

基于 DSP 的回声抵消器的设计与实现

胡秀芳¹, 郑泰胜¹, 胡丙龙²

(1. 广东工业大学 信息工程学院, 广东 广州 510643; 2. 迪威科技有限公司, 广东 深圳 518049)

摘要: 在会议电视、免提电话等易出现回声的通信系统中, 回声抵消器是一个必不可少的设备. 它的基本原理是用一个自适应滤波器来辨识并模拟回声路径以实现回声对消, 而数字信号处理器的快速发展也使自适应滤波器实时、经济地实现成为可能. 本文以 TMS320C54X 为例, 对在 DSP 上实现声回声抵消算法所需要的相关技术做了研究和探讨, 并提出了一种基于 PNLMs 和块更新算法的新的自适应方案.

关键词: 回声抵消器; 自适应滤波器; DSP; PNLMs; 块更新算法

中图分类号: TN911. 72

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2002)01-0042-06

随着多种类多功能通信业务的开通, 凡是在需要同时使用扬声器和麦克风的场合, 例如免提电话系统、会议电视以及声控系统中都不可避免地会出现回声问题. 以会议电视为例^[1], 因为扬声器和麦克风被置于同一空间, 经本地扬声器放大的远端话音就可能被本地的麦克风吸收并传回远端, 以致使远端用户仿佛听到了自己的回声. 为了增加系统的稳定性, 提高通信的质量, 必须设置回声抵消器来排除回声的影响. 图 1 给出了将回声抵消器作为一个独立外设应用于会议电视系统终端的简单例子.

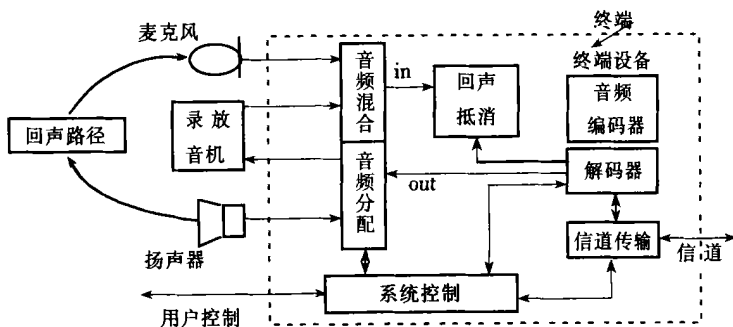


图 1 会议电视终端的基本音频 I/O

图 1 给出了将回声抵消器作为一个独立外设应用于会议电视系统终端的简单例子.

1 回声抵消器的设计准则

在设计一个实用的回声抵消器时必须考虑来自三个方面的需求: 用户、相关行业标准和生产商.

用户主要关心通信质量和舒适度. 而相关行业标准的设立是为了使通信产品的生产商能提供可兼容的设备. 例如回声抵消器的性能就应该符合 ITU-T G. 168 建议中的一系列规定. 另外对产品生产商而言, 首先考虑的又是成本、产品的体积、耗电量以及市场竞争能力等问题, 这样自适应滤波器实现时可得硬件性能就受到了一定的限制. 所以设计的一般准则是应该在

