

一个基于盲信号分离的多路回波消除结构

谢胜利,王杰

(华南理工大学电信学院,广东广州 510641)

摘要: 多路回波消除问题的本质难点是由于多路输入信号之间的强相关性而导致的自适应滤波器解不唯一的问题. 目前许多文献都是试图通过对输入信号预处理来解决这个问题, 这些方法都对原输入信号作了变化, 从而影响了通话质量. 本文提出了一个简化的盲信号分离模型的立体声回波消除结构, 在这个结构中, 立体声回波消除问题被转化为两个单路的回波消除问题, 从而避免了自适应滤波器解不唯一的问题. 仿真结果证明了新结构的有效性.

关键词: 声学回波消除 (AEC); 自适应滤波器; 盲信号分离 (BSS)

中图分类号: TN911. 72 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2004) 07-1124-03

A Multi-Channel Echo Cancellation Structure Based on a Blind Signal Separation Model

XIE Sheng-li, WANG Jie

(Electronic and Information Institute, South China University, Guangzhou, Guangdong 510641, China)

Abstract: Multi-channel acoustic echo cancellation (AEC) systems suffer from the non-uniqueness problem of the adaptive identification solution because of the correlation of the input signals. This paper investigates integrating a simplified blind signal separation (BSS) model into the stereophonic acoustic echo cancellation (SAEC). The integrated new structure translates the SAEC problem into two single-channel AEC problems so as to avoid the NUP and doesn't influence the audio quality. The simulation results improve the effectiveness of the new structure.

Key words: acoustic echo cancellation; adaptive filter; blind signal separation

1 引言

在电视电话会议和车载免提无线电话系统中,随着人们对保真度要求的提高,扬声器和麦克风的数目要求增多,以增强身临其境的感觉.但是,由于扬声器和麦克风的数目的增多,回波也随着增多.如何有效地消除回波,是保证通话质量的一个重要因素,从而多路回波消除理论的研究受到了人们的足够关注.以立体声回波消除为代表的多路回波消除(AEC)问题的本质难点是由于多路输入信号之间的强相关性而导致的自适应滤波器解不唯一的问题^[1].目前许多文献都是试图通过对输入信号预处理来解决这个问题,如对多路输入信号进行非线性变换^[2]、添加随机噪声^[2~4]、采用交织梳状滤波器^[1,5]、周期性延迟一个声道的输入信号^[6]、采用时变的全通滤波器^[7]等.这些方法在一定程度上解决了多路回波消除中不同侧面的问题,但他们都对原输入信号作了变化,当这种变化过大时,会直接影响通话质量;而变化太小时,对强相

关性的处理力度又不够,故寻求新结构和新处理方法的多路回波消除研究是人们一直在探讨的问题.

本文研究将一个简化的盲信号分离模型整合到立体声回波消除结构,在这个结构中,立体声回波消除问题被转化为两个单路的回波消除问题,从而避免了自适应滤波器解不唯一的问题,另外这种方法不会损坏来自近端扬声器的立体声质量.

虽然利用盲分离结构作为多通路回波消除后处理器的方法在文献^[8]中曾经提出过,但该文献中利用的盲源分离结构假设了输入信号彼此独立,这和实际情况并不符合.而本文中用到的盲分离结构并没有涉及到信号的相关性问题,实验结果也表明这种结构是适用于多通路回波消除的.

2 整合了 BSS 模型的立体声回波消除结构

本文提出的新 AEC 系统结构如图 1 所示,其中 h_{11} , h_{12} , h_{21} 和 h_{22} 分别表示四条回波路径对应的单位脉冲响应向量,

收稿日期:2002-12-23;修回日期:2004-03-26

基金项目:国家杰出青年科学基金(No. 60325310)、教育部跨世纪优秀人才基金(No. 教技函[2002]48号)、国家自然科学基金(No. 60274006)、广东省自然科学基金重点基金(No. 020826)

