

# 在自适应滤波器中干扰信号检测算法的研究<sup>1</sup>

陈建华 谢希仁

(通信工程学院二系 南京 210016)

**摘要** 本文针对自适应滤波器性能易受外部干扰的影响,提出了一种基于自适应滤波器进行干扰信号检测 (AFDI) 的算法,它可以提高自适应算法的抗噪声性能。最后对该算法在强干扰环境的性能进行了模拟,结果表明其各方面的性能指标均优于传统结构的自适应滤波器。

**关键词** 自适应滤波, 噪声抵消, 回波抵消

**中图分类号** TN713

## 1 概述

自 Widrow 提出自适应算法以来,自适应滤波器在实践中获得了广泛的运用,如噪声抵消、回声抵消等,其传统结构如图 1 所示<sup>[1-3]</sup>。一般  $H(z)$  为线性时变系统,自适应算法根据误差信号  $e(k)$  对  $H'(z)$  的权系数进行调整,以跟踪外部传输特性  $H(z)$  的变化。

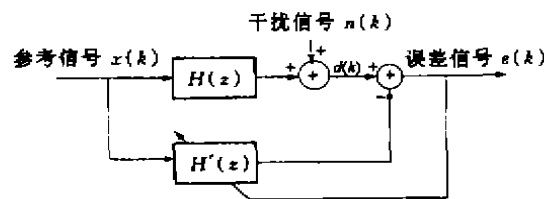


图 1 传统自适应滤波器结构

在采用 LMS 算法时,其权系数的调整公式为

$$\mathbf{W}(k) = \mathbf{W}(k-1) + 2\mu e(k)\mathbf{X}(k), \quad (1)$$

其中  $\mathbf{W}(k)$  为自适应滤波器的权矢量;  $e(k)$  为误差信号;  $\mathbf{X}(k)$  为由输入信号  $x(k)$  组成的矢量;  $\mu$  为调整步长。

当目标信号  $d(k)$  中不含干扰信号  $n(k)$  时,算法将收敛于维纳解,并在其附近摆动。然而,在具体的应用场合下很难获取理想的目标信号  $d(k)$ ,一般都存在一干扰信号  $n(k)$ 。例如在回波抵消器中的  $n(k)$  为近端讲话者的信号,在噪声抵消中的  $n(k)$  为有用的语言信号。当  $d(k)$  中含有一噪声  $n(k)$  时,它会对梯度估计产生偏差,并引起权矢量的失调。下面将讨论干扰信号对算法性能的影响,当存在一干扰信号  $n(k)$  时,有

$$e'(k) = e(k) + n(k), \quad (2)$$

(2) 式中  $e'(k)$  为加入干扰信号之后的误差信号,由  $n(k)$  引入的权失调为

$$\Delta \mathbf{W}(k) = 2\mu n(k)\mathbf{X}(k). \quad (3)$$

<sup>1</sup> 1997-09-11 收到, 1998-07-11 定稿

假设  $n(k)$  与  $x(k)$  不相关, 且  $x(k)$  为平稳的白噪声, 忽略稳态失调,  $\mu \ll 1$ , 可以证明, 由干扰  $n(k)$  引起的失调为

$$E[\Delta e^2(k)] = \mu m \delta_x^2 \delta_n^2 \quad (4)$$

式中  $\delta_x^2$  为输入信号  $x(k)$  的电平;  $\delta_n^2$  为干扰信号  $n(k)$  的电平;  $m$  为自适应滤波器的阶数。

通过以上的分析, 可以看出, 在干扰信号存在期间, 干扰信号引起的失调与干扰信号的能量成正比, 自适应滤波器的性能将受到严重影响。针对不同环境下干扰信号  $n(k)$  的特点, 人们已在实际中提出了不少方法: 如回波抵消器中的干扰信号 (近端语音信号) 检测等<sup>[4]</sup>, 但这些检测方法往往不可靠, 不能有效地克服干扰信号存在时产生的失调。为此, 本文针对突发干扰环境下提出了一种基于自适应滤波器的干扰检测算法, 它可以有效地改善自适应滤波器在干扰环境下的性能。

