信号处理正越来越受到人们的关注和广泛的研究。

1. 音频信号处理的系统基本要求

本文是用 Matlab 对含噪的音频信号同时在时域和频域进行滤波处理和分析, 在 Matlab 应用软件下设计一个简单易用的图形用户界面 (GUI), 来解决一般应用条件下的各种音频信号的处理。

采样频率与定理: 采样频率是指计算机每秒钟采集多少个声音样本, 是描述声音文件的音质、音调, 衡量声卡、声音文件的质量标准。采样频率越高, 即采样的间隔时间越短, 则在单位时间内计算机得到的声音样本数据就越多, 对声音波形的表示也越精确。采样频率与声音频率之间有一定的关系, 根据奈奎斯特理论, 只有采样频率高于声音信号最高频率的两倍时, 才能把数字信号表示的声音还原成为原来的声音。

在进行模拟 / 数字信号的转换过程中, 当采样频率 $f_{s_{max}}$ 大于信号中, 最高频率 f_{max} 的 2 倍时, 即: $f_{s_{max}} > 2f_{max}$, 则采样之后的数字信号完整地保留了原始信号中的信息, 一般实际应用中保证采样频率为信号最高频率的 5 ~ 10 倍; 采样定理又称奈奎斯特定理。

采样位数: 采样位数即采样值或取样值, 用来衡量声音波动变化的参数, 是指声卡在采集和播放声音文件时所使用数字声音信号的二进制位数。采样频率是指录音设备在一秒钟内对声音信号的采样次数, 采样频率越高声音的还原就越真实越自然。

采样位数和采样率对于音频接口来说是最为重要的两个指标, 也是选择音频接口的两个重要标准。无论采样频率如何, 理论上来说采样的位数决定了音频数据最大的力度范围。每增加一个采样位数相当于力度范围增加了 6dB。采样位数越多则捕捉到的信号越精确。

2. 系统框架及实现

2.1 音频信号的采集

使用录音软件录取一段录音, 并将其保存在电脑中。

2.2 音频信号的处理

音频信号的处理主要包括信号的提取、信号的调整、信号的加噪和滤波等。

(1) 音频信号的时域分析

音频信号是一种非平稳的时变信号, 它携带着各种信息。在音频编码、音频合成、音频识别和音频增强等音频处理中无一例外需要提取音频中包含的各种信息。音频信号分析的目的就在与方便有效的提取并表示音频信号所携带的信息。音频信号分析可以分为时域和变换域等处理方法, 其中时域分析是最简单的方法, 直接对音频信号的时域波形进行分析, 提取的特征参数主要有音频的短时能量, 短时平均过零率, 短时自相关函数等。

①提取: 通过录音软件录取一段音频信号, 完成音频信号的频率、幅度等信息的提取, 并得到该音频信号的波形图。

②调整: 在设计的用户图形界面下对输入的音频信号进行各种变化, 如变化幅度、改变频率等操作, 以实现音频信号的调整。

(2) 音频信号的频域分析

信号的傅立叶表示在信号的分析与处理中起着重要的作用。因为对于线性系统来说, 可以很方便地确定其对正弦或复指数和的响应, 所以傅立叶分析方法能完善地解决许多信号分析和处理问题。另外, 傅立叶表示使信号的某些特性变得更明显。

由于音频信号是随着时间变化的, 通常认为, 音频是一个受准周期脉冲或随机噪声源激励的线性系统的输出。输出频谱是声道系统频率响应与激励源频谱的乘积。声道系统的频率响应及激励源都是随时间变化的, 因此一般标准的傅立叶表示虽然适用于周期及平稳随机信号的表示, 但不能直接用于音频信号。由于音频信号可以认为在短时间内, 近似不变, 因而可以采用短时分析法。

①变换: 在用户图形界面下对采集的音频信号进行 Fourier 等变换, 并画出变换前后的频谱图和变换后的倒谱图。

②滤波: 滤除音频信号中的噪音部分, 可采用低通滤波、

高通滤波、带通滤波和带阻滤波,并比较各种滤波后的效果。

■ 2.3 音频信号的效果显示

通过用户图形界面的输出功能,将滤波后的信号的音频进行播放,试听处理后的效果以及把滤波后的信号与原信号频谱图作对比。

3. 系统初步流程图

图1列出了整个音频信号处理系统的工作流程。其中信号加噪有随机加噪、正弦加噪、高斯加噪、已知加噪的方式,如图2所示。在图1~图3中,可以看到整个音频信号处理系统的流程大概分为三步,首先要读入待处理的音频信号,然后进行音频信号的处理,包括信息的提取、幅度和频率的变换以及音频信号的傅里叶变换、滤波等;滤波又包括低通滤波、高通滤波、带通滤波和带阻滤波等方式,在设计的过程中,我们单一的采用某一种滤波器,处理后的效果十分不理想,因此我们采用了a自适应滤波器:就是利用前一时刻已经获得的滤波器参数等结果,自动地调节现时刻的滤波器的参数,以适应信号和噪声未知的或随机变化的统计特性,从而实现最优滤波。b谱减法滤波:信号进行处理后的效果显示。

