

超混沌 M-G 系统参数辨识及其在通讯中的应用

卢辉斌, 李丽香, 彭海朋, 关新平, 郑绳榷

(燕山大学, 河北秦皇岛 066004)

摘要: 连续时滞混沌系统是无穷维系统, 这样的系统可产生具有多个正的 Lyapunov 指数的超混沌现象, 因此系统可产生复杂的时间序列. 这个特征使它特别适用于保密通讯. 基于此分析, 首先本文对 M-G 超混沌系统的 c 参数进行辨识研究, 给出一种辨识 M-G 系统 c 参数的新方法. 然后, 尝试用欲传输的信号对系统的 c 参数进行调制, 在接收端利用本文提出的参数辨识方法来解调, 从而实现数字信号的保密通信. 最后大量仿真发现, 当辨识的收敛时间小于数字脉冲的持续时间时, 本文的方法可以很好的进行解调.

关键词: 参数辨识; 时滞超混沌系统; 保密通信

中图分类号: O545 **文献标识码:** A **文章编号:** 0372-2112(2002)02-0289-03

A New Method of Parameter Identification of Time-Delay Hyperchaotic M-G System with Application to Communication

LU Hui-bin, LI Lixiang, PENG Haipeng, GUAN Xinping, ZHENG Shengxuan

(Yanshan University, Qinhuangdao, Hebei 066004, China)

Abstract: Continuous time delay chaotic system is the infinite dimensional system which can produce several positive Lyapunov exponents, so such system can produce complex time sequences. This character make it suitable to be applied to secure communication. Based on this analysis, in this paper we first research on the identification of C parameter in M-G hyperchaotic system and propose a new method of identifying C parameter in M-G system. Secondly we attempt to modulate C parameter of this system using the message signal in the transmitter, and at the receiver the message signal is demodulated by using our method of parameter identification. Thus we realize the secure communication. The numerical simulations show that the proposed method can demodulate the message signal well when the convergence time of identification is smaller than the duration of the digital signal.

Key words: parameter identification; time delay hyperchaotic system; secure communication

1 引言

把混沌应用于保密通讯中是一种新的尝试. 对于混沌保密通讯, 大量的研究集中于只有一个正的 Lyapunov 指数的低维混沌系统, 这样的系统由于复杂性不高, 在保密通信中很容易被破译^[1]. 对于具有多个正的 Lyapunov 指数的高维系统(非时滞超混沌系统), 它产生的时间序列具有高随机性, 因此目前很多的研究集中于此^[2]. 但非时滞超混沌系统仍然有如下缺点: (1) 系统是有限维的, 系统正的 Lyapunov 指数的个数局限于系统的维数. (2) 随着系统正的 Lyapunov 指数个数的增加, 系统的结构往往变得复杂、庞大, 对于实际应用来说, 这是非常不利的.

时滞混沌系统是无穷维系统, 具有无穷维状态空间, 可以产生具有多个正的 Lyapunov 指数的奇怪吸引子. 系统正的 Lyapunov 指数的个数不再受系统维数的限制, 甚至一个十分简单的 M-G 时滞系统就可以产生具有多个正的 Lyapunov 指数的超混沌系统, 例如^[3]:

$$\dot{x} = ax(t - \tau) / [1 + x^b(t - \tau)] - cx$$

当 $a = 0.2$, $b = 10$, $c = 0.1$ 并且 $\tau = 100$ 时, 系统具有 5 个正的 Lyapunov 指数^[4]. 它克服非时滞超混沌系统的缺点, 时滞混沌系统的这个特征使它特别适用于保密通讯.

