

Schroeder 混响模型的改进与数字混响器软件设计*

The Improvement of Schroeder Reverberation Model and the Design of Digital Reverber Software

谢昌鹏, 陈 华**

XIE Chang-peng, CHEN Hua

(广西大学计算机与电子信息学院, 广西南宁 530004)

(School of Computer, Electronic and Information, Guangxi University, Nanning, Guangxi, 530004, China)

摘要:采用若干个不同延时系数的单回声 FIR 滤波器进行并联, 构成一个早期反射滤波器, 将该滤波器与 Schroeder 滤波器再并联, 得到改进的 Schroeder 混响模型。利用 MATLAB 软件对该改进的模型进行仿真实验的结果显示, 改进模型的早期反射得到了恢复, 能够获得良好的具有完整的直达声、早期反射和后期混响成分的脉冲响应波形。利用改进模型在 MATLAB 平台上能够实现数字音频混响器软件设计。

关键词:混响 早期反射 滤波器 混响器软件

中图分类号: TN713 **文献标识码:** A **文章编号:** 1002-7378(2011)01-0071-02

Abstract: By paralleling Schroeder reverberation model with early reflection filter which contains several different Single-echo FIR filter in parallel, an improved model of the natural sound reverberation has been presented. The results by simulating with MATLAB show that the early reflection has been restored in the improved model, which completely contains direct sound, early reflection and reverberation. This improved model on the MATLAB can realize the design of Digital Reverber software.

Key words: reverberation, early reflection, filter, Digital Reverber software

混响是室内声源停止发声后, 由于房间边界面或其中障碍物使声波多次反射或散射而产生声音延续的现象。典型房间的声信号脉冲响应可以分为 3 个部分: 直达声、早期反射和后期混响。利用数字信号处理技术构造特定的滤波器, 即可对数字音频进行混响处理, 达到预期的混响效果。Schroeder 混响滤波器^[1]是常用的音频混响滤波器, 其结构分为三级: 第一级由 4 个并联 IIR 梳状滤波器构成, 第二级和第三级采用结构相同的全通滤波器。采用 MATLAB 仿真可以得到 Schroeder 混响模型的脉冲响应

波形, 但是该模型产生的混响结果缺少早期反射, 这样会造成声信号声能比的降低, 导致合成后的声音缺乏空间立体感, 而且不清晰^[2]。一些声学工作者对上述问题进行了不同的改进, 其中较为典型的是采用 IIR 梳状滤波器模拟早期反射, 如 Lexicon 公司生产的 PCM90 型数字混响器。但是由该梳状滤波器模拟出的反射声是间断的, 如果回声过小, 或者梳形畸变, 相邻峰频间隔太大, 会产生染色失真^[3], 对音色造成一定的影响。FIR 滤波器有着严格的线性相位, 而且稳定性较好^[4], 不存在上述 IIR 梳状滤波器的问题。本文采用若干个不同延时系数的单回声 FIR 滤波器进行并联, 构成一个早期反射滤波器, 将该滤波器与 Schroeder 滤波器再并联, 得到改进的 Schroeder 混响模型, 并利用 MATLAB 软件对该改进的模型进行仿真, 在 MATLAB 平台上实现数字音频混响器软件设计。

收稿日期: 2011-01-12

作者简介: 陈 华(1958-), 男, 教授, 主要从事数字图像处理与光电成像技术方面的研究。

* 广西自然科学基金(桂科自 0728034), 广西人才培养模式创新实验区建设项目(桂教高教[2008]20 号), 广西大学高等教育教学改革工程“十一五”第三批立项项目(西大评估字(2007)13 号)资助。

** 通讯作者。

1 改进的 Schroeder 混响滤波器

用若干个不含直达声的 FIR 单回声滤波器^[5] 并联生成早期反射, 并联的每个单元都是一个独立的单回声滤波器。早期反射滤波器结构如图 1 所示, 系统函数可表示为:

$$H_p(z) = A_1 Z^{-R_1} + A_2 Z^{-(R_1+R_2)} + \dots + A_n Z^{-(R_1+R_2+\dots+R_n)} \quad (1)$$

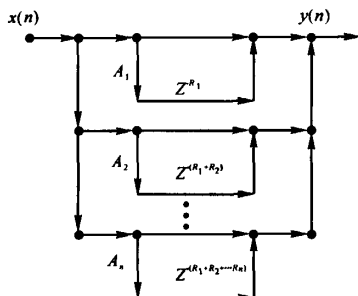


图 1 早期反射滤波器结构

为达到较理想的空间立体声效果, 滤波器需取 6 个以上。于是, 改进后的自然声音混响滤波器系统函数如(2)式所示, 其结构框架如图 2 所示。

$$H(z) = H_s(z) + H_p(z) \quad (2)$$

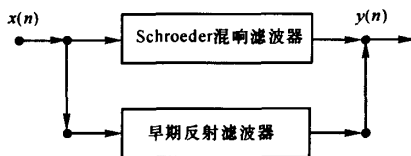


图 2 改进的 Schroeder 混响滤波器的结构框架

取 7 个单回声滤波器, 通过 MATLAB 仿真可以得到改进的 Schroeder 混响滤波器脉冲响应波形如图 3 所示。由图 3 可知, 该模型实现了集直达声、早期反射和后期混响为一体的较为理想的混响效果。

