

克服扰动的混沌逆控制同步系统

卢志刚¹⁾ 于灵慧²⁾ 柳晓菁²⁾ 高美静²⁾ 吴士昌²⁾

¹⁾中国矿业大学信息与电气工程学院, 徐州 221008)

²⁾燕山大学电气工程学院, 秦皇岛 066004)

(2002 年 2 月 9 日收到, 2002 年 3 月 16 日收到修改稿)

基于自适应逆控制原理, 在扰动存在的情况下, 对混沌系统的同步问题进行了研究. 研究表明本方法能有效地克服干扰对同步所造成的破坏, 实现良好的同步效果. 最后, 利用 Arneodo 系统进行了仿真. 仿真结果证明了所给方法的有效性.

关键词: 混沌系统, 同步, 自适应逆控制, RBF 神经网络

PACC: 0545

1. 引 言

近年来, 混沌同步及其在保密通信中的应用研究得到了广泛的关注. 人们已经提出了很多混沌同步方法并应用于保密通信中^[1-4, 10-15]. 文献 [5] 基于极点配置的思想实现了混沌系统的同步; 文献 [6] 使用脉冲控制与文献 [17] 利用自适应控制也实现了混沌系统的同步. 然而在文献 [5, 6] 的方法存在一定的缺陷, 即在实现混沌系统同步时没有考虑外界干扰对系统的影响. 但在实际系统中外界干扰几乎是不可避免的, 如两个混沌系统中的电阻和电容值存在微小的差别. 因此文献 [5, 6] 的同步方法在实际应用中受到一定的限制. 最近自适应逆控制方法引起了人们的兴趣. 基于自适应逆的原理设计的自适应扰动消除系统对混沌系统同步中扰动的消除具有最优性, 并且已经得到了证明^[7]. 本文利用自适应逆控制原理, 在系统参数存在扰动的情况下, 对混沌系统的同步问题进行了研究. 研究表明, 本文的方法克服了外界干扰对混沌系统同步所造成的破坏, 实现了良好的同步效果. 而且此系统在实际应用中有很强的实施性. 最后, 对 Arneodo 系统的同步问题进行了仿真, 分别在扰动存在的情况下实现两个 Arneodo 系统的同步. 仿真结果证明了所给方法的有效性.

2. 问题描述

考虑如下的混沌系统:

$$\dot{x} = f(x), \quad (1)$$

其中 $x \in R^n$ 为系统的状态, $f(\cdot)$ 为光滑非线性矢量. 在实际系统中, 系统总会不可避免地受到外界干扰, 则 (1) 式可以写为

$$\dot{x}' = f(x') + \Delta f(x'), \quad (2)$$

对系统 (2) 加控制项得到

$$\dot{x} = f(x) + \Delta f(x) + (g(x) + \Delta g(x))u. \quad (3)$$

定义 对于如下的混沌系统

$$\dot{x}_m = f_m(x_m), \quad (4)$$

式中 $x, x_m \in R^n$ 为系统状态; $\Delta f(x)$ 为系统的扰动项; $\Delta g(x)$ 为系统的不确定项; $f, f_m: R^n \times R \rightarrow R^n$, $g: R^n \rightarrow R^n$, $f, f_m, g \in C^\infty$. 这里 (3) 式称为被控系统, (4) 式成为目标系统. 要实现二者之间的同步, 就是要寻找一个适当的控制 u , 使得 $\lim_{t \rightarrow \infty} \|x - x_m\| = 0$ 成立. 显然, 这里的同步控制问题并没有对 f, f_m 做任何限制, 即两个系统不一定要完全相同. 如若能找到满足上式的控制策略, 将具有重要意义.

3. 同步控制设计

我们的目的是实现 (3) 和 (4) 式的同步, 自适应对象扰动消除原理如图 1 所示.

把系统 (2) 作为被控对象 p , 把扰动作为对象扰动^[7] 加在被控对象的输出上. 标有 x' 信号是两个分量的和, 即“对象扰动”和“对象动态响应”. 这里的对象就等效于传递函数 p , 经过扰动消除后的信号 x 近似等于信号 x_m , 即 $\lim_{t \rightarrow \infty} \|x - x_m\| = 0$, 则达到两个

混沌系统同步.

