

文章编号 1000-5013(2000)04-404-04

一种改进的 MNVS 自适应滤波算法

李元杰 戴再平

(华侨大学电子工程系,泉州 362011)

摘要 提出一种改进的归一化变步长自适应滤波算法(ANVS).它对归一化变步长最小均方误差自适应算法(MNVS)作了进一步的改进,使之既具有较快收敛速度,又有快速跟踪能力.计算机仿真结果表明,该算法的性能明显优于MNVS算法,而其计算量与MNVS算法相当.

关键词 自适应滤波,变步长算法,最小均方误差法

中图分类号 TN 911.7:TN 911.1

文献标识码 A

在各种自适应算法(ADF)中,传统的LMS^[1]算法因计算量小、稳定性好、简单而被广泛用于时不变系统.但在时变系统应用时,其跟踪性能常不能满足要求.MNVS^[2]算法综合NVS^[3]算法和LMS算法,采用归一化变步长方法,提高了总体收敛性和动态跟踪性能.本文对MNVS算法进行了讨论,对其提出了进一步的改进.计算机仿真表明,改进后得到的ANVS算法总体收敛速度和跟踪性能优于MNVS算法.

1 MNVS 算法的改进及其性能

自适应滤波中广泛使用的LMS算法权系数迭代公式为

$$W_{j+1} = W_j + 2\mu\epsilon X_j. \quad (1)$$

其中 μ 为定步长, ϵ 为跟踪误差, X_j 为 j 时刻的输入矢量.理论分析表明,当步长 μ 一定时,ADF输出的收敛速度由谱动态范围 $d = \lambda_{\max}/\lambda_{\min}$ 决定,其中 λ_{\max} 和 λ_{\min} 分别为输入序列自相关矩阵 R 的最大与最小特征值, d 值大预示要花费很长的时间才会收敛到最佳权.由于 R 的特征值随输入信号强度的变化而改变,影响收敛速度和失调,甚至可能会破坏收敛条件.这就要求ADF算法有较大的动态范围,MNVS算法很好地适应了这一要求.首先,它在式(1)中引入了变步长因子 ϵ ,有

$$\epsilon = \begin{cases} C, & \text{当 } |\epsilon| \geq C, \\ |\epsilon|, & \text{当 } |\epsilon| < C. \end{cases} \quad (2)$$

因子 ϵ 的引入构成变步长,通过常数 C 对 $|\epsilon|$ 限幅的目的在于保证满足收敛条件,由此可将步长视为 $\mu_j = \mu \epsilon$.这使得在开始跟踪偏离大时,ADF自动地进行快速跟踪,以及进入稳态时保证小的失调.其次,MNVS算法考虑将输入功率归一化,即在式(1)的LMS算法的

权迭代公式中, 以 μ/p_j 代替 μ , 其中 p_j 为输入信号功率, 并以下式的一阶递归进行估计:

$$p_j = p_{j-1} + \theta(x_j^2 - p_{j-1}), \quad 0 < \theta < 1.$$

初值为 $\hat{p}_0 = x_0^2$. 由于特征值 λ 和 $\text{tr}R$ 均与输入功率 p_j 成比例, 因而 \hat{p}_j 引入可使 ADF 的性能保持稳定, 它不随输入强度的改变而改变, 从而扩大了 ADF 输入的动态范围.

为了克服 NVS 算法收敛到精确值时间长的缺点, MNVS 算法又综合了 LMS 算法在小误差区收敛快的特点, 最后得出算法

$$W_{j+1} = \begin{cases} W_j + (2\mu|\epsilon|/p_j)\epsilon X_j, & \text{当 } |\epsilon| = 1, \\ W_j + 2\mu\epsilon X_j, & \text{其它}. \end{cases} \quad (3)$$

式(3)的收敛条件为 $0 < \mu < 1/\lambda_{\max}$. 而稳态失调为 $M = \mu \text{tr}R$.

事实上, MNVS 是通过 NVS 算法变步长因子进行判断, 从而保证该算法对大输入动态范围信号具有良好跟踪性, 以及在渐进稳态时收敛较快的特点. 在此我们对 MNVS 算法的比较运算作进一步的考虑, 可将式(3)中的步长视为 $\mu_j = \mu|\epsilon|/p_j$, 变步长因子为 $|\epsilon|/p_j$. 在满足收敛条件的情况下, 对 $|\epsilon|/p_j$ 进行判断, 即

$$W_{j+1} = \begin{cases} W_j + (2\mu|\epsilon|/p_j)\epsilon X_j & \text{当 } |\epsilon|/p_j = 1 \\ W_j + 2\mu\epsilon X_j. & \text{其它}. \end{cases} \quad (6)$$

同时, 在将输入功率归一化时, 采用下式的递归法进行估计,

$$p_j = p_{j-1} + (x_j + x_{j-N})(x_j - x_{j-N}). \quad (7)$$

初值 $\hat{p}_j = \sum_{n=0}^j x_n^2$, ($j = N-1$), 这里 N 为滤波器阶数.