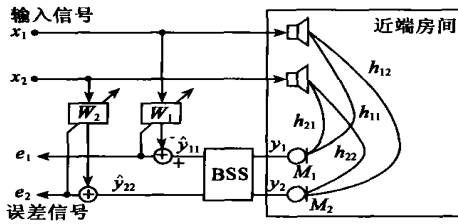


图 1 简化的盲信号分离模型的立体声回波消除结构

x_1 和 x_2 为两路输入信号, y_1 和 y_2 表示近端房间中的传声器 M_1 和 M_2 所检拾到的混合信号, 它们之间的关系可由下面的式子表示:

$$y_1 = h_{11} \cdot x_1 + h_{21} \cdot x_2 \quad (1)$$

$$y_2 = h_{12} \cdot x_1 + h_{22} \cdot x_2 \quad (2)$$

其中符号 $*$ 代表两个向量间的卷积. 方便起见, 我们假定

$$y_{11} = h_{11} \cdot x_1(t) \quad (3)$$

$$y_{22} = h_{22} \cdot x_1(t) \quad (4)$$

y_{11} 、 y_{22} 可以认为是 y_1 、 y_2 中分别由回波路径 h_{11} 和 h_{22} 产生的回波分量.

这里我们考虑如图 2 所示的一个简化的盲信号分离模型, 它将用于从 y_1 、 y_2 中分离出 y_{11} 、 y_{22} . 这个模型最初是由何培宇^[9,10] 提出用于卷积混叠信号的盲分离的.

在这个简化的模型中假定两个传声器彼此放得很近, 从而我们可以有下面的近似:

$$h_{12} \approx h_{12} \cdot h_{11} \quad (5)$$

$$h_{21} \approx h_{21} \cdot h_{22} \quad (6)$$

其中 h_{ij} 表示 h_{ii} 和 h_{jj} 这两个脉冲响应之间的测量差异 ($i, j = 1, 2; i \neq j$).

将(5)式和(6)式代入(1)式和(2)式, 并考虑到(3)式和(4)式, 我们可以得到下面的在矩阵形式中的新的表示:

$$\begin{bmatrix} y_1 \\ y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & h_{12} \\ h_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} y_{11} \\ y_{22} \end{bmatrix} \quad (7)$$

为了得到 y_{11} 的估计值 \hat{y}_{11} 和 y_{22} 的估计值 \hat{y}_{22} , 通过傅立叶变换, (7)式中的卷积可以转化成乘积, 如下式所示:

$$\begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & H_{12} \\ H_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_{11} \\ Y_{22} \end{bmatrix} \quad (8)$$

其中 Y_1 和 Y_2 对应 y_1 和 y_2 的傅立叶变化, Y_{11} 和 Y_{22} 对应 y_{11} 和 y_{22} 的傅立叶变化. 由上式我们可以将 Y_{11} 和 Y_{22} 的估计值 \hat{Y}_{11} 和 \hat{Y}_{22} 分离出来:

$$\begin{bmatrix} \hat{Y}_{11} \\ \hat{Y}_{22} \end{bmatrix} = F \begin{bmatrix} 1 & -H_{12} \\ -H_{21} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Y_1 \\ Y_2 \end{bmatrix} \quad (9)$$

其中

$$F = \frac{1}{1 - H_{12} H_{21}} \quad (10)$$

对 Y_{11} 和 Y_{22} 作反傅立叶变化从而可以得到 \hat{y}_{11} 和 \hat{y}_{22} .

H_{12} 和 H_{21} 可以利用频域的自适应滤波器来测量得到,

然后将它们代入到盲信号分离结构中, 最后实时的分离得以实行. H_{12} 的测量如图 2 所示. 图 3 则表示简化的盲信号分离模型.