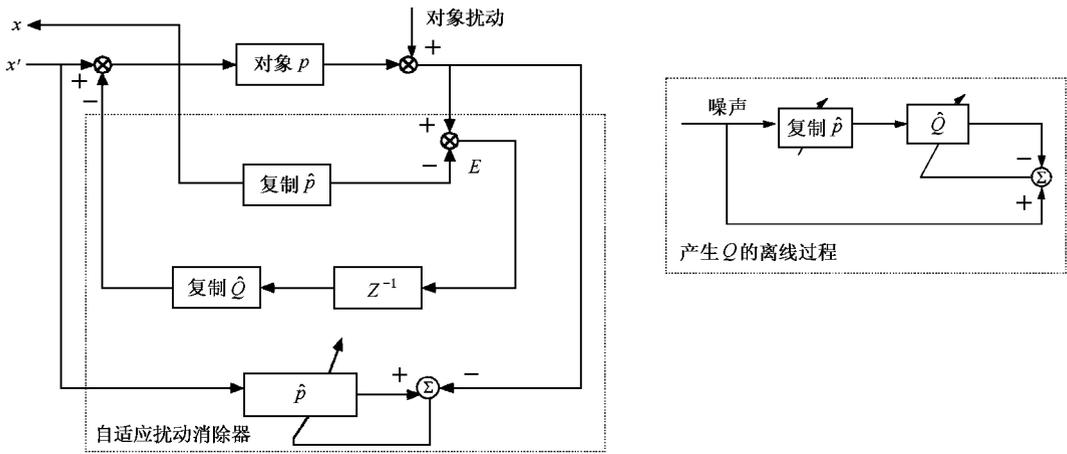


图 1 自适应对象扰动消除系统

3.1. 自适应混沌对象建模

对于非线性对象的自适应逆控制的实际应用已有了进展^[7].对混沌对象建模^[8,9],将使用图 2 的一类自适应非线性滤波器.输入信号被馈送到抽头延迟线.抽头信号被用来驱动一个构成非线性自适应滤波器的两层神经网络.非线性滤波器的权系数用反向传播进行自适应,把输出与期望的响应比较而得到误差信号.所有的权系数都按最速下降法进行自适应以最小化均方差.非线性自适应滤波器为混沌对象尽可能做一个非线性模型.

3.2. 自适应混沌对象逆建模

动力学混沌系统的逆问题,人们已经做了大量的研究^[16].本文把混沌系统和逆控制问题综合起来考虑,以便更好地消除干扰使混沌系统达到很好的

同步.对象的逆(最终要用作控制器的),当对象受到扰动时,逆建模的过程要复杂一些.如图 1 所示的方法用于有扰动对象的逆建模,当对象是被直接建模以求得 \hat{p} 时,对象扰动不影响 Wiener 解的.然而用一般方法做逆建模时,对象扰动就要影响 Wiener 解.在对象扰动电平较高时,要将自适应 \hat{p} 的速度放慢以保持权系数上较小的噪声. \hat{p} 的权系数具有低的噪声是很重要的,这样 \hat{Q} 的权系数也才有低的噪声.用如图 2 的 RBF 神经网络进行逆建模.

4. 仿真结果

考虑如下 Arneodo 混沌系统

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 + \Delta f_1 + u_1, \\ \dot{x}_2 &= x_3 + \Delta f_2 + u_2, \\ \dot{x}_3 &= -a_0 x_1 - a_1 x_2 - a_2 x_3 + ax_1^3 + \Delta f_3 + u_3, \end{aligned} \tag{5}$$

