

文章编号 1000-5013(2002)03-0308-05

针对一种特殊干扰信号的自适应抵消器改进算法

胡 欣 戴在平 李元杰

(华侨大学信息科学与工程学院, 泉州 362011)

摘要 提出针对一种特殊干扰信号的自适应抵消器改进算法. 它既能有效地进行噪声抵消, 又在一定程度上加快收敛速度, 从而提高自适应抵消器在这种干扰环境下的性能. 文中通过严格的理论推理, 证明这种算法的可行性和优越性. 计算机仿真结果表明, 利用改进算法得到的抵消器输出结果, 明显优于传统算法所得的结果. 最后指出, 这种改进算法在范围上的特殊性.

关键词 自适应滤波, 噪声抵消, 迭代

中图分类号 TN 911.7 TN 911.1 TN 713⁺.702

文献标识码 A

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应用. 设计自适应滤波器时, 可以不必预先知道信号与噪声的自相关函数. 滤波过程中, 信号与噪声的自相关函数即使随时间作慢变化, 滤波器本身也能自动适应, 并可自动调节到满足最小均方误差的要求. 正是因为自适应滤波器具有以上许多的优点, 所以在许多工程实践的信号处理中自适应

滤波器已经得到了广泛的运用^[1]. 自适应抵消器就是它的一个重要的应用. 图 1 为自适应抵消器的原理图^[2]. 它有两个输入, 即原始输入和参考输入. 当用作噪声抵消器时, 原始输入为受干扰信号 $x(n) = s(n) + v_0(n)$, 而参考输入为与干扰 $v_0(n)$ 相关, 与信号 $s(n)$ 不相关的干扰 $v_1(n)$. 原始输入加到自适应滤波器的 d_j 端, 参考输入则加到自适应滤波器的 x_j 输入端. 图中自适应滤波器 AF 接受误差 e_j 控制调整 w_j , 使得它的

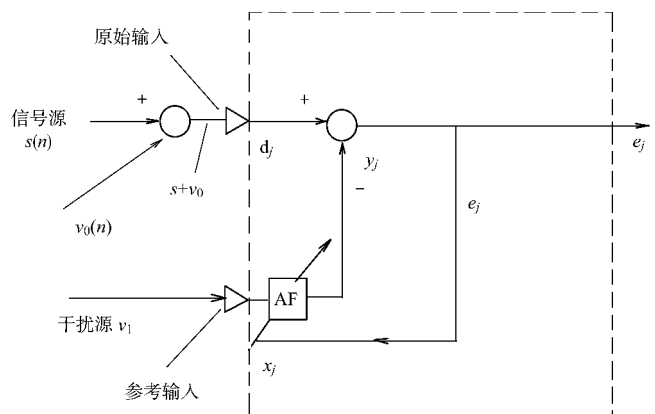


图 1 自适应抵消器

输出 y_j 等于 d_j 中与它相关的 v_0 . 于是 e_j 作为 d_j 与 y_j 之差, 就接近等于信号 $s(n)$. 自适应抵消器不要求预先知道信号和干扰分别的自相关函数. 当信号统计特性与噪声统计特性变化时,

自适应滤波器能自适应地调节它的冲激响应特性(即权系数 w_j),以适应新的情况.但是在实际应用中,会经常遇到这样一种特殊的干扰信号,其特征是包含有频繁出现幅值较大的脉冲.例如,在恶劣环境下通信中,系统时常遭受的一些强烈电磁干扰就属于这种干扰.这时,自适应滤波器会调节权矢量来适应干扰信号的变化,因而出现多次自适应调节过程,严重影响抵消器消噪效果.特别当干扰信号中这种脉冲出现过于频繁时,甚至会将有用信号淹没,使抵消器工作失效.针对这种干扰信号的特点,本文对抵消器中的自适应环节算法进行了改进,可以有效地提高自适应抵消器在这种干扰环境下的性能.

1 算法改进

在干扰下,传统算法的自适应抵消器会表现出这样一种性能:即当干扰信号稳定在一定幅值时,经过短暂的收敛时间后,自适应滤波器权值收敛于维纳解,抵消器输出收敛于真实信号.但是,在这种特殊的干扰信号出现时,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),从而使抵消器输出产生非常大的波动,严重影响抵消效果^[3].根据这一事实,本文提出了一种改进算法.