本算法各变量的定义与 MNVS 算法相同, 收敛条件和稳态失调为:

$$0 < \mu < (1/\lambda_{\max}), \quad M = \mu \text{tr}R. \quad (8)$$

在计算量上, ANVS 算法虽然在每次比较时比 MNVS 算法多了一次除法, 但在估计功率时仅用了 3 次加法, 1 次乘法, MNVS 用了 2 次乘法, 2 次加法, 所以两者的总计算量近似.

2 计算机仿真及结论

为了对 ANVS 算法、MNCS 算法、以及 LMS 算法进行比较, 构造一个系统辨识器(如图 1 所示).

图中线性系统为一横向滤波器, x_j 是输入信号, y_j 是滤波器的输出信号, v_j 是随机噪声, \hat{y}_j 是 y_j 的估计值, ϵ_j 是估计误差, N 为波滤波器阶数, $W_j(i)$ 为 j 时刻的滤波器的第 i 个系数, $\hat{W}_j(i)$ 是 $W_j(i)$ 的估计值.

2.1 收敛性比较

输入 x_j 取随机相位的正弦波序列, 即

$$x_j = A \cos(2\pi j f / f_s + v_j).$$

v_j 为在 $[-0.5, 0.5]$ 之间均匀分布的随机序列. 为便于比较, 令线性系统与 ADF 的阶数均为 $N = 5$, $f = 1\,000$

Hz, 输入采样频率为 $f_s = 8\,000$ Hz. 由于文 [2] 中已详细地比较了 MNVS 与 LMS 的性能, 在此只比较 MNVS 与改进后算法的收敛性及跟踪性能. 图 2, 3, 4 分别为两种算法在不同误差区域的收敛性能曲线, 图中 $|e|$ 为跟踪误差, n 为迭代次数. 图 2 是整个范围的收敛曲线, 反映

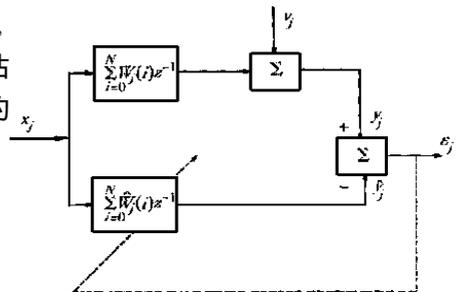


图 1 自适应系统辨识器

出ANVS算法总的收敛速度大于MNVS算法. 图3(a)是收敛误差较大区域的收敛性能曲线,反映了两种算法的跟踪性能. 从图中可以看出,ANVS算法优于MNVS算法. 图3(b)是小误差区的收敛性能比较,即ANVS算法在渐进稳态后的收敛速度也优于MNVS算法. 由此可以看出,由于采用改进了的ANVS算法,因而具有更好的快速跟踪能力和更小的稳态失调度. 同时实验表明,在较大输入动态范围情况下,ANVS算法中算子的选取范围大于MNVS算法,因而更稳定.

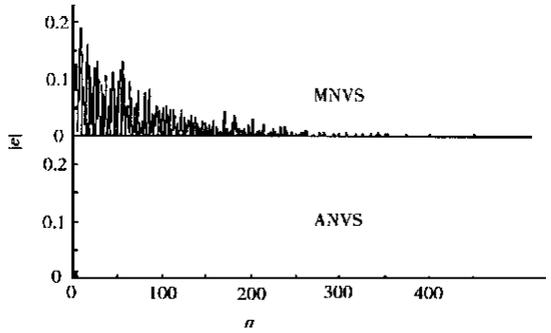
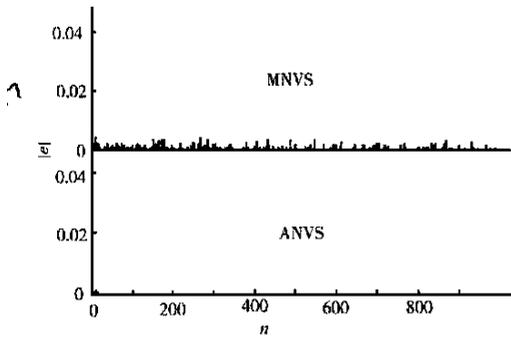
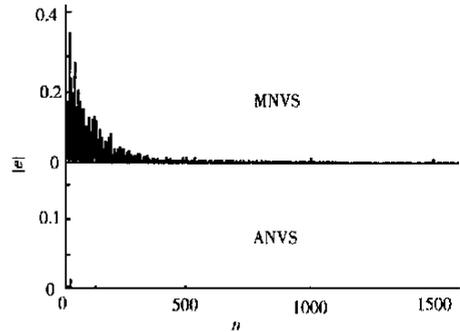


