

混沌通信系统中自适应解调技术的仿真研究

刘剑波, 叶春飞, 张树京

(上海铁道大学电信系, 上海 200331)

摘 要: 在混沌参数调制技术中, 为了有效地提取混沌系统参数, 本文在文献[4]的基础上, 对自适应滤波算法的性能进行了仿真研究, 并修正了其中的错误。仿真结果表明自适应滤波技术能够快速收敛, 并能克服其它混沌控制技术中只对慢变信号有效这一局限性。

关键词: 自适应滤波; 混沌通信

中图分类号: TN **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112 (2000) 01-0099-02

Simulation Investigation on Adaptive Demodulation Technique for Chaotic Communication Systems

LIU Jian-bo, YE Chun-fei, ZHANG Shu-jing

(Dept. of Telecommunications, Shanghai Teidao University, Shanghai 200331, China)

Abstract: In order to better estimate the bifurcation parameter of the chaotic system, performance of adaptive filter based on paper [4] is investigated in this paper, and an error is corrected at the same time. Simulation results show that the adaptive filter can make chaotic series converge quickly, and overcomes the limitation that the transmitted signal should be show-varying, which is required by other chaotic control methods.

Key words: adaptive filter; chaotic communication

1 引言

近年来, 利用混沌系统实现保密通信引起了众多学者的兴趣。由于混沌信号具有高度的随机性, 同时又是由系统及参数所决定的, 使得它在保密通信中有极佳的应用前景。混沌参数调制技术将所传输的信号隐藏在混沌系统的参数中, 在接收端通过恢复系统参数来提取所传输的信号, 从而达到保密通信的目的。

为了有效地提取混沌系统参数, 自适应技术被引入到参数估计中来。文献[1]采用了局部 Lyapunov 指数跟踪的方法。文献[2,3]讨论的自适应参数估计方法要求混沌系统具有自同步特性, 而现有的具有自同步特性的混沌系统并不多, 因而就限制了这类方法在保密通信中的应用。此外这些方法的共同缺点是要求所传输的信号是慢变化的, 而无法用于快变信号和时变信号。

文献[4]提出了利用自适应滤波算法提取混沌系统参数的方法。本文在此基础上, 对递推最小二乘算法(RLS)和最小均方算法(LMS)的性能进行了仿真研究, 同时修正了文献[4]在使用 RLS 算法时的一个错误, 并给出其相应的仿真结果。

2 自适应滤波算法

本文中混沌系统采用 logistic 映射, 其状态方程为

$$x_t = \lambda x_{t-1}(1 - x_{t-1}) \quad (1)$$

式中 λ 为所调制的系统参数。

考虑到 RLS 算法性能不稳定, 这里采用一种较为稳定且跟踪能力强的 RLS 算法^[5]。

设在时刻 n 抽头输入矢量为 $u(n)$, 其相关矩阵 $\phi(n)$ 递推更新算法为

$$\phi(n) = \epsilon \phi(n-1) + u(n)u^H(n) \quad (2)$$

其中 ϵ 为该算法的记忆参数。对式(2)求逆可得

$$\phi^{-1}(n) = \epsilon^{-1} \phi^{-1}(n-1) - \frac{\epsilon^{-2} \phi^{-1}(n-1) u(n) u^H(n) \phi^{-1}(n-1)}{1 + \epsilon^{-1} u^H(n) \phi^{-1}(n-1) u(n)} \quad (3)$$

$$P(n) = \phi^{-1}(n) \quad (4)$$

$$K(n) = \frac{\epsilon^{-1} P(n-1) u(n)}{1 + \epsilon^{-1} u^H(n) P(n-1) u(n)} \quad (5)$$

则

$$P(n) = \epsilon^{-1} P(n-1) - \epsilon^{-1} K(n) u^H(n) P(n-1) \quad (6)$$

令抽头更新算法为

$$\hat{W}(n) = \hat{W}(n-1) + K(n)e(n) \quad (7)$$

误差方程为

$$e(n) = d(n) - \hat{W}^H(n) u(n) \quad (8)$$

利用式(5)~(8)可以恢复出混沌系统的参数。文献[4]在推导式(3)时丢失了分母中的一项 $u(n)$, 因而导致了计算结果的不正确。

收稿日期: 1998-08-06; 修订日期: 1998-10-31

基金项目: 上海市启明星计划(No. 96QF14013)资助课题

为了比较 RLS 算法的性能,本文还对 LMS 算法进行了仿真研究^[4].