这种改进算法的具体内容是在自适应过程中,采用类似于离线训练的方法.即针对于每一次的采样过程,在一个采样周期之内,增加对自适应滤波器权系数的迭代次数.从而,使其权系数尽可能地收敛于维纳最优解.

下面证明在每一个取样周期内,增加一次迭代时权系数的变化情况.在自适应的递归最小二乘(RLS)算法^[4]中,确定 FIR 滤波器的权系数矢量 w 的递推式为

$$w(n) = w(n-1) + k(n)e(n|n-1). \quad (1)$$

在式(1)中

$$e(n|n-1) = d(n) - w^T(n-1)x(n),$$

$$k(n) = \frac{T(n-1)x(n)}{\lambda + x^T(n)T(n-1)x(n)},$$

$$T(n) = R^{-1}(n),$$

$$R(n) = \sum_{k=0}^n \lambda^{n-k} x(k)x^T(k),$$

上式中 λ 为指数加权因子,一般可取1.

不妨设 w 为一维,亦即滤波器阶数为1的情况来讨论.令 $x(n)$ 为滤波器输入信号, $d(n)$ 为期望响应,则权系数迭代关系式为

$$\begin{aligned} w(n) &= w(n-1) + \frac{x(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} (d(n) - w(n-1) \cdot x(n)) = \\ &= \frac{x^2(n-1)}{x^2(n) + x^2(n-1)} w(n-1) + \frac{x(n)d(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} = \\ &= \frac{1}{\left(\frac{x(n)}{x(n-1)}\right)^2 + 1} w(n-1) + \frac{x(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} d(n). \end{aligned} \quad (2)$$

这是传统算法的迭代关系式.下面按照 $w(n)$ 和 $w(n-1)$ 的迭代关系,再进行一次迭代,并用 $w(n)$ 来表示,可得

$$\begin{aligned}
 w(n) = & \frac{x^2(n-1)}{x^2(n) + x^2(n-1)} \left(\frac{x^2(n-1)w(n-1)}{x^2(n) + x^2(n-1)} + \right. \\
 & \frac{x(n)d(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} + \frac{x(n)d(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} = \\
 & \left[\frac{1}{\frac{x^2(n)}{x^2(n-1)} + 1} \right]^2 w(n-1) + \\
 & \frac{x(n)d(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)} \cdot \frac{2x^2(n-1) + x^2(n)}{x^2(n) + x^2(n-1)}. \quad (3)
 \end{aligned}$$

比较 $w(n)$, $w(n-1)$ 可发现, 如果输入信号中的干扰信号为上面所述信号, 那么, 当干扰信号中的高电平脉冲干扰到来时, 则 $x(n) \gg x(n-1)$, 以及

$$\begin{aligned}
 \left[\frac{1}{\frac{x^2(n)}{x^2(n-1)} + 1} \right]^2 & < \frac{1}{\frac{x^2(n)}{x^2(n-1)} + 1}, \\
 \frac{2x^2(n-1) + x^2(n)}{x^2(n-1) + x^2(n)} & \rightarrow 1.
 \end{aligned}$$

从而, 可推知 $\Delta w = w(n) - w(n-1) < \Delta w = w(n) - w(n-1)$, 权系数的发散因而得到了抑制, 尽可能地保持在最优状态, 减轻了因频繁的自适应过程而引起的较大波动, 使滤波效果得到保证。

利用上述算法不仅可以改善滤波效果, 而且可以加快收敛速度。因为权矢量迭代的一般公式为 $w(n+1) = w(n) + \mu(-\nabla(n))$, 当增加一次迭代次数时, $w(n+1) = w(n) + 2\mu(-\nabla(n))$, 收敛系数增大, 收敛速度得以加快。一般情况下, 收敛系数远小于 1, 因此在参数选取适当时收敛系数的增大不会引起发散。

实际应用中, 在干扰信号中脉冲电平幅度大约为干扰信号平均电平幅度的 20~50 倍时, 迭代次数可选为 2~3 次。

2 利用 Matlab 5.3 进行的仿真试验

取真实信号 $s(n) = \sin(6 \times \pi \times n) + \sin(30 \times \pi \times n)$, 如图 2 所示。 v_0 是普通干扰信号和本文所述的特殊脉冲信号叠加后的干扰信号。具体仿真时取以下两组干扰信号, 即干扰 1 为白噪声