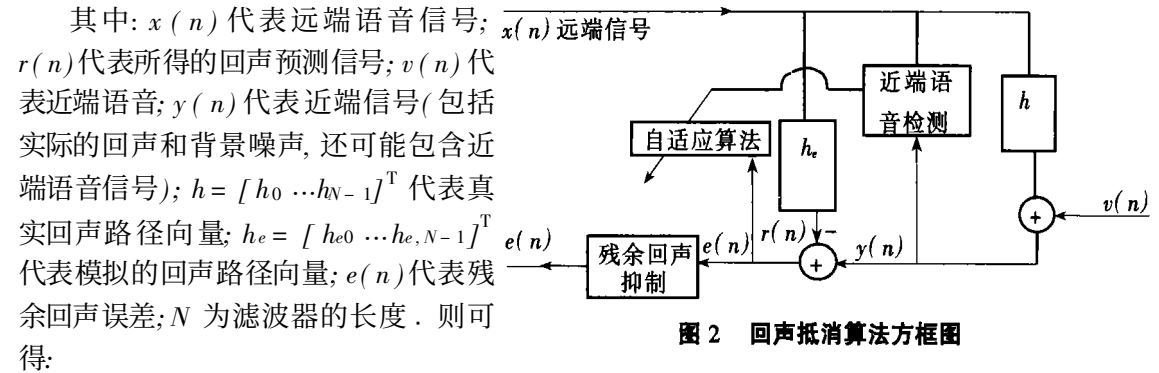
收稿日期: 2001-07-09

作者简介: 胡秀芳(1974), 女, 99 级研究生, 主要研究方向为多微机实时控制与数字信号处理.

折衷三方利益冲突的前提下,尽可能满足它们不同要求的优先部分,主要体现在以下几个方面:选用结构简单、易于实现的自适应算法;提高算法的收敛性能和顽健性;采用一些技巧或方法降低算法的运算量.本文也正是基于此研究和探讨了在DSP上实现回声抵消算法的一些关键技术.

2 回声抵消器的原理及算法设计

典型的回声抵消器都是采用适当的自适应辨识方案来对消回声.它的工作原理是应用一个自适应滤波器对未知回声通道进行系统辨识,并采用适当的自适应算法使其冲击响应与实际的回声路径相逼近,以便得到回声预测信号,然后将所得预测信号从麦克风接收到的语音信号中减去,即可实现回声抵消.由于通信系统及语音信号本身的不固定性,加上许多场合对滤波器的特殊考虑,对应用于其中的自适应算法的要求也很高.而且为了增加算法顽健性,改善算法的性能,在设计一个实际的回声低消器时,除了考虑其核心部分自适应滤波器外,还需设计一些外围辅助单元,一般包括近端语音检测和残余回声抑制等.本文采用的算法框图如图2所示.



$$r(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_e(n) x(n-k) \quad (1)$$

$$e(n) = y(n) - r(n) = y(n) - \sum_{k=0}^{N-1} h_e(n) x(n-k) \quad (2)$$

2.1 自适应算法

回声抵消器中的自适应滤波器有一个典型的特点,就是要求有冲激响应持续期很长的回波通道($\geq 64\text{ms}$).这也同时要求所采用的自适应算法具有比较快的收敛速度.理论上许多自适应算法都可以应用于回声抵消器中.但在实际设计时,考虑到实现的复杂度、硬件成本以及稳定性等问题,一般都倾向于选择结构简单,顽健性更强的算法.作为最小均方算法的一种改进,NIMS(Normalized Least Mean Square)算法从20世纪70年代以来就为商业化的回声抵消器所常常采用.它的优点是算法简单,运算量小,易于实现.缺点是对网络通信所要求的高阶自适应滤波器,收敛速度较慢.另外比NLMS算法稍后出现的“块自适应算法”,因为能减少算法的运算量也得到了很大发展.本设计通过分析NLMS和块自适应算法的优缺点,提出了一种基于PNLMS(Proportionate_NLMS)算法和精确块(Block-Exact)算法的新的自适应方案(Block-Exact-PNLMS Algorithm).该方案可以利用回声路径冲击响应的稀疏性达到比NLMS更快的收敛速度,而且只带来了计算复杂度的少量增加.

2.2 近端语音检测

当非平稳强相关的语音信号直接激励自适应滤波器时,大部分自适应算法的收敛性能都会急剧恶化.另外,收敛速度越快的算法对近端干扰(尤其是近端语音)也越敏感.为了增加算法的顽健性,一般都设立一个近端语音检测环节,该环节通过一定的算法来判断近端是否有语音存在,如果判断为没有语音,则可以进行更新操作并进行残余回声抑制,否则则冻结自适应滤波器的系数.但并不中断对远端信号 $x(n)$ 的滤波操作,即仍然对方程式(1),(2)进行处理.

本设计采用的检测算法是 Geigel 算法,可以描述如下^[2]:

$$|y(n)| \geq V \max(|x(n)|, |x(n-1)|, \dots, |x(n-N+1)|) \quad (3)$$

这是一种基于能量的算法.假设系统对回声信号的衰减大于 6dB,则 V 可取为 1/2.如果上式成立,则说明近端有语音信号,应停止滤波器系数的更新.