## 2 基于自适应滤波器的干扰信号检测

在干扰环境下, 传统结构的自适应滤波器会表现出这样一种性能: 当干扰信号消失时, 经过一短暂的收敛时间后, 其权值收敛于维纳解; 一旦干扰信号出现, 其权值很快产生发散 (这种恶化的程度取决于干扰信号电平的高低)。根据这一原理, 可以利用自适应滤波器完成干扰信号的检测, 其算法结构如图 2 所示。

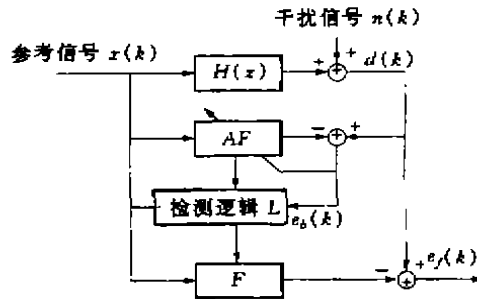


图 2 用自适应滤波器 AF 完成干扰信号的检测

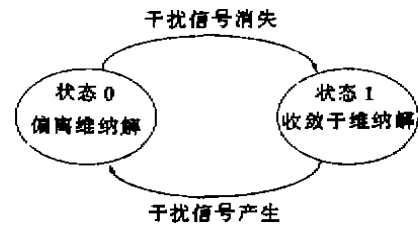


图 3 自适应滤波器的状态变化

图 2 所示的结构是由两个滤波器和一个控制逻辑组成。AF 称为后台自适应滤波器, 处于离线状态, 自适应滤波器 AF 通过自适应算法跟踪外部参数的变化; 滤波器 F 称为前台滤波器, 处于在线状态, 真正完成信号的滤波功能, 其参数是由 AF 提供的最优权值; L 为控制逻辑, 根据 AF 和 F 的滤波结果和输入参考信号控制 AF 的权系数何时传输到滤波器 F 中, 它实际是完成干扰信号的检测。

AF 的工作状态如图 3 所示, 其工作过程如下: 当 AF 处于状态 0 时, 只要突发干扰信号一消失, 其权系数很快收敛于最佳解, 并进入状态 1; 当突发信号一出现, AF 的性能变坏, 其解偏离维纳解, 返回状态 0。因而, AF 随着干扰信号的出现和消失, 在状态 0 和状态 1 之间来回摆动。

为了能使控制逻辑能准确及时地判断自适应滤波器 AF 所处的状态, 采用下面两个条件来设计控制逻辑, 如果在连断时间  $T$  内满足 (5)、(6) 两式, 则认为自适应滤波器处于状态 1:

$$\frac{L_{eb}(k)}{L_x(k)} \leq G, \quad (5)$$

其中  $L_{eb}(k) = (1 - 2^{-7})L_{eb}(k-1) + 2^{-7}|e_b(k)|$ ,  $L_x(k) = (1 - 2^{-7})L_x(k-1) + 2^{-7}|x(k)|$ ,  $G$  为一门限,  $G \ll 1$ .

$$L_{eb}(k) \leq (1 - \beta) \cdot L_{ef}(k) \quad (6)$$

其中  $L_{ef}(k) = (1 - 2^{-7}) \cdot L_{ef}(k-1) + 2^{-7} \cdot |e_f(k)|$ ,  $\beta$  为一门限,  $\beta < 1$ .

在外部干扰信号消失时, AF 的权值逐渐收敛于维纳解. 在连断时间  $T$  内满足条件 (5)、(6) 式时, 可将 AF 中已接近于收敛状态的权值传送到滤波器 F 中. 在以后的时间里, 控制逻辑不断将最优的权值传输给滤波器 F, 使 F 中的权值也收敛于维纳解. 一旦干扰信号产生时, AF 的权值开始偏离最优解, 通过控制逻辑会检测到这一变化. 因而这种已产生失调的权值不会送到滤波器 F 中.

对条件 (5)、(6) 式中参数的选择要折衷考虑, 滤波器 F 的权值因干扰产生失调与门限  $G$ 、 $\beta$  的取值有关. 当  $G$  太大或  $\beta$  太小时, 虽然在干扰消失时, 滤波器 F 的跟踪性能好; 但其对干扰产生的检测灵敏度下降, 在干扰一产生时, 会将已失调的权值送到滤波器 F 中, 从而产生很大的失调. 当  $G$  取值太小或  $\beta$  太大时, 虽然在干扰一产生时不会产生很大的失调, 但会使滤波器 F 的跟踪性能变坏.