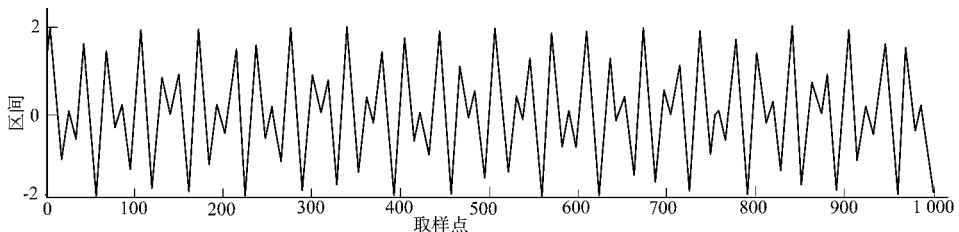


图 2 真实信号 $s(n)$

(共 1 001 个取样点)和在 54, 202, 525, 672, 838, 846 共 6 个取样点幅值为 40 的脉冲信号叠加; 干扰 2 为白噪声(共 1 001 个取样点)和在 43, 190, 305, 306, 541, 683, 684, 685 共 8 个取样点幅值为 40 的脉冲信号叠加。两组干扰信号中的脉冲干扰取样点以伪随机方式取得。在

第2组中的脉冲干扰信号, 还包括了具有2个及3个取样点宽度的信号. 两组干扰信号分别

如图3, 4所示. v_1 为与 v_0 相关的一个信号, 令 $v_1(i) = e^{\frac{(v_1(i-1)-1)^2}{6}}/2 + e^{\frac{(v_1(i-1)+1)^2}{6}}/2 + v_0(i)$, $n = 0 \sim 10$, $\lambda = 1$ 迭代次数取2.

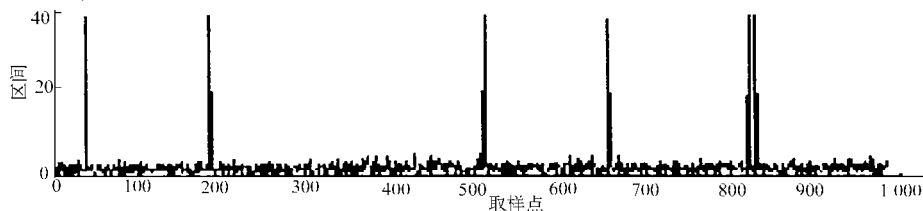


图3 第1组实际输入干扰信号 ($y \in [-2, 40]$)

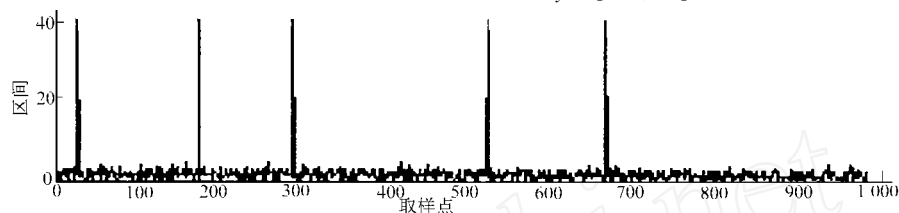


图4 第2组实际输入干扰信号 ($y \in [-2, 40]$)

在 Matlab 5.3 环境下, 基于 RLS 算法编写程序并进行仿真. 针对两组干扰信号, 利用改进算法得到的抵消器输出信号与真实值的差值, 如图5, 6所示. 利用传统算法得到的输出信号与真实值的差值, 如图7, 8所示.