3 计算仿真

我们利用正弦信号进行计算机仿真.设由正弦信号调制的混沌系统为

$$x_t = (3.85 + 0.1 \sin(t/5)) x_{t-1} (1 - x_{t-1}) \quad (9)$$

由于 LMS 算法是建立在用梯度搜索法求最小值的基础上,因

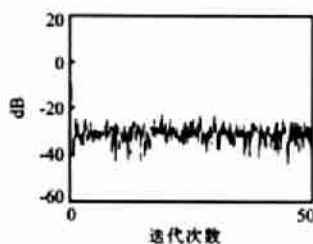


图 1 LMS 算法的收敛性能

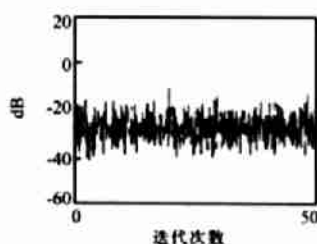


图 2 RLS 算法的收敛性能

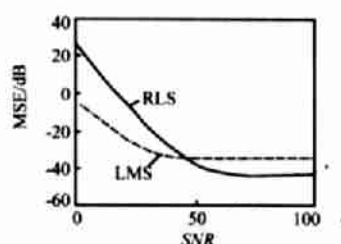


图 3 两种算法的 MSE 性能比较

$$MSE = \frac{1}{N} \sum_{t=1}^N (W(t) - \lambda(t))^2 \quad (10)$$

对于不同的信噪比, MSE 的性能如图 3 所示.从图中可以看出,在信噪比较小的情况下, LMS 算法要优于 RLS 算法;而在信噪比较大时, RLS 算法要优于 LMS 算法,并且 RLS 算法较 LMS 算法的 MSE 下界低约 10dB.而文献[4]因算法有误而得到的两个 MSE 曲线几乎一致.

从图 3 可看出,具有较快收敛速率的 RLS 算法并不总是比 LMS 算法优越,原因是自适应滤波算法的性能不仅受到收敛速率的影响,而且还受到由于噪声引起的算法本身波动的影响.实际上, LMS 算法在跟踪性能上较 RLS 算法要好^[5].

4 结论

通过对自适应滤波技术的仿真研究,可以发现该技术收敛速度快,能有效地提取快变和时变信号,因而拓宽了混沌参数调制技术的适用范围.而 LMS 算法较 RLS 算法性能更优.

参考文献

- [1] R. Ramaswamy, et al. Targeting chaos through adaptive control. Phys. Rev. E, 1998, 57(3): 2507 ~ 2510
- [2] A. K. Kozlov, et al. Exact synchronization of mismatched chaotic systems. Int. J. Bifurcation and Chaos, 1996, 6(3): 569 ~ 580

而其收敛性能较 RLS 算法差,并且其收敛速率受收敛因子 μ 的影响很大^[5].经过实验发现当 μ 取 9.9 时收敛速率较快且失测量较小.图 1、图 2 给出了 LMS 和 RLS 算法的收敛性能,此时 RLS 算法中参数 ϵ 取 0.11, $P(n)$ 的初值取 122,信道噪声方差 $\sigma_n^2 = 0.5$.以 $E[(W(n) - \lambda(n))^2]$ 作为性能测量指标,可以看到这两种算法的收敛性能均较理想,而 RLS 算法的收敛速度更佳.

为了检验 LMS 和 RLS 两种算法的解调性能,这里采用均方误差(MSE)作为性能测量指标.

- [3] A. Y. Markov. Adaptive synchronization of speed gradient method with application to communications. COC'97, St. Petersburg: 376 ~ 378
- [4] H. Leung, J. Lam. Design of demodulator for the chaotic modulation communication system. IEEE Trans CAS- I, 1997, 44(3): 262 ~ 267
- [5] S. Haykin. Adaptive Filter Theory. Second Edition. Englewood Cliffs, NJ: Prentice Hall, 1991



刘剑波 1972 年生, 1994 年毕业于陕西师范大学物理系, 1997 年获西安电子科技大学无线电物理系硕士学位, 现为上海铁道大学电信系博士研究生. 研究方向为混沌理论及其在通信领域中的应用.



叶春飞 1962 年生, 分别于 1982、1985 和 1994 年获浙江大学、中国电波传播研究所(西安电子科技大学代培)和东南大学理学学士、工学硕士和工学博士学位. 曾先后在南京邮电学院和美国麻省理工学院工作, 现为上海铁道大学副教授, 中国电子学会高级会员, IEEE 高级会员, 作为第一作者已发表论文二十余篇. 主要研究方向为子波变换、混沌信号处理、天线与电波传播.