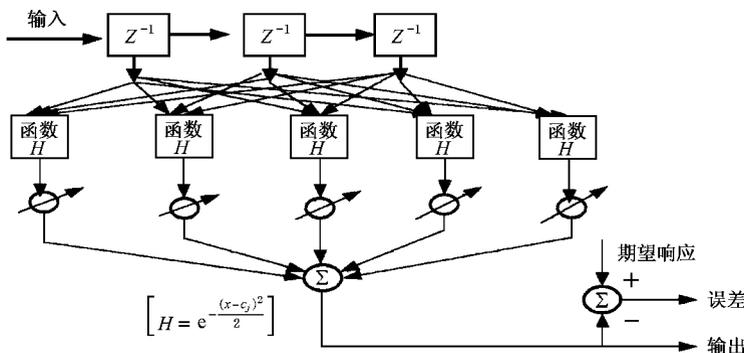


图 2 基于 RBF 神经网络的混沌对象建模

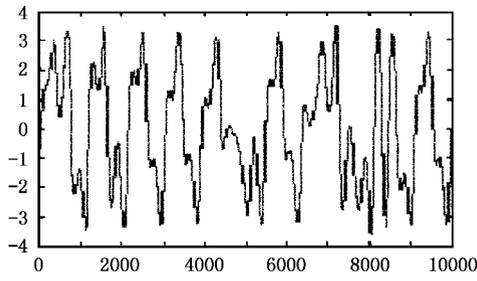
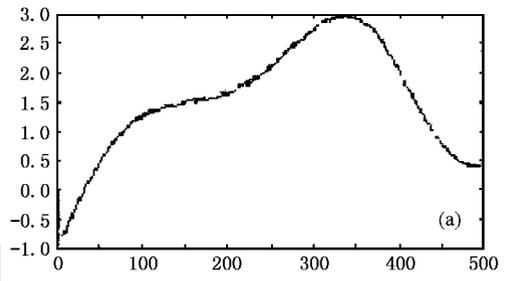
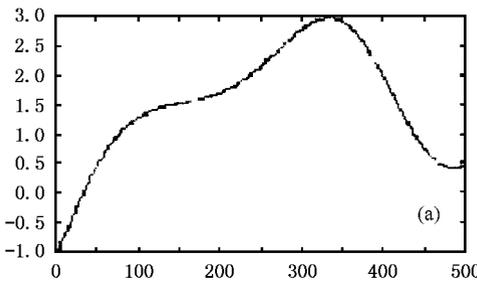