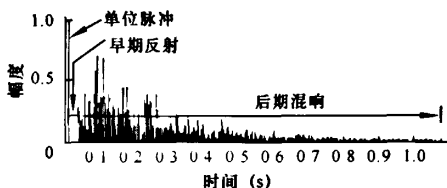


图 3 改进的 Schroeder 混响滤波器的脉冲响应

2 改进 Schroeder 混响滤波器的 MATLAB 建模

利用 MATLAB 提供的 filter 函数可以很容易实现线性常系数差分方程的递推求解, 实现数字音

频混响。filter 函数调用格式为: $y_n = \text{filter}(B, A, x_n)$, 调用参数中 x_n 是输入信号向量, B 和 A 是系统差分方程, 有 $B = [b_0, b_1, \dots, b_M]$, $A = [a_0, a_1, \dots, a_N]$, 其中, $a_0 = 1$, 若 $a_0 \neq 1$, 则 filter 用 a_0 对系数向量 B 和 A 归一化。改进的 Schroeder 混响滤波器的 MATLAB 模型框架如图 4 所示。

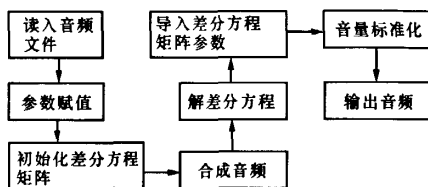


图 4 改进的 Schroeder 混响滤波器的 MATLAB 模型框架

3 数字音频混响器的软件设计

将改进的 Schroeder 混响滤波器采用 MATLAB 语言实现数字音频混响器的软件设计。设计的软件与传统的混响器相比, 主要加入 4 种功能: (1) 参数测试。用于测试当前参数下的单位脉冲响应, 使用户可以知道所设置的参数是否合理。(2) 预设模式。提供 6 种预设混响模式: 教堂、音乐厅、卧室、石室、走廊、广场, 方便初级用户体验。(3) 早期反射控制和混响控制。提供 14+13 个混响参数的可控制, 并显示参数数值, 适用于高级用户对特殊混响的处理。(4) 声道模式。提供 4 中声道选择: 左声道混响、右声道混响、双声道混响、左右声道交叉混响。当单声道音乐输入时, 默认为左声道混响。数字音频混响器的软件设计界面如图 5 所示。



图 5 数字音频混响器的软件设计界面

4 结束语

本文提出了 FIR 结构的早期反射滤波器, 解决了传统的 IIR 结构滤波器对音色影响的问题。经 MATLAB 仿真证明, 改进后的滤波器实现了较为理想的混响效果, 并实现了数字音频混响器的软件设计。

虽然 FIR 滤波器的运算量较大, 但是随着高速数字信号处理器的诞生, 复杂的信息量大的实时处

no auto-summary

通过采取配置相应的 EIGRP 协议之后,实现了广西电视台网络系统中数据中心服务器、数据中心连接的广域网的链路的备份和动态负载均衡、入口和出口双向的动态平衡、管理多个不同的 ISP 的接入链路平衡和动态切换等,从而减少了产生环路的可能性。再者广西电视台的网络是 VLAN 相对隔离、通过核心交换机互相组成局域网的网络环境,通过在整个局域网络内部部署 EIGRP 协议可以把已经发生的网络环路风暴控制在一个很小的区域内,不波及整个局域网络环境的正常使用,达到了选择最佳路的效果,较好地解决了电视台局域网络中的环路故障问题。

3 结束语

本文分析广西电视台局域网网络建设与实际使用过程中遇到的环路问题,并提出相应的处理措施

和解决问题的方法和技术。这些工作成果对于其他单位局域网的建设与有效运行也具有实际参考作用。下一步我们将研究如何完全消除局域网环路问题。

参考文献:

- [1] 方刚,江宝钊.局域网信息安全面临的威胁分析和防范措施探讨[J].网络安全技术与应用,2007,19(7),32-35.
- [2] 陈冠宇.局域网的安全策略[J].大众科学,2007,21(9):52-53.
- [3] Faraz Shamim, Zaheer Aziz, Johnson Liu, et al. IP 路由疑难解析[M].北京:人民邮电出版社,2008.
- [4] Glenn Lepore. CISCO 路由器配置疑难解析[M].北京:机械工业出版社,2009.

(责任编辑:韦廷宗 邓大玉)

(上接第 72 页)

理成为可能,因此可采用 FIR 滤波器模拟早期反射,改进的 Schroeder 混响滤波器可以推广在实际中应用。

参考文献:

- [1] Schroeder M R. Natural sounding artificial reverberation[J]. Journal of The Audio Engineering Society, 1962,10(3):219-223.
- [2] Reichardt W, Abdel Alim O, Schmidt W. Definition and basis of making an objective evaluation to distinguish between useful and useless clarity defining musical per-

formances[J]. Acustica,1975,32: 126-137.

- [3] 王燕. Lexicon PCM90 数字混响器模拟自然混响声场的原理和应用[J].有线电视技术,2003,123(3):65-74.
- [4] 高西全,丁玉美,阔永红.数字信号处理——原理、实现及应用[M].北京:电子工业出版社,2006.
- [5] Harry Y-F Lam. 模拟和数字滤波器设计与实现[M].冯橘云,等译.北京:人民邮电出版社,1985.

(责任编辑:邓大玉)