混沌在扩频通信和码分多址系统中的应用受到越来越多的关注. 其中一个重要的方法就是参数调制方法^[5-8], 它将信息调制在混沌系统的参数中. 这种系统的优点是系统容量大、不需要编码同步过程. 该方法的难点是需要设计高效的接收器来解调信号. 在文[5]中提出了三种用于信号解调的自适应滤波算法—LMS(最小均方自适应算法)、RLS(递推最小二乘算法)和 EKF(扩展卡尔曼滤波算法). 这三种方法胜过文献[6]中提出的—SIM 方法(标准倒置方法). 其中 LMS 在精度和鲁棒性方面效果最佳, 但在信噪比较小时性能退化, 为了克服这个缺点, 文[8]中提出了自适应 ILS 算法(改进的最小方差自适应算法)来解调多用户混沌扩频通信系统中的有用信号.

首先, 本文考虑一种辨识 M-G 混沌系统 c 参数的新思

想: 将未知参数作为系统的未知状态来处理, 从而将辨识参数问题转化为未知状态的观测辨识问题. 通过状态观测器的设计, 来解决系统参数的辨识问题. 基于这个思想, 本文对 M-G 系统中的参数 c 进行了辨识研究. 更进一步, 本文尝试将有用信号调制在 M-G 系统的 c 参数中, 然后利用本文提出的参数辨识方法来解调信号, 从而实现数字保密通信. 通过大量仿真发现, 当辨识的收敛时间小于数字脉冲的持续时间时, 本文的方法可以很好的进行解调.

2 M-G 混沌系统的参数辨识

考虑如下 M-G 混沌系统:

$$\dot{x} = \alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)] - cx \quad (1)$$

其中 a, b 为已知参数, τ 为时滞, c 为未知参数.

需要估计未知参数 c 的值. 然而, 在很多情况下, 未知参数的动态信息很难被得知, 因此本文假定

$$\dot{c} = 0$$

对于未知的参数 c , 把它作为状态变量, 则可得到一增广的系统状态变量 $[x^T; c]^T$, 更进一步, 假设式(1)中的所有状态均可得到, 只需辨识未知的参数. 为了辨识未知参数, 本文设计了一个观测器, 我们将会看到, 闭环误差系统的稳定性得到了保证.

根据系统(1)易得

$$cx = \alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)] - \dot{x}$$

本文给出如下观测器

$$\dot{\hat{c}} = -l(x)\hat{x} + l(x)(\alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)] - \dot{x}) \quad (2)$$

其中 $l(x)$ 是一个被设计的增益函数. 令

$$e = c - \hat{c}$$

那么

$$\dot{e}(t) = \dot{c} - \dot{\hat{c}} = -l(x)xe(t)$$

选择 $l(x)$ 使系统

$$\dot{e}(t) + l(x)xe(t) = 0$$

对所有的 x 指数稳定(或渐进稳定). 从而当 $t \rightarrow \infty$ 时, 使 $\hat{c}(t)$ 指数(或渐进)趋近于 $c(t)$. 对于 $l(x)$ 一个可能的选择是 k/x , 在这种情况下, 则

$$\dot{e}(t) + ke(t) = 0$$

其中 $k > 0$ 决定了收敛速度的大小. 但是通常情况下 $\dot{x}(t)$ 很难被测的, 因此是不可利用的, 所以观测器(2)没有实际价值.

为了克服这一缺点定义一个辅助变量

$$\delta = \hat{c} + p(x)$$

其中 $p(x)$ 为被设计的函数, 并且令

$$l(x) = \frac{dp(x)}{dx} \quad (3)$$

综合上面的方程得到

$$\dot{\delta}(t) = \dot{\hat{c}}(t) + \frac{dp(x)}{dx}(\dot{x}) = -l(x)x(\delta - p(x)) + \alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)]l(x)$$

即

$$\dot{\delta}(t) = -l(x)x\delta + l(x)(\alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)]) \quad (4)$$

则

$$\dot{\hat{c}}(t) = \delta(t) - p(x(t)) \quad (5)$$

显然, 若选择函数 $p(x)$ 使

$$\dot{c}(t) + \frac{dp(x)}{dx}xe(t) = 0 \quad (6)$$

指数(或渐进)稳定, 那么, $\hat{c}(t)$ 指数(或渐进)收敛于 $c(t)$.