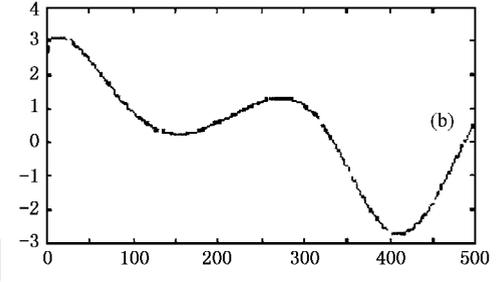
图3 状态分量 x_1 随时间的变化图



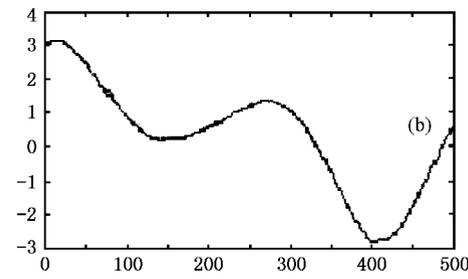
(a) 逆建模状态分量 x'_1, x_{1}^*



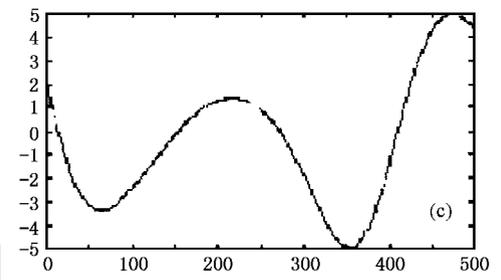
(a) 正建模状态分量 x_1, x'_1



(b) 逆建模状态分量 x'_2, x_{2}^*

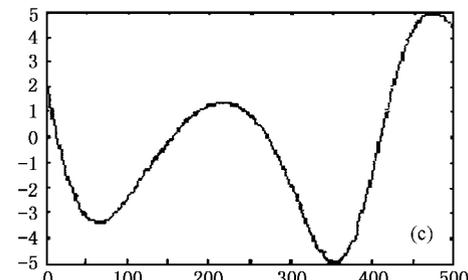


(b) 正建模状态分量 x_2, x'_2



(c) 逆建模状态分量 x'_3, x_{3}^*

图5 逆建模仿真结果



(c) 正建模状态分量 x_3, x'_3

图4 系统(2)的正建模仿真结果

系统为一混沌系统, 状态分量 x_1 随时间的变化如图 3 所示. 为使系统在扰动存在的条件下仍能实现同步, 我们对系统进行自适应扰动消除. 其中正建模 RBF 网络具有 9 个隐层单元, 3 个输出单元. 网络隐层单元的中心值分别为 $(-2, -1.3, -0.8, -0.4, 0, 0.4, 0.8, 1.3, 2)$, 宽度均为 1. 系统(2)的正建模仿真结果如图 4(a)(b)(c) 所示. 逆建模 RBF 神经网络具有 7 个隐层单元, 3 个输出单元, 网络隐层单元的中心值分别为 $(-0.6, -0.3, -0.1, 0, 0.1, 0.3, 0.6)$, 宽度均为 1. 逆建模仿真结果如图 5(a)(b)(c) 所示. 系统(5)与未受干扰的 Arneodo 系统同步效果如图 6(a)(b)(c) 所示, 由图可知, 系统很好地实现了同步.

其中 x_1 表示对流体的运动状态, x_2 为水平方向的温度变化, x_3 为垂直方向的温度变化. 取 $a = -1$, $a_0 = -5.5$, $a_1 = 3.5$, $a_2 = 1$, 系统状态扰动为 $\Delta f_1 = 0.1x_2$, $\Delta f_2 = 0.8\sin(t)$, $\Delta f_3 = -0.1x_2 - 0.01x_1^3$, 此时

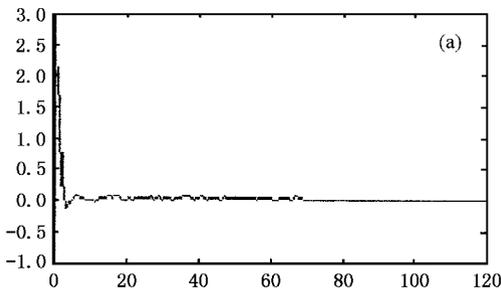
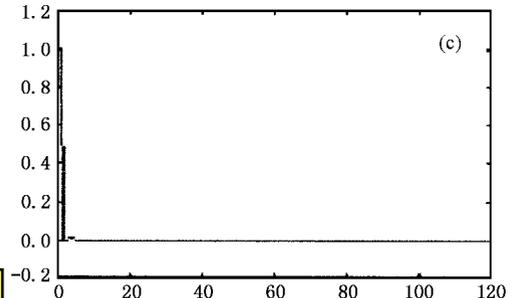
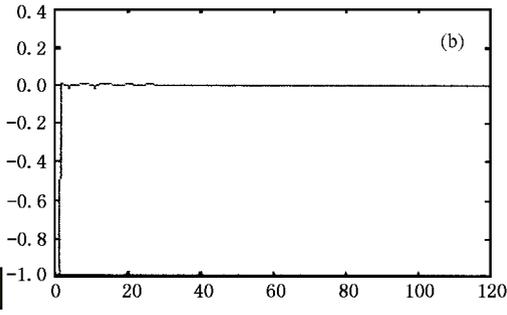
(a) 同步误差 e_1 随时间的变化图(c) 同步误差 e_3 随时间的变化图

图 6 系统(5)与未受干扰的 Arneodo 系统同步效果图

(b) 同步误差 e_2 随时间的变化图

5. 结 论

本文基于自适应逆控制,在扰动存在的情况下对混沌系统的同步进行了研究.研究表明,该方法能有效地克服干扰对同步所造成地破坏.最后,利用 Arneodo 系统进行了仿真,仿真结果表明了所给方法的有效性.