图2 整个收敛范围内的收敛性能比较



(a)

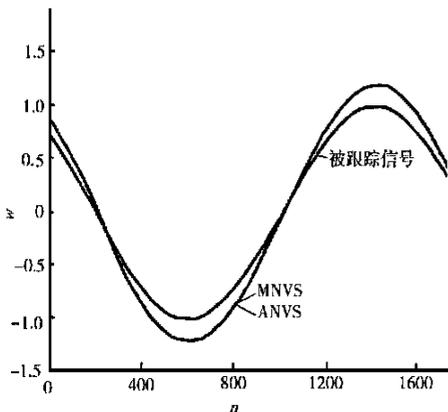


(b)

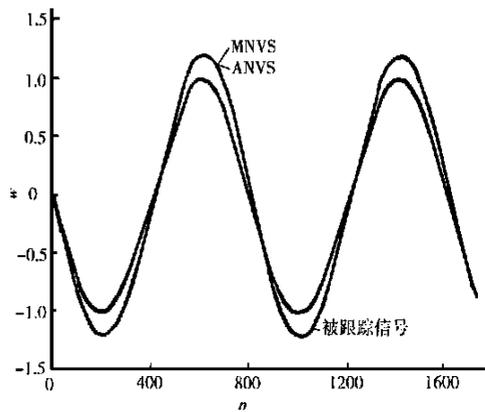
图3 误差区域内的收敛性能比较

2.2 动态跟踪性比较

实验条件为 x_j 同上, 权系数 w_j 按 5 Hz 的正弦规律变化时, 权系数的跟踪情况如图 4(a) 所示. 当权系数 w_j 变化较快, 以 10 Hz 的正弦规律变化时, 如图 4(b) 所示. 从图中可以看出,



(a)



(b)

图4 ANVS算法与MNVS算法的跟踪性比较

两种算法特性曲线基本重合,即在用于时变系统的动态跟踪时,ANVS算法具有与MNVS同

样良好的动态跟踪性能。

3 结束语

通过对具有其它特征的输入随机信号进行仿真实验, 同样也可以得出上述结论, 限于篇幅, 在此不一一例举。以上实验表明, ANVS 算法在充分吸取了 MNVS 算法优点的基础上, 对其中的比较条件进行了改进, 使得整体的收敛速度和稳态失调有了进一步的提高和改善。其在动态跟踪方面也不劣于 MNVS 算法, 且运算量与 MNVS 算法相当。

本文提出的 ANVS 算法对 MNVS 算法作了进一步改善。因其稳定、计算量小, 可以广泛用于时不变系统和时变系统的自适应滤波, 因而有很好的实用价值。

参 考 文 献

- 1 张贤达. 现代信号处理[M]. 北京: 清华大学出版社, 1995. 154 ~ 159
- 2 胡爱群, 何振亚. 一种改进的归一化变步长最小均方误差自适应滤波算法[J]. 信号处理, 1995. 11(2): 110 ~ 115
- 3 项楚骐, 田 坦, 张建勋等. 一种归一化变步长自适应滤波的快速跟踪算法[J]. 信号处理, 1992. 8(2): 112 ~ 118

An Improved Algorithm of Normalized Variable Stepsize for Adaptive Filtering

Li Yuanjie Dai Zaiping

(Dept. of Electron. Eng., Huaqiao Univ., 362011, Quanzhou)

Abstract An improved algorithm of normalized variable stepsize (ANVS) is proposed for adaptive filtering. It is a further improvement of MNVS, namely, the adaptive algorithm of normalized variable stepsize with least mean square error. ANVS is characterized by a fairly fast convergence rate and a fast trace ability. As indicated by the results of computer simulation, the performance of ANVS is obviously better than that of MNVS while both of them are well-matched in computing workload.

Keywords adaptive filtering, algorithm of variable stepsize, least mean-square error