2.3 残余回声抑制

这个单元设立主要是为了提高回声抑制制度.当通过一定的算法(例如比较信号能量)计算后,若检测到残余回声信号的能量低于某一预定阈值,则认为在近端输入信号中只包含回声,就将回声抵消器的输出置为 0 以提高回声抵消的主观效果.这个阈值可以固定也可以是自适应的.同时还可以插入一些舒适噪声来填充寂静期间.经残余回声抑制处理后,回声抵消器的抑制制度可以提高 5~10dB.

3 在 DSP 上实现回声抵消算法的硬件说明

3.1 自适应滤波器的结构和芯片种类选择

自适应滤波器的结构可以采用 FIR 或 IIR 结构.因为回声路径的冲击响应呈一种细节度很高但又极不规则的形状,为达到一定质量的辨识效果,自适应滤波器必须提供许多可调节参数;而且在自适应过程中还需要自适应滤波器的稳定性足够好,基于这两点考虑,我们的设计采用了横向型结构的 FIR 滤波器^[3].

在实际应用时,自适应滤波器的系数处于不断的调整当中,要求的实时性很强,因此需要高性能的 DSP 芯片来实现.另外兼顾到成本、封装等设计要求,则性价比比较高的定点 DSP 芯片就成为首要选择.本文算法的软硬件实现选择了目前比较流行的 TMS320C54X 定点 DSP 芯片为目标平台.

3.2 关于 TMS320C54X

TMS320C54X 是 TI 公司为实现低功耗、高性能而专门设计的定点 DSP 芯片,该系列芯片体积较小,而且因为具有先进的 CPU 结构和智能外设接口,并设立了三个低功耗方式,所以具有很高的性价比,已在通信等许多领域得到广泛应用^[4].选用 C54X 来实现回声抵消算法在软件编程时有一个很大的优势.该系列芯片中集成了两个 40 位的累加器,它们可以在一个指令周期内同时操作,在 C54X 的指令集中提供了一些指令,可以充分利用这个特性,减少运算所需的指令周期,提高编程效率.例如均方差(SQDST),MAX,MIN,FIRS,LMS 等指令.其中 LMS 指令为自适应滤波器的实现提供了最大的方便.该指令可以用一个指令周期完成下面的功能:

$$r(n) = \sum_{k=0}^{N-1} h_e(n-k) \parallel h_e(n+1) = h_e(n) + 2 \bullet \mu \bullet e(n-1) \bullet x(n-k) \quad (4)$$

其中, $\parallel$ 代表“并行执行”, n 是样点.也就是说,运用 LMS 指令可以同时实现滤波器辨识和系数更新的任务,这也为计算复杂度较高但性能更优算法的实时实现提供了可能.

4 基于PNLMS和精确块算法的自适应方案(BEPNLMS Algorithm)

4.1 关于PNLMS算法

实验证明,在冲击响应长达64或128ms的回声路径上,非零的受激域仅有4~8ms. PNLMS算法正是利用冲击响应的这种稀疏性对传统的NLMS算法做了改进. 它的权系数更新式可表示为式(5):

$$h_e(h+1) = h_e(n) + \frac{\mu g_e(n) [e(n)x(n-k)]}{N \frac{g(n)}{g(n)} \sigma_x^2(n)} \quad (5)$$

其中: $\sigma_x^2(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=0}^{N-1} x^2(n-k)$; μ 是可变步长因子, N 是自适应滤波器的长度. $\frac{g_e(n)}{g(n)}$ 是增益分布因子.

在PNLMS算法中,每一阶的自适应增益大致与其所在阶自适应系数的绝对值 $|h_e(n)|$ 成比例,所以可以在典型的回声路径上得到非常快的收敛性.

