

基于 NLMS 算法的自适应滤波器的研究与应用

万政伟¹ 惠晓威¹ 朱婷² (1.辽宁工程技术大学 电信学院 辽宁 葫芦岛 125105;

2.商丘职业技术学院 语言文学系 河南 商丘 476000)

摘要: 对改进的 NLMS 自适应滤波器算法与传统的 LMS 算法进行了较全面的性能比较,利用 Matlab 程序分别仿真分析了两种算法的误差、收敛速度和稳定性等特性。在改进的 NLMS 算的基础上给出了自适应滤波器的原理结构,并仿真了其在去除噪声信号中的应用。分析结果表明:改进的 NLMS 自适应滤波器算法相对于传统的 LMS 自适应滤波器算法在减小误差方面优势明显。以上 NLMS 自适应滤波器特性分析结果对于智能天线设计具有指导意义。

关键词: 自适应滤波器;结构;仿真;信号处理

Research and Realization of Automatic Adaptive Equalizer Based on NLMS Algorithm

WAN Zheng-Wei¹, HUI Xiao-Wei¹, ZHU Ting² (1.Electronics and Information Engineering College of Liaoning Technical University, Huludao 125105, China; 2.Shangqiu Polytechnic Institute, Shangqiu 476000, China)

Abstract: This paper makes a comparison between common LMS and NLMS. It analyzes their error, convergence speed and stability of different algorithms with Matlab program. The structure of the Adaptive Filter based on the NLMS and the simulation of its application in the removal of noise signal are given. The results show that improved NLMS algorithm can significantly help the Smart Antenna receive signals with less error. The analysis of the NLMS Adaptive Filter is useful to the design of Smart Antenna.

Keywords: adaptive filter; structure; simulation; signal processing

1 引言

LMS 算法是智能天线的-一个基本而重要的算法,基于该算法而设计的各种形式的阵列天线已广泛的应用于各种自适应天线系统,它们在改善系统性能方面发挥着重要的作用。但是传统的 LMS 自适应滤波器算法存在误差大等缺点,为了克服这些缺点,近年来人们提出很多方法来改进传统的 LMS 算法,如泄露 LMS 算法、极性 LMS 算法等^[1],下面我们对使用最为广泛的 NLMS 算法进行研究和分析,探讨基于 NLMS 算法的自适应均衡滤波器的原理,并利用 MATLAB 程序对这种自适应均衡滤波器进行仿真。

2 算法分析

2.1 传统 LMS 算法

LMS 算法习惯上被称为 Widrow and Hoff LMS

算法,是经典的自适应滤波器算法,具有实现简单,计算量小等优点,同时也具有收敛速度慢等缺点,但是仍然得到普遍应用。

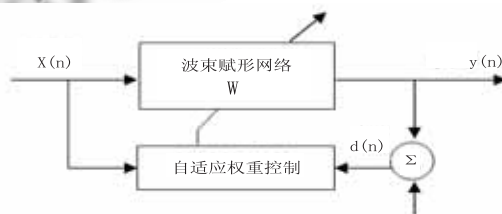


图1 波束赋形器原理图

LMS 算法是一种自适应波束赋形算法,如图1所示,可分为波束赋形和自适应权重控制两个部分,通过迭代的方法来求解 MMSE 准则下的最优权重。

具体过程如下^[2]:

基金项目:辽宁省教育厅基金(2004D028)