- [1] Gao J F, Luo X J and Ma X K 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 838(in Chinese) 高金峰、罗先觉、马西奎 2000 物理学报 **49** 838]
- [2] Liu F, Mu Z L and Qiu Z L 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** 2191(in Chinese) 刘 锋、穆肇丽、邱祖廉 1999 物理学报 **48** 2191]
- [3] Wang J L and Chen G Z 1999 *Acta Phys. Sin.* **48** 1605(in Chinese) [王金兰、陈光旨 1999 物理学报 **48** 1605]
- [4] Tang S M, Gao J F and Wang J K 2001 *Systems Engineering and Electronics* **23** 51(in Chinese) 汤淑明、高金峰、王俊 2001 系统工程与电子技术 **23** 51]
- [5] Giuseppe G and Saverio M 1999 *Int. J. Bifurca. Chaos* **9** 705
- [6] Xie W X, Wen C Y and Li Z G 2000 *Phys. Lett. A* **275** 67
- [7] [America] Windrow B and [Israel] Walach H(Author), Liu S T and Han C Z(Translator) *Adaptive Inverse Control*(Xi 'an Jiaotong University Press) pp150 - 197(in Chinese) [美] 威德罗、[以色列] 瓦莱斯著,刘树堂、韩崇昭译 自适应逆控制(西安交通大学出版社)第 150 - 197 页]
- [8] Wang X L, Shao H H and Li Y F 2001 *Communication and Control* **30** 249(in Chinese) 王学雷、邵惠鹤、李亚芬 2001 信息与控制 **30** 249]
- [9] Liu M Q, Shen Y and Liao X X 2001 *Control and Decision* **16** 277 (in Chinese) 刘妹琴、沈 轶、廖晓昕 2001 控制与决策 **16** 277]
- [10] Wen X C 2001 *Control and Decision* **16** 303(in Chinese) 温香彩 2001 控制与决策 **16** 303]
- [11] Yu S M, Qiu S S 2000 *Journal of Guang Dong Gong Ye University* **17** 1 (in Chinese) 禹思敏、丘水生 2000 广东工业大学学报 **17** 1]
- [12] Yang S P 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 619(in Chinese) 杨世平 2001 物理学报 **50** 619]
- [13] Guan X P, Peng H M, Li L X and Wang Y Q 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 26(in Chinese) 关新平、彭海朋、李丽香、王益群 2001 物理学报 **50** 26]
- [14] Yan J W, Zhou S P, Li G H and Xu D M 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 21(in Chinese) 颜建文、周世平、李国辉、徐得名 2001 物理学报 **50** 21]
- [15] Liu F, Shan X M, Ren Y and Qiu Z L 2001 *Chin. Phys.* **10** 606
- [16] Wang R and Shen K 2001 *Chin. Phys.* **10** 711
- [17] He M F, Mu Y M and Zhao L Z 2000 *Acta Phys. Sin.* **49** 830(in Chinese) 贺明峰、穆云明、赵立中 2000 物理学报 **49** 830]

The synchronization systems based on chaotic inverse controlling

Lu Zhi-Gang¹⁾ Yu Ling-Hui²⁾ Liu Xiao-Jing²⁾ Gao Mei-Jing²⁾ Wu Shi-Chang²⁾

¹⁾*(China University of Mining and Technology ,Xuzhou 221008 ,China)*

²⁾*(Institute of Electrical Engineering , Yanshan University , Qinhuangdao 066004 ,China)*

(Received 9 February 2002 ; revised manuscript received 16 March 2002)

Abstract

Based on Adaptive Inverse Controlling , the synchronization of chaotic system in the presence of perturbation are studied. The proposed method can overcome effectively the disruption of perturbation , and make the chaotic systems keep synchronous well. Finally , the Arneodo system is used to verify the effectiveness of the proposed method. The simulation results confirm it.

Keywords : chaotic system , synchronization , adaptive inverse , RBF neural network

PACC : 0545