下面给出混沌系统的仿真结果

考虑 M-G 系统:

$$\dot{x} = \alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)] - cx \quad (7)$$

其中 $a = 10, b = 10$, 并且

$\tau = 10$ 时, c 是未知参数, 为了仿真假定 $c = -$

2. 此时系统具有 5 个正的 Lyapunov 指数^[9], 系统的混沌动力学行为如

图 1 所示.

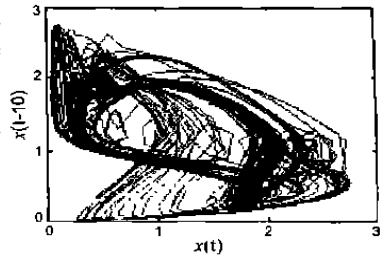


图 1 系统的混沌动力学行为

由前面分析易得:

$$\delta(t) = -l(x)x\delta + l(x)(\alpha(x(t-\tau))/[1+x^b(t-\tau)]) \quad (8)$$

并且

$$\dot{\hat{c}}(t) = \delta(t) - p(x(t)) \quad (9)$$

选择 $p(x(t)) = k \ln|x(t)|, l(x(t)) = k/x(t), k = 10$, 满足所需要的条件. 那么 $\dot{c} = \delta - k \ln|x(t)|$.

参数估计结果如图 2 所示(从 $t = 100$ 开始辨识). 如果假设系统参数 c 由于受外界的影响, 从第 150 秒开始变为 $c + \Delta c$, 本文同样能把变化后的结果辨识出来. 为了仿真假设 $\Delta c = 0.5$, 仿真结果如图 3 所示.

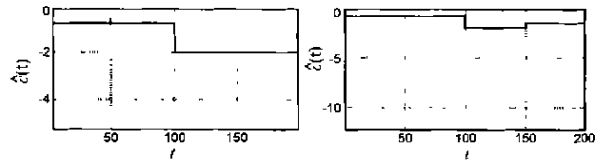


图 2 参数估计结果 图 3 $\Delta c = 0.5$ 时系统参数的辨识结果

大量的仿真表明参数 k 决定了系统参数辨识的收敛速度和精度. k 太小, 系统参数辨识的收敛速度会很慢; 当 k 太大时, 会导致系统参数辨识不稳定而出现震荡. 在前面的推导过程中设置了假设条件 $\dot{c} = 0$, 对于数字信号, 由于数字信号在每个脉冲持续时间内, 信号的导数为零, 所以假设条件 $\dot{c} = 0$ 可以分段满足, 尽管在脉冲的上升沿和下降沿, 输出和输入信号有一定的误差, 但是这对辨识的结果影响很小. 又由于本文设计的观测器可以以非常快的指数速度进行辨识, 所以当辨识的收敛时间小于数字脉冲的持续时间时, 本文提出的辨识方法同样适用.

3 参数辨识在保密通信中的应用

令系统(1)为保密通信的发射系统, 系统的状态变量 $x(t)$ 为传输信号, 利用系统的参数 c 进行信号调制, 此时 c 是已知的.

那么

$$c(t) = c + s(t) \quad (10)$$

其中 $s(t)$ 为数字信号, 为了保证调制后系统(1)仍处于混沌态, 信号 $s(t)$ 不宜太大.

利用式(3)、(4)和(5)作为接收系统, 适当选择函数 $p(x)$ 使式(6)以非常快的指数速度收敛, 那么利用式(5)可以实现对于式(10)的解调, 则 $\hat{s}(t) = \hat{c}(t) - c$. 从而实现混沌保密通信.