收稿时间:2009-07-12;收到修改稿时间:2009-09-05

在 M 阵元的均匀直线阵中，假设统计是平稳的，在时刻 n, $W(n)=[b_0(n), b_1(n), \dots, b_{M-1}(n)]^T$ 为加权向量， $X(n)=[X(n), X(n-1), \dots, X(n-M+1)]^T$ 为参考输入向量， $d(n)$ 是主输入信号， $y(n)$ 是期望输出值， $e(n)$ 是既是误差信号，也是系统输出值，M 是滤波器长度。LMS 算法的理论依据有：最小均方误差准则和最陡下降原理。滤波器算法的目的是使输出信号 $y(n)$ 与期望信号 $d(n)$ 之间的均方误差 $E(e^2(n))$ 最小。根据维纳-霍夫方程，最小均方误差可以表示为： $\epsilon_{\min} = E(e^2(n)) = \sigma_d^2 - p^T R^{-1} p = \sigma_d^2 - p^T W^*$ ，其中 $W^*(n)$ 为 $W(n)$ 的估计。由最速下降法可知， ϵ 面上的某点负梯度方向就是 ϵ 下降最快的方向，因此，权矢量 $W_{i+1}(n)$ 等于 $W_i(n)$ 和一个正比于梯度 ∇_i 的负值变化量之和，即：

$$W_{i+1}(n) = W_i(n) - \mu \nabla_i \quad (1)$$

根据上面的权矢量公式的推导，再由最速梯度公式 $W_0(n+1) = W_0(n) - \mu(dW_0(n)/dW_0(n))$ ，可得： $W_{i+1}(n) = W_i(n) - 2\mu e_i X_i$ ，其中 $e_i = d_i - X_i$ 。

综上所述，LMS 算法可以归结为以下三步：

计算误差信号：已知时刻 n 的滤波器滤波系数矢量估值 $W(n)$ ，输入信号矢量 $X(n)$ 及期望信号 $d(n)$ ，得出 $e(n) = d(n) - W^T(n)X(n)$ (2)

更新滤波器系数矢量估值：

$$W(n+1) = W(n) + e(n)X(n) \quad (3)$$

循环执行：将时间指数 n 增加 1，返回到第一步循环执行，直到滤波器输出信号达稳定状态为止。

2.2 改进的 NLMS 算法

NLMS 算法又称归一化 LMS 算法，是采用变步长的方法来缩短自适应收敛过程，变步长的公式为：

$$W(n+1) = W(n) + e(n)X(n) \quad (4)$$

式中， $e(n)X(n)$ 表示滤波权矢量迭代更新的调整量。为了达到快速收敛的目的，必须合适的选择变步长的值，一个可能策略是尽可能多地减少瞬时平方误差，即用瞬时平方误差作为均方误差的 MSE 简单估计，这也是 LMS 算法的基本思想。可以得到进行修正的权系数迭代公式：

$$W(n+1) = W(n) + \mu\gamma + X^T(n)X(n)e(n)X(n) \quad (5)$$

变步长可以用 $\mu(n)$ 来表示，即： $\mu(n) + \mu\gamma + X^T(n)X(n)$ ，其中，参数 μ 为控制失调的固定收敛因子，参数 γ 是为了避免 $X^T(n)X(n)$ 过小导致步长太大而设置的， $0 \leq \gamma \leq 1$ 。为了保证自适应滤波器能够稳定工作，固定收敛因子 μ 的选取应满足的数值范

围如下： $0 < \mu < 2$ 。

由式 $\mu(n) + \mu\gamma + X^T(n)X(n)$ 可以看出，等效步长 $\mu(n)$ 是输入信号的非线性变量，随着 γ 在 $[0, 1]$ 之间不断变化，可以使步长由大逐渐变小，加速了收敛过程。

2.3 NLMS 算法的性能分析

为了分析 NLMS 算法的性能，利用 Matlab 程序分别对传统的 LMS 算法和 NLMS 算法的误差权矢量和实际输出信号波动进行对比仿真，在输入信号能量和信噪比相同的情况下，利用传统的 LMS 算法和 NLMS 算法进行信号调制[3]，其各自的误差和信号波动的结果如图 2，图 3 所示。