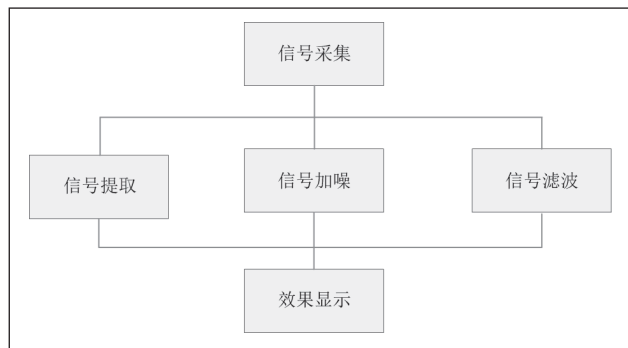


图1 音频信号处理系统的工作流程

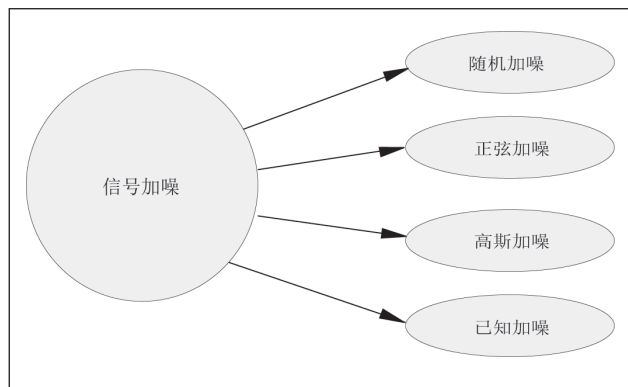


图2

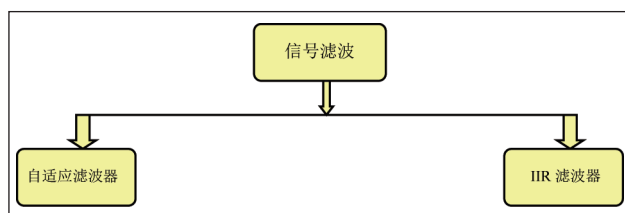


图3 音频信号滤波的方式

4. 音频信号处理基本知识

■ 4.1 音频的录入与打开

在 MATLAB 中, $[y, fs, bits] = \text{wavread}('bluesky31.wav')$; 用于读取音频, 采样值放在向量 y 中, fs 表示采样频率 (Hz), $bits$ 表示采样位数。

$\text{weavread}(x, fs,)$; 用于对声音的回放。

■ 4.2 时域信号的 FFT 分析

FFT 即为快速傅氏变换, 是离散傅氏变换的快速算法, 函数 FFT 用于序列快速傅立叶变换, 其调用格式为 $y = \text{fft}(x)$, 其中, x 是序列, y 是序列的 FFT。

■ 4.3 数字滤波器设计原理

本文采用两种滤波器, IIR 滤波器和自适应滤波器。

(1) IIR 滤波器

IIR 数字滤波器的设计借助模拟滤波器原型, 再将模拟滤波器转换成数字滤波器, 这些过程已经成为一整套成熟的设计程序。模拟滤波器的设计已经有了一套相当成熟的方法, 它不但有完整的公式, 而且还有较为完整的图表查询, 因此, 充分利用这些已有的资源将会给数字滤波器的设计带来很大的方便。

模拟滤波器的选择: 巴特沃思滤波器是根据幅频特性在通带内具有最平坦特性而定义的滤波器, 对一个 N 阶低通滤波器来说, 所谓最平坦特性就是模拟函数的前 $(2N-1)$ 阶导数在处都为零。BW 滤波器的另一个特性是在通带和阻带内的幅频特性始终是频率的单调下降函数, 且其模拟函数随阶次 N 的增大而更接近于理想低通滤波器。结合音频信号的频谱图分析。故采用巴特沃思低通滤波器。

变换方法的选择: 由于使用脉冲响应不变法的主要缺点是会产生频谱混叠现象, 使数字滤波器的频响偏离模拟滤波器的频响特性。为了克服之一缺点, 采用双线性变换法。

(2) 自适应滤波器 (LMS 滤波器)

图4是一个通用的自适应滤波器的原理方框图, 它的冲激响应为 $h(n)$, 自适应滤波器的输出信号为 $y(n)$, 所期望的响应信号为 $d(n)$, 误差信号 $e(n)$ 为 $d(n)$ 与 $y(n)$ 之差。期望的响应信号 $d(n)$ 是根据不同用途来选择的, 自适应滤

(下转第 72 页)