4.2 块自适应(Block-Exact)算法的原理和实现

基于时域实现的高阶自适应滤波器一般都需要很大的运算量,所以减少算法的计算复杂度一直都是设计者应考虑的问题. 尽管现在一些处理能力较强的处理器,使我们介绍的C54X系列芯片,因为其特殊的硬件结构和指令系统使得一些算法的实现更加简单,开发周期日益缩短,但对于回声抵消这种实时性很强的应用,仍希望尽可能地降低算法的计算量. 块处理正是较为有效的一种解决方案. 它的基本思想是滤波器的每一个系数经过 M (块长度) 个输入样点才更新一次,而每输入一个样点时更新全部系数的 $1/M$. 其原理可由下列方程式表示^[5]:

$$e_B(nB) = y_B(nB) - X_{N,B}^T(nB) h_{eN}(nB) \quad (6)$$

其中 $X_{N,B}(nB) = [X_N(nB), \dots, X_N(nB-B+1)]$

$$h_{eN}(nB+B) = h_{eN}nB + \mu(nB) X_{N,B}(nB) e_B(nB) \quad (7)$$

式(6)中误差的计算用的是相对于每一个块开始时滤波器的估计值,所以性能较之于逐步更新的自适应算法有一些差距. 而且在块更新算法中信号的时延问题也应引起注意. 当 N 越大时,计算量的减少越明显,但同时带来的时延也越大. 图4和图5分别给出了 $N=512, M=16$ 时,用块算法和NLMS算法进行自适应更新的冲击响应. 可见,相对于逐步更新系数的NLMS算法,块算法的收敛速度慢了很多,这对对收敛性能要求较高的回声抵消器来说影响还是很大的. 所以实时实现应该调整相关参数或进一步改进算法,在计算复杂度和时延这一对矛盾之间找到一个折衷.

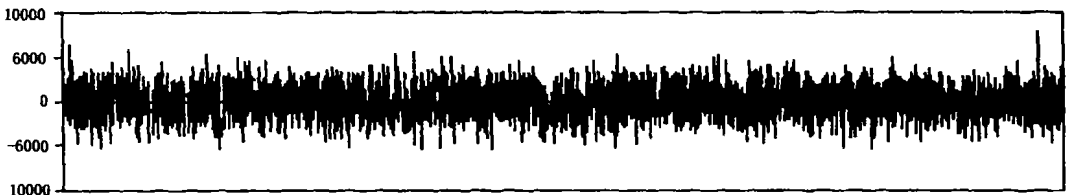


图3 远端输入信号 $x(n)$

4.2 BEPNLMS算法

精确块自适应技术(Block-Exact)在一定程度上弥补了传统块算法的不足. 它的原理是在每

图 4 Block 算法($N=512, M=16$)图 5 NLMS 算法($N=512, \mu=0.2$)

一个时刻都计算滤波器的误差值,而仍然在输入了 M (块长度) 个样值点后才更新滤波器的系数数. 这样在系数更新时所利用的误差值正好是在每一块内每一个变化时刻的真实误差值. 所以“精确块算法”在显著节省了计算量的情况下,能得到几乎和逐步更新算法相当的精确的预测效果. 而且,这种方案提出的前提是 M (块长度) 必须小于 N (滤波器长度),在实际应用时的时延也很小. 本设计结合 PNLMS 和精确块算法各自的特点,提出了一种基于 BEPNLMS (Block-Exact-PNLMS) 的设计思路,即自适应滤波器使用 PNLMS 算法,而其系数的更新采用精确块算法的思想. 这样可以在增加自适应滤波器收敛速度的同时有效地减轻计算的复杂度. 基于 BEPNLMS 算法用 DSP 实时实现的回声抵消器正在进一步的研究当中.

4.3 其它功能部分

其它功能部分,例如近端语音和静音检测环节、残余回声抑制环节等从实用的角度保证了本设计方案的可行性与完整性. 其中近端语音检测作为自适应算法的一个控制输入来起作用,它最基本的功能是决定什么时候应该冻结系数的更新,以防止回声抵消算法收敛性能的恶化.

5 结语

本文对基于 DSP (以 TMS320C54X 系列芯片为例) 来设计和实现回声抵消器时所涉及的相关技术进行了分析和研究,提出了一种基于回声路径冲击响应稀疏特性,并结合精确块算法原理的新的自适应方案 (BEPNLMS 算法). 软件设计所用到的几个重要算法用 C54X 的汇编语言实现,并在 TMS320C54X 的软件模拟器 (Code Composer Studio) 上调试通过,它们可以被方便地定制以应用于不同长度的回声路径,也能经过很容易的修正后应用于各种硬件电路.