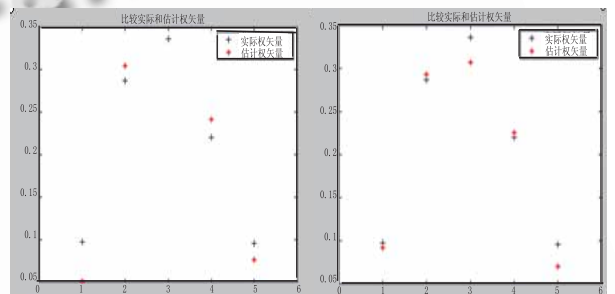


图 2 LMS、NLMS 算法的实际权矢量与误差权矢量比较

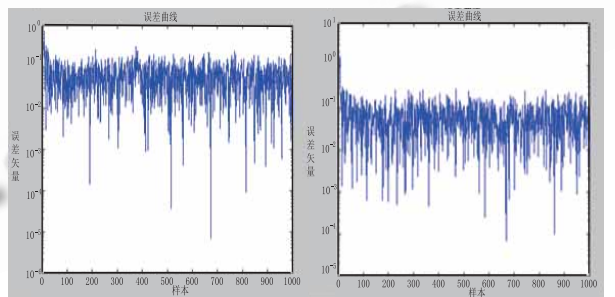


图 3 LMS、NLMS 算法实际输出信号误差曲线比较结果分析

表 1 用 NLMS 算法设计的自适应滤波器系数如下[4]

序号	1	2	3	4	5
1 次	0.0503	-0.0730	0.0461	0.0132	0.1202
20 次	0.0128	0.0330	-0.0275	-0.0765	0.1512

通过仿真结果观察不同步长情况下的平均误差曲线，如图 4 所示，可以看出，步长越小，平均误差越小，但收敛速度越慢，为了保证精度，必然牺牲收敛

速度；当降低信噪比时，尽管 20 次平均仍有好的结果，但单次实验的误差曲线明显增加，这是更大的噪声功率对随机梯度的影响。

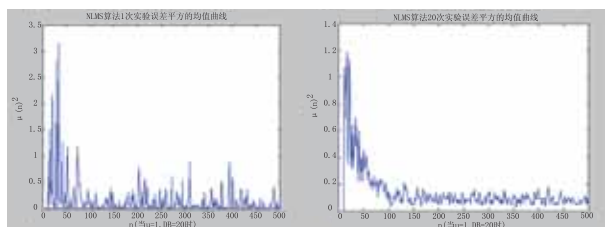


图 4 NLMS 算法试验误差平方均值曲线比较

如图 2、图 3 所示，与传统的 LMS 算法相比，NLMS 算法在减小信号误差方面有一定的改进。但由于在收敛过程开始时，误差略大，初始化收敛过程较慢，因而收敛速度相对于传统的 LMS 算法没有明显的改善。

3 基于 NLMS 算法的自适应滤波器的设计

常见的滤波技术有维纳滤波和卡尔曼滤波和自适应滤波：维纳滤波器参数是固定的，适合于平稳随机信号。卡尔曼滤波器参数是时变的，适合于非平稳随机信号。然而，只有在输入信号和噪声的统计特性先验已知的情况下，以上两种滤波技术才能获得最优滤波。在实际应用中，往往无法得到输入信号和噪声统计特性的先验知识。在这种情况下，自适应滤波技术能够获得极佳的滤波性能，因而具有很好的利用价值。