采用这种结构, 其后台权系数不断调整, 保证良好的跟踪特性. 在传输控制条件的作用下, 前台选择后台的最优解, 实现在线滤波. 当突发噪声引起后台权值的失调, 在传输控制条件的保护下, 前台仍能维持自身的最优解, 提高了算法的抗噪声能力. 当外部参数变化后, 由于后台滤波器的跟踪能力很强, 一旦它收敛于最佳解, 其系数就会由传输控制逻辑送到前台. 这样, 三部分相互配合, 提高了算法的性能. 因而在突发干扰环境中其性能优于传统的结构, 这种结构适用于众多的场合.

### 3 性能模拟

最后对 AFDI 算法的性能作了计算机模拟. 在模拟中取  $H(z) = 1$ , 输入参考信号为白噪声信号, 干扰信号为一断续的语音信号, 在  $[0, 1800]$ 、 $[5000, 5400]$ 、 $[7200, 9000]$  为语音信号的静默期, 其它区间为语音信号的突发期. 在模拟中对  $\log \frac{E[x^2(k)]}{E[(e_b(k) - n(k))^2]}$ 、 $\log \frac{E[x^2(k)]}{E[(e_f(k) - n(k))^2]}$  在干扰环境下的性能进行了统计. 从图 4 的模拟结果可以看出, AFDI 结构具有很强的抗噪声能力.

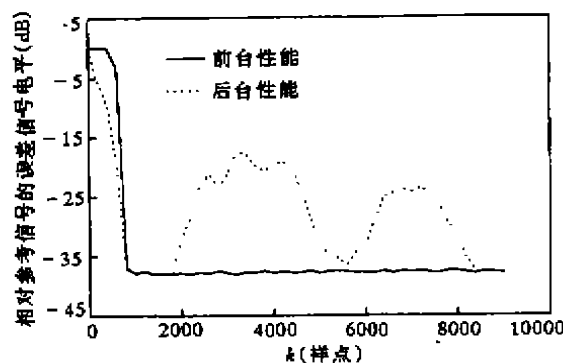


图 4 AFDI 在干扰环境下的性能

根据 AFDI 的算法思想, 实现了噪声抵消和回波抵消. 用该算法实现了 16ms 的回波抵消, 它对回波返损 (ERL) 的要求大为降低, 可以做到在 ERL 为 0dB 时也可正常抵消, 并且

双向通话时不产生性能恶化, 优于传统的回滤抵消器。同时, 还采用 AFDI 算法实现了噪声抵消。在采用一般的结构, 当讲话时输出噪声明显增大, 有时可以听到很严重的咔嚓声。而采用 AFDI 结构时, 讲话时无明显的噪声, 使噪声抵消器的性能大大提高。

### 参 考 文 献

- [1] Widrow B, *et al.* Adaptive Singal Processing. Canada: Prentice-Hall, 1985, 302-387.
- [2] Cowan C F N, *et al.* Adaptive Filter. Canada: Prentice-Hall, 1985, 257-282.
- [3] Haykin. Adaptive Filter Theory. Canada: Prentice-Hall, 1996, Chapter 9.
- [4] Minami, *et al.* A double talk dection method for an echo cancelling. ICC'85, Chicago: 1985, 1498-1502.

## A STUDY OF INTERFERENCE DETECTION ALGORITHM IN ADAPTIVE FILTER

Chen Jianhua    Xie Xiren

(*Institute of Communication Engineering, Nanjing 210016*)

**Abstract** The paper presents an algorithm for detecting interference in adaptive filter, because interference can deteriorate adaptive filter performance. The algorithm can improve the performance of adaptive filter under interference environment. The computer simulating results are given in this paper.

**Key words** Adaptive filter, Adaptive noise cancellation, Echo cancellation

陈建华: 男, 1967 年生, 博士, 主要从事信号处理和无线 ATM 的研究。

谢希仁: 男, 1931 年生, 教授, 博士生导师, 全军网络技术研究中心主任, 中国电子学会和中国通信学会会士, 美国 IEEE 高级会员。现从事的研究方向为计算机网络和通信网络的管理。