自适应屏幕的 Director 课件播放器就做好了, 使用时将 autosize.exe 和 xxx.dir 放在同一目录下, 点击 autosize.exe, 它首先依据屏幕大小修改舞台分辨率, 然后自动调用 xxx.dir, 实现自适应播放。

需要注意的是: 如果我们在课件中使用了第三方插件, 则一定也要在 autosize.dir 里手动加入这些插件, 然后再发布为 exe 文件。否则播放器在脱离 dir 平台播放时将提示找不到插件。手工加入插件的方法是选择菜单选项 Modify|Movie|Xtras, 打开 Movie Xtras 窗口, 如图 1 所示。

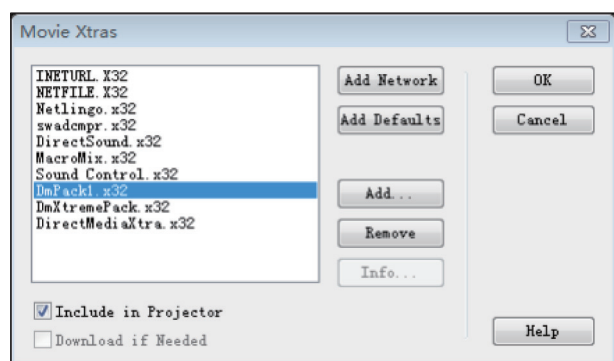


图 1 Director 中的 Movie Xtras 窗口

在该窗口中点击 Add 按钮, 就可以添加需要使用的 Xtra。因为在课件中, 第三方插件是在导入相应类型的演员时 Director 自动添加的。例如: 在 xxx.dir 中, 我们导入了一个使用 DirectMediaXtra 的视频文件, Director 则会自动在 xxx.dir 的 Movie Xtras 窗口里添加插件 DirectMediaXtra.X32。而播放器中并没有这些演员, 所以

需要在 autosize.dir 的 Movie Xtras 窗口里手动添加这个插件。如果不知道使用了多少第三方插件, 可以打开课件 xxx.dir 的 Movie Xtras 窗口进行比对。

如果在播放器中没有将插件打包进去, 另一种解决方法是将 Director 安装目录下的 Xtras 子目录整体拷贝至 autosize.exe 同一目录下, 也能实现正常播放, 它的缺点是因为拷贝了所有的包括没有使用的插件, 会增加课件的大小。

制作独立的屏幕自适应播放器的优势在于: 一是方便调试课件, 特别是课件的舞台分辨率高于计算机屏幕显示的分辨率时, 可以随时通过播放器调用 dir 文件观看整体显示效果。二是当脱离 dir 平台播放时, 可以增加程序运行的稳定性。从使用经验来看, 当课件中调用大量视频时, 独立播放器的稳定性要明显高于将整个课件打包生成的 exe 文件。三是当一个课件中包含多个 dir 文件时, 不用为每个文件都添加 lingo 脚本来适应屏幕大小, 这尤其适用于不熟悉 lingo 编程的多人合作模式。当课件制作完成后, 为了保密可以将之打包成 dcr 文件, 播放器仍然可以自动调用同名的 dcr 文件。

参考文献

- * [1] 张云杰《Director 11.5 从入门到精通》电子工业出版社 2011
- * [2] 黄勇 宋博 冼枫 杨英华《Director 8.5 lingo 解析与实例》清华大学出版社 2003

(上接第 69 页)

波器的输出信号 $y(n)$ 是对期望响应信号 $d(n)$ 进行估计的, 滤波参数受误差信号 $e(n)$ 的控制并进行调整。因此, 自适应滤波器与普通滤波器不同, 它的冲激响应或滤波参数是随外部环境的变化而变化, 经过一段自动调节的收敛时间达到最佳滤波器的要求。

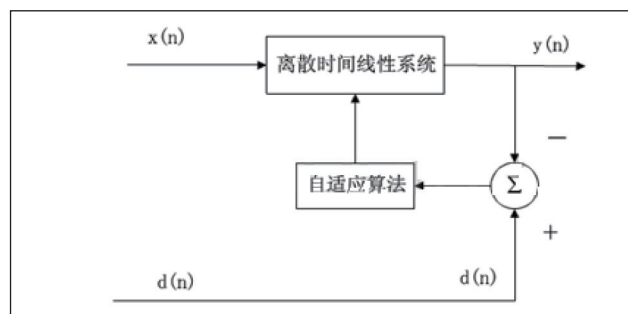


图 4 自适应滤波器的原理方框图

5. 总结

本文对音频信号处理系统的设计作了详细的介绍, 采用一系列图像分析和处理技术, 实现了音频信号的基本处理的功能, 经过测试运行, 基本达到预期目的。

参考文献

- * [1] 胡昌华 基于 MATLAB 的系统分析与设计: 小波分析, 西安电子科技大学出版社, 2008
- * [2] 冯岩, 唐普英, 基于 MATLAB 的语音增强系统的设计, 通信技术, 2010, 43(5):187-188