为了改善自适应均衡滤波器的误差特性，本文采用改进的 NLMS 算法来构建自适应均衡滤波器。图 5 就是一种基于 NLMS 算法的自适应滤波器的原理结构图。

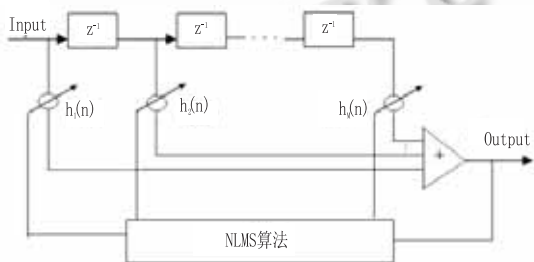


图 5 基于 NLMS 算法的自适应滤波器的原理结构图

4 NLMS 算法在去除噪声中的应用

基于 NLMS 算法的自适应滤波器去除噪声的基本原理是将输入信号与参考信号进行抵消运算，从而消除输入信号中的噪声。其中的参考信号一定要与输入

信号中的噪声具有一定相关性，而与要检测或提取的信号不相关^[4]。

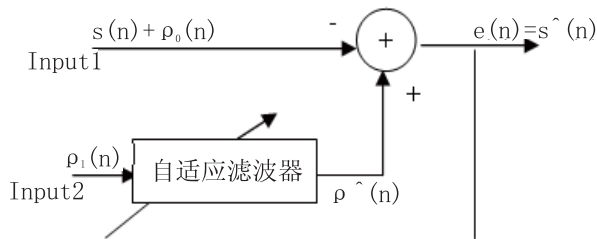


图 6 自适应滤波器去除噪声原理

如图 6 所示，输入信号为 $s(n) + \rho_0(n)$ ， $\rho_0(n)$ 为噪声信号，为了提取出有用信号 $s(n)$ ，假设输入参考信号 $\rho_1(n)$ 与噪声信号 $\rho_0(n)$ 来自于同一噪声源，因此， $\rho_1(n)$ 与 $\rho_0(n)$ 是相关的，而 $\rho_0(n)$ 、 $\rho_1(n)$ 与有用信号 $s(n)$ 是互不相关的。

参考信号 $\rho_1(n)$ 通过自适应滤波器调整后得到噪声信号 $\rho_0(n)$ 的最佳估计 $\rho_0^{\wedge}(n)$ ，将输入信号 $s(n) + \rho_0(n)$ 和 $\rho_0^{\wedge}(n)$ 进行抵消运算，即可提取出有用信号 $s(n)$ 。

下面以夹杂着高斯白噪声信号的正弦信号为输入信号，运用自适应滤波器方法来去除噪声干扰，提取有用信号，并用 MATLAB 对去噪过程进行仿真，仿真结果图 7 所示：

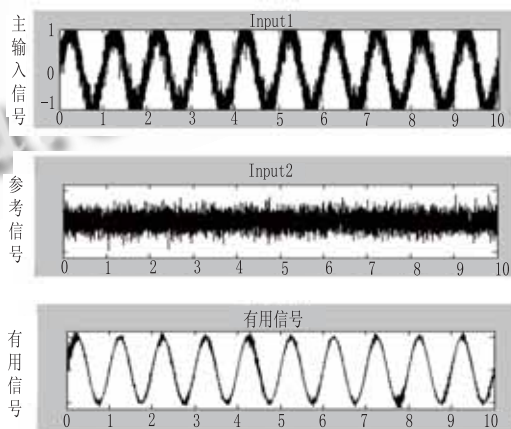


图 7 自适应滤波器去除噪声结果仿真

5 结论

通过仿真分析，可以看出：对于高斯信号来说，NLMS 算法的收敛性能非常接近于传统的 LMS 算法，没有明显的改善。但与传统的 LMS 算法相比，NLMS (下转第 36 页)

算法在减小信号误差方面有一定的改进。

基于 NLMS 算法的自适应滤波器可以使输出信号的误差明显减小,避免了基于传统 LMS 算法的自适应滤波器由于误差大而导致智能天线接收信号精度不高的缺点,这些在智能天线设计中有着广泛的应用。

参考文献

1 黄武襄,王振五. CDMA 系统中的几种智能天线自适

应算法.重庆邮电学院学报(自然科学版), 2004, 16(4):17 - 21.

2 何振亚.自适应信号处理.北京:科学出版社, 2002. 1 - 59.

3 张秦,冯存前.变步长 LMS 算法及其在自适应消噪中的应用.现代电子技术, 2003,32(14):15 - 18.

4 李正周. MATLAB 数字信号处理与应用.北京:清华大学出版社, 2008. 10 - 78.