参考文献:

- [1] 朱秀昌,刘峰. 会议电视系统及应用技术[M]. 北京:人民邮电出版社,1999. 76-87.
- [2] Tomas Gansler, Steven L. Gay. Double-Talk Robust Fast Converging Algorithms For Network Echo Cancellation[J]. IEEE Transactions on Speech and Audio Processing. 2000, 8(11): 656-663.
- [3] 姚天任,孙洪. 现代数字信号处理[M]. 天津:华中理工大学出版社,1999. 45-48.
- [4] 李刚. 数字信号处理的原理及其开发应用[M]. 天津:天津出版社,2000. 530-540.
- [5] George Orhon Glentis, Kostas Berberidis, Sergios Theodoridis. Efficient Least Squares Adaptive Algorithms For FIR Transversal Filtering[J]. IEEE Signal Processing Magazine, 1999(7): 13-40.

Design and Implementation of EchoCanceller Based on DSP

HU Xiu-fang¹, ZHENG Tai-sheng¹, HU Bing-long²

(1. Faculty of Information Engineering GDUT, Guangzhou 510643, China;

2. Division Science and Technology Ltd, Shenzhen 518049, China)

Abstract: Echo canceller is an indispensable device applied in many communication situations, such as teleconferencing hand-free wireless systems, etc. where the acoustic echo arises easily. Its fundamental principle is cancelling the echo by employing an adaptive filter to identify and simulate the real echo paths. Furthermore, with the rapid development of Digital Signal Processors (DSP), the applications of an adaptive filter in real time also become economically feasible. In this article, many interrelated technologies are studied and discussed, which are required in implementing an Echo Canceller on a DSP (eg. TMS320C54X), and a new scheme based on PNLMS and Block Update Algorithm is offered simultaneously.

Key Words: echo canceller; Adaptive filters; DSP; PNLMS; Block Update Algorithm

简 讯

全国第九届可拓工程年会征文启事

全国第九届可拓工程年会定于2002年8月9日—12日在大连市召开,会议将交流可拓学的学术论文和应用成果,讨论可拓学发展的有关问题。新学科可拓学的建设和发展,需要众多学科的学者参与,我们欢迎各个领域的学者、管理人员和工程技术人员参加这次会议。

现就会议征文的有关问题通知如下:

一、征文内容

1. 理论研究: 1) 物元理论和事元理论; 2) 可拓数学; 3) 可拓逻辑; 4) 可拓学的哲学基础; 5) 可拓学研究方向的探讨; 6) 可拓学与数学、系统科学、信息科学和思维科学的关系探讨。

2. 应用研究: 在专业领域中,如在计算机与人工智能、控制与检测、管理与决策等领域中的可拓工程理论与方法,利用可拓论和可拓方法解决某个实际问题的具体方法。

3. 应用成果: 1) 工程技术、企业管理、经济领域、科学研究以及各行各业利用可拓工程方法的研究成果; 2) 关于可拓工程的应用软件和硬件产品的研制报告。

二、征文要求

1. 论文必须文笔精练、数据可靠、字迹清楚,字数不超过8000字,并请附中英文摘要和关键词(不收录印件)。

2. 请于2002年4月1日前把论文摘要(300字)寄到年会筹备组。经研究后,将发出有关具体事项的通知。(筹备组地址:广州市东风东路729号,广东工业大学可拓工程研究所,邮政编码:510090)。

3. 论文应是新的研究成果,且未在国内外学术会议或刊物上发表过。

4. 优秀论文将分期在《中国工程科学》上发表,对已被录用且符合核心刊物要求的优秀论文,也将推荐到其他核心刊物上发表。

5. 征文请自留底稿,均不退稿。

三、主办单位: 中国人工智能学会可拓工程专业委员会、中国工程院《中国工程科学》编辑部、广东工业大学

四、承办单位: 大连海事大学

(可拓工程研究所供稿)