仿真结果

本文将式(7)作为发射系统进行仿真研究, 对系统中的参数 c 进行调制, 令

$$c(t) = c + s(t)$$

利用式(8)和(9)进行解调. 适当选择参数 k , 使解调过程收敛速度快, 同时使系统稳定解调. 忽略混沌系统的暂态过程, 我们从 $t = 10$ 开始调制和解调.

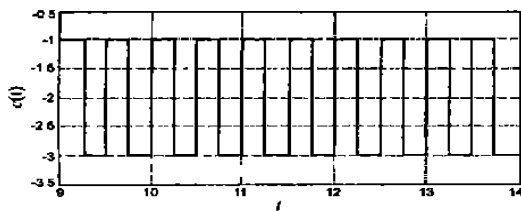


图 4 方波信号

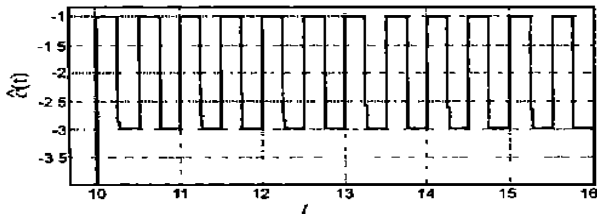


图 5 解调后的 $\hat{c}(t)$

当 $c = -2$, $s(t) + c$ 为图 4 所示的方波信号时, 经测得此时发射系统仍然具有 5 个正的 Lyapunov 指数. 选择 $k = 10$, 利用式(8)和(9)进行解调, 解调后的 $\hat{c}(t)$ 值如图 5 所示.

由图 5 可以看出, 解调后恢复的信号质量很好.

4 结论

本文将未知参数作为系统的未知状态来处理, 通过状态观测器的设计, 成功的实现了 M-G 混沌系统的参数辨识. 由于辨识过程可以以指数收敛, 因此本文先对 M-G 系统参数进

行调制, 然后利用本文的方法进行保密通讯的参数解调, 从而实现了混沌保密通讯. 本文提出的保密通信方法不需要编码同步过程, 相对于基于编码同步的保密通信方式而言, 本文的保密通信系统在接收端系统的结构是比较简单的.

参考文献:

- [1] 罗晓曙, 方锦清, 王力虎, 孔令江, 翁甲强. 用离散混沌信号驱动实现混沌同步 [J]. 物理学报, 48(11): 2022- 2029.
- [2] J H Perg, et al. Synchronization of chaos in high dimensional system [A]. In Proc. 14th IFAC [C], 1996: 904- 907.
- [3] M C Mackey, L Glass. Oscillation and chaos in physiological control system [J]. 1977, Science 197: 287- 289.
- [4] K Pyragas. Transmission of signals via synchronization of chaotic time delay systems [J]. Int. J. . Bifurcation and chaos, 1998, 8(9): 1839- 1842.
- [5] H Leung, J Lam. Design of demodulator for the chaotic modulation communication [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. I, . 1996, 43: 817- 819.
- [6] J M H Elminghani, R A Cryan. New chaotic based communication technique with multiuser provision [J]. Electron. Lett. , 1994, 30: 1206- 1207.
- [7] Y Tao, L O Chua. Secure communication via chaotic parameter modulation [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. I, 1996, 43: 817- 819.
- [8] Z W Zhu, H Leung. Adaptive identification of nonlinear systems with application to Chaotic Communications [J]. IEEE Trans. Circuits Syst. I, 2000, 47: 1072- 1080.
- [9] A Namajunas, K Pyragas, A Tamajericjus. Analog techniques for modeling and controlling the markey glass system [J]. Int. J. Bifurcation and Chaos, 1997, 7: 957- 962.

作者简介:



卢辉斌 男. 1964 年 12 月出生于吉林省蛟河市. 副教授. 主要从事计算机通信网理论及程控交换技术理论研究, 已发表论文近 40 篇.

李丽香 女. 1978 年 4 月出生于黑龙江省. 硕士研究生. 主要从事计算机通信网, 及混沌理论及其应用的研究.