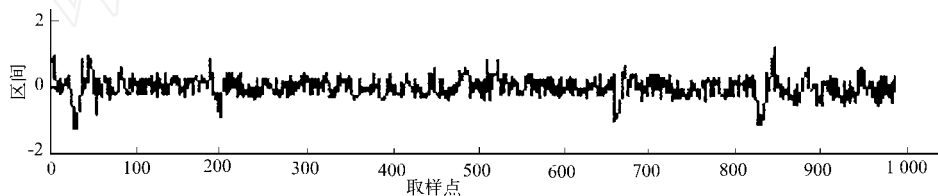


图5 针对第1组干扰信号利用改进算法得到的输出信号和真实信号差值

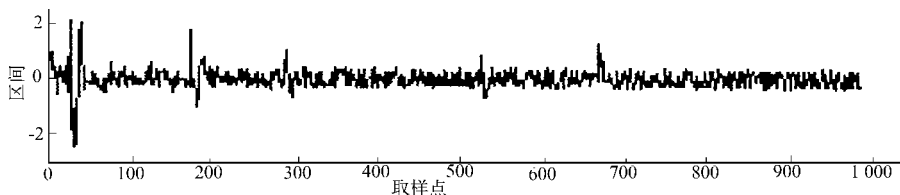


图6 针对第2组干扰信号利用改进算法得到的输出信号和真实信号差值

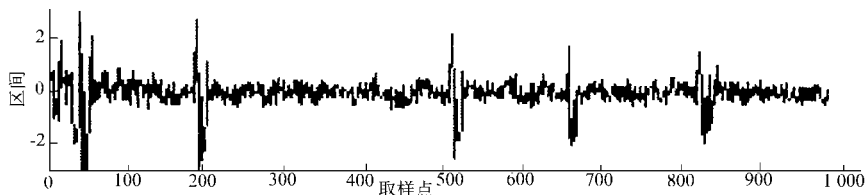


图7 针对第1组干扰信号利用传统算法得到的输出信号和真实信号差值

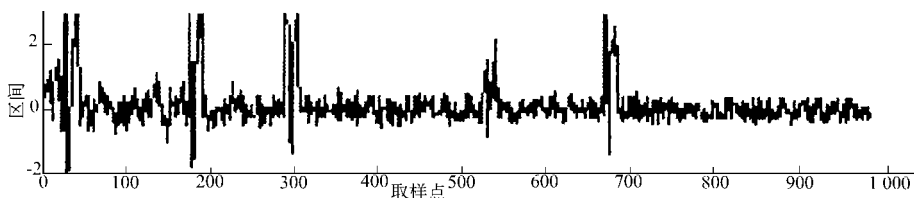


图 8 针对第 2 组干扰信号利用传统算法得到的输出信号和真实信号差值

3 结束语

从图 5~ 8 中可以看到, 利用改进算法得到的抵消器输出信号与真实信号的差值, 明显小于利用传统算法所得的结果, 收敛也有一定程度的加快. 这说明在处理上述特殊干扰信号时, 利用这种改进算法能有效地改善自适应抵消器的抵消性能. 而且, 在一定程度上能够加快收敛速度. 需要说明的是, 使用本文所述的算法无疑会增加运算量. 但是, 这种算法是针对一种特殊干扰信号而提出的, 具有很强的针对性. 在用传统的算法消除这种特殊干扰信号时, 已不能满足实际需要; 而使用改进算法虽然增加了运算量, 却能起到较好的效果. 因此, 这种算法还是具有实际应用价值的. 同时, 随着 CPR 速度的提高, 增加迭代次数在硬件中也可容易实现.

参 考 文 献

- 1 陈为忠, 庄其仁. 雾中成像实现的一个思路[J]. 华侨大学学报(自然科学版), 2001, 22(3): 257~ 260
- 2 吴兆雄, 邹理和. 数字信号处理: 下册[M]. 北京: 国防工业出版社, 1985 63~ 65
- 3 陈建华, 谢希仁. 在自适应滤波器中干扰信号检测算法的研究[J]. 电子科学学刊, 1999, 21(3): 420~ 423
- 4 姚天任, 孙 洪. 现代数字信号处理[M]. 武汉: 华中理工大学出版社, 1995 61~ 66

An Improved Algorithm of an Adaptive Canceller Directing against a Special Interference Signal

Hu Xin Dai Zaiping Li Yuanjie

(College of Info. Sci. & Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract Directing against a special interference signal, an improved algorithm is presented for the use of an adaptive canceller. By which not only the noise can be effectively cancelled but also the convergence can be speeded to some extent. The performance of adaptive canceller is thus improved under this interference environment. The feasibility and the superiority of this algorithm are proved by strictly theoretical inference. As indicated by computer simulation, the output result of canceller obtained by using improved algorithm is obviously better than that obtained by conventional algorithm. The particularity of this improved algorithm is pointed out finally.

Keywords adaptive filtering, noise cancellation, iteration