这里我们可以看到, 利用这个简化的语音盲信号分离模型, 对接收到的回波信号 y_1 和 y_2 进行后处理, 则从中分离出分别由回波路径 h_{11} 和 h_{22} 所产生的回波分量 y_{11} 和 y_{22} . 对于分离出来的 \hat{y}_{11} 和 \hat{y}_{22} , 我们可以利用图 1 中所示的两个单路的自适应滤波器 W_1 和 W_2 来消除它们, 这样立体

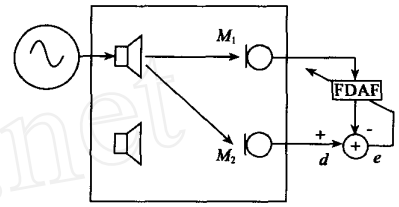


图 2 两个脉冲响应之间的差异测量图

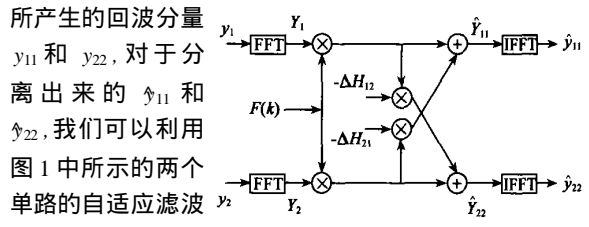


图 3 一个简化的盲信号分离模型

声回波消除问题被转化为两个单路的回波消除问题. 这里我们可以利用在单通路回波消除中已经得到良好应用的 NLMS 算法, 来消除分离出来的回波 \hat{y}_{11} :

$$e_1(n) = \hat{y}_{11}(n) - x_1(n) w_{11}(n) \quad (11)$$

$$w_{11}(n+1) = w_{11}(n) + 2\mu \frac{x_1(n)}{x_1(n)^2} e_1(n) \quad (12)$$

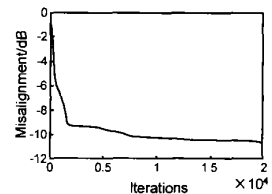
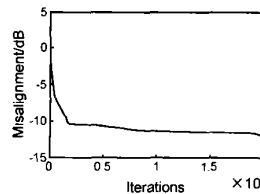
其中 $w_{11}(n)$ 是自适应滤波器 W_1 在时刻 n 的系数向量, $x_1(n)$ 为时刻 n 的输入信号向量, μ 是步长因子. e_1 为传向远端房间的误差信号.

对 \hat{y}_{22} 的消除算法也是类似的.

3 计算机仿真

我们知道, 在图 1 中, 如果 \hat{y}_{11} 是逼近于 y_{11} 的, 那么自适应滤波器 W_1 的系数应该是收敛到 h_{11} 的. 因此我们可以利用下面的失调来衡量提出的新结构的性能:

$$10\log_{10} = \frac{h - \hat{h}}{h^2}$$



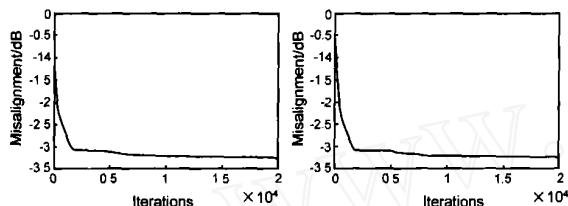
(a) 自适应滤波器 W_1 的失调 (b) 自适应滤波器 W_2 的失调

图 4 新结构中的自适应滤波器的收敛性能曲线

其中 h 为脉冲响应的真实值, \hat{h} 为滤波器系数的估计值. 自适应滤波器 W_1 的真实值和估计值之间的失调情况如图 4(a) 中的曲线所示. 我们可以看到曲线收敛比较好, 从而证明图 1 中的新结构是有效的. 对于 \hat{y}_{22} , 我们同样也做了类

似的比较实验,在新结构中自适应滤波器 w_2 的失调情况如图 4(b) 所示,可以得到类似的令人满意的结论.

因为本文的目的是要解决多通路回波消除的问题,所以我们也给出了在同样的实验条件下常规立体声回波消除结构利用 NLMS 算法^[10]的滤波器收敛情况的仿真结果,用来消除回波 y_1 和 y_2 的滤波器的失调情况如图 5 所示.从图中可以看出,收敛性能是比较差的,这正如预计的一样.



(a) 用于消除回波 y_1 的滤波器失调 (b) 消除回波 y_2 的滤波器失调

图 5 相同实验条件下常规的多通路回波消除结构中滤波器收敛性能

对比图 4 和图 5 的仿真结果,可以认为在新结构中立体声回波消除问题被有效的转化成两个单路回波消除问题,而且取得了比较好的消除效果.

我们的仿真环境为 PC 机器上的 Matlab6.5.但仿真中所用到的房间脉冲响应数据均为实测的中型会议室的脉冲响应,截取长度为 512,远端语音信号为实测的人声.

4 结论

本文提出了一个简化的盲信号分离结构的立体声回波消除结构,它利用一个简化的语音盲信号分离模型,对接收到的回波信号进行后处理,从中分离出单条路径所产生的回波,从而将立体声回波消除问题转化为两个单路的回波消除问题,这样就避免了立体声回波消除中的自适应滤波器解不唯一的问题.与对输入信号进行预处理的方法相比,该方法不会降低语音质量.计算机仿真实验证明了该结构的有效性.

参考文献:

- [1] M Mhan Sondhi ,Dennis R Morgan ,Joseph L Hall. Stereophonic acoustic echo cancellation —an overview of the fundamental problem[J]. IEEE Signal Processing Letters,1995 ,2(8) :148-151.
- [2] Jacob Benesty ,Dennis R Morgan ,M Mhan Sondhi. A better under-

standing and improved solution to the problems of stereophonic acoustic echo cancellation[A]. ICASSP[C]. Seattle ,1995. 303-305.

- [3] Suehiro Shimauchi ,Shoji Makino. Stereo projection echo canceller with true echo path estimation[A]. ICASSP[C]. Seattle ,1995. 3059-3063.
- [4] A Gilloire ,V Turbin. Using auditory properties to improve the behaviour of stereophonic acoustic echo cancellers[A]. Proc. ICASSP [C]. Seattle ,1998. 3681-3684.
- [5] Jacob Benesty ,Dennis R Morgan ,Joseph L Hall ,M Mhan Sondhi. Stereophonic acoustic echo cancellation using nonlinear transformations and comb filtering[A]. Proc. ICASSP[C]. Seattle ,1998. 3673-3676.
- [6] Yann Joncour ,Akihiko Sugiyama. A stereo echo canceler with pre-processing for correct echo-path identification[A]. Proc. ICASSP '98[C]. Seattle ,1998. 3677-3680.
- [7] Murtaza Ali. Stereophonic acoustic echo cancellation system using time-varying all-pass filtering for signal decorrelation[A]. Proc. ICASSP '98 [C]. Seattle ,1998. 3689-3692.
- [8] Okuno Takatoshi ,et al. Stereophonic acoustic echo cancellation using blind source separation as post-processing[A]. IEEE EURASIP 2001 [C]. Darmstadt ,Germany :Sept. ,2001. 75-78.
- [9] Peiyu He ,P C W Sommen ,Bin Yin. A real-time DSP blind signal separation experimental system based on a new simplified mixing model [A]. EUROCON '2001 [C]. Trends in Communications ,International Conference on ,Bratislava Slovak Republic Vol. 2 ,2001. 467-470.
- [10] 何培宇 ,殷斌等.一种有效的语音盲信号分离简化混合模型 [J]. 电子学报 ,2002 ,10:1438-1440.
- [11] Ozeki ,K,Umeda ,T. An adaptive filtering algorithm using an orthogonal projection to an affine subspace and its properties[J]. Electronics and communications ,in Japan ,1984 ,67-A(5) .

作者简介:

谢胜利 男,1958年12月生于湖北公安县,华南理工大学无线电与自动控制研究所教授,博士生导师,IEEE高级会员,出版学术专著(国家“九五”重点图书)一部,发表学术论文70多篇,6次获得省部级科技奖励,先后获得国家杰出青年科学基金和教育部跨世纪优秀人才基金,主要研究方向为非线性系统学习控制,自适应多路回波消除、盲信号处理以及图像处理等. Email :adshlxie @scut.edu.cn

王杰女,1979年6月生于湖北洪湖市,2001年获华南理工大学声学专业硕士学位,现为华南理工大学通信与信息系博士研究生,主要研究方向为自适应多路回波消除. Email :pupwang @sohu.com