

线性反馈控制法识别一类混沌电子线路的参数*

Parameters Identification of One Class of Chaotic Electric Circuit Using Linear Feedback

邓学明¹, 马 军²DEN G Xue-ming¹, M A Jun²

(1. 浙江科技学院理学院, 浙江杭州 310023; 2. 兰州理工大学理学院, 甘肃兰州 730050)

(1. School of Science, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou, Zhejiang, 310023, China; 2. School of Sciences, Lanzhou University of Technology, Lanzhou, Gansu, 730050, China)

摘要: 将控制器 $G = k(y - x)$ 施加到一类混沌电子线路系统 $\dot{x} = a(z - x), \dot{y} = bx - xz, \dot{z} = xy - cy - 4z$ 的第一个方程的右侧, 得到系统参数的准确表达式 $a = -k(y - x)/(z - x), b = z, c = x - 4z/y$, 从而提出一种识别混沌系统参数的线性反馈控制法, 并进行计算机仿真实验。在系统参数保持不变和系统部分参数发生阶跃或周期性变化情况下, 该方法可以快速有效地识别系统参数。

关键词: 混沌 参数识别 控制

中图分类号: O415.5 文献标识码: A 文章编号: 1005-9164(2008)01-0038-03

Abstract The controller $G = k(y - x)$ is imposed on the right side of the first formula in the chaotic electric circuit described by $\dot{x} = a(z - x), \dot{y} = bx - xz, \dot{z} = xy - cy - 4z$ under appropriate parameters, and the parameter observer can be defined as $a = -k(y - x)/(z - x), b = z, c = x - 4z/y$. Therefore, a class of linear feedback scheme is proposed to identify the unknown parameter in chaotic system and the numerical simulation is investigated. It is found that the parameter can be identified successfully when the parameter is invariable and/or the some parameters is changed as a jump or a periodical function.

Key words chaos, parameter identification, control

混沌广泛存在于自然界, 近年来混沌理论和应用研究引起了学术界的广泛关注。大部分混沌研究侧重于控制与反控制方面。混沌的控制就是将混沌系统控制到目标周期轨道, 反控制就是加强系统的混沌特性。无论是低维的时间混沌系统还是高维的时空混沌系统, 在控制和同步方面都已经取得了很多有意义的方法^[1,2]。混沌控制方面的方法主要有线性和非线性反馈法、延迟反馈法、参数调节法、追踪控制法、限制幅度法等等^[3-5]。混沌控制的连续性分为连续控制和间歇控制^[6,7]。混沌的同步通常采用相互耦合^[8]、单向耦合^[9,10]等方法来实现全局同步、广义同步或者相位同步^[1,2]。进一步的研究还表明: 混沌和超混沌的同步可以用来进行保密通讯^[11]和抑制心肌组织中有毒的螺旋波^[12,13]。在混沌系统控制的过程中, 电子线路系

统的混沌比较容易实现, 所以人们常采用一些混沌电子线路^[9,14]来测试其方案的可行性。在实际控制和同步的过程中, 一般默认系统的参数是全部已知的, 但是会可能遇到系统的部分参数不确定的情况, 因此, 在对系统进行控制之前, 系统参数的识别非常重要。人们一般采用状态观测器方法、互相同步方法来识别系统的参数^[15-17]。这些方法不是对所有的系统都有效, 所以我们采用一种简单的线性反馈方法研究一类混沌电路系统的参数识别和控制; 在保持原系统参数都不变和部分参数发生阶跃性或周期性变化的情况下, 用计算机进行仿真实验。结果表明该方法可以有效地识别系统参数。

1 控制方法

1.1 混沌电子线路

文献 [18] 提出一种新的混沌电路, 并给出电子线路仿真实验, 经过无量纲变换, 其方程可以描述为

$$\dot{x} = a(z - x), \dot{y} = bx - xz, \dot{z} = xy - cy - 4z,$$

收稿日期: 2007-06-20

修回日期: 2007-08-27

作者简介: 邓学明 (1969-), 男, 讲师, 主要从事物理课程与教学理论研究。

* 国家自然科学基金项目 (No. 10572056) 资助。

(1)

其中 a, b, c 为系统参数。当 $a = 8, b = 40, c = 10/3$ 时系统 (1) 出现混沌态。我们通过计算系统 (1) 的 Lyapunov 指数^[19], 在更大范围内确定了该系统处于混沌态的参数区域, 并采用四阶龙格-库塔方法对系统 (1) 进行数值仿真计算来验证该系统在很大的参数范围内都可以出现混沌态。

1.2 控制方法

采用线性反馈的方法, 使控制器 $G = k(y - x)$ 直接施加在系统 (1) 的第一个方程的右侧。显然, 当变量 y 无限接近或者等于变量 x 的时候, 控制项自动消失, 不再对系统产生任何扰动。计算系统在平衡点对应的雅可比矩阵的特征值, 选择恰当的反馈系数 k , 使受控系统对应的雅可比矩阵的特征值具有负的特征值或者负实部, 那么就可以使系统控制到稳定态, 或者通过计算受控系统的条件 Lyapunov 指数小于零来获得反馈系数的范围。研究发现, 在反馈系数为正的情况下, 即使反馈系数非常小, 其条件 Lyapunov 指数小于零的条件都可以满足, 从而将系统能够控制到稳定态。在控制的过程中, 如果系统 (1) 受到控制后, 3 个变量都趋于某个稳定值, 那么就可以获得参数的准确表达式: $a = -k(y - x)/(z - x), b = z, c = x - 4z/y$ 。在实际操作中, 可以选择不同的反馈系数 k , 当反馈系数 k 比较大的时候, 系统变量达到稳定值的时间就短, 所以识别系统的参数需要的暂态过程就短。

2 数值计算与结果

采用四阶龙格-库塔方法进行数值计算, 时间步长 $h = 0.001$, 初始值 $x^0 = 0.1, y^0 = 0.3, z^0 = 0.3$ 的计算结果见图 1。图 1 的数值结果表明, 当系统 (1) 参数保持不变化的时候, 可以在大约 15 个时间单位内将系统 (1) 所有的参数快速识别出来。

考虑系统 (1) 的参数发生阶跃变化时, 该方法对系统参数的识别。在时间 t 小于等于 50 时间单位时, 系统参数 $b = 35$; 在时间 t 小于等于 100 时间单位时, 系统参数 $b = 40$, 然后在时间大于 100 时间单位时使系统参数跳跃到 $b = 38$, 其他参数保持在 $a = 8, c = 10/3$, 选取相同的时间步长和初始值的计算结果见图 2。图 2 的数值计算结果表明, 当系统参数发生突变时, 该方法可以很快识别系统的未知参数。

为了进一步测试当系统参数发生周期性涨落时的情况, 选取相同时间步长和初始值的计算结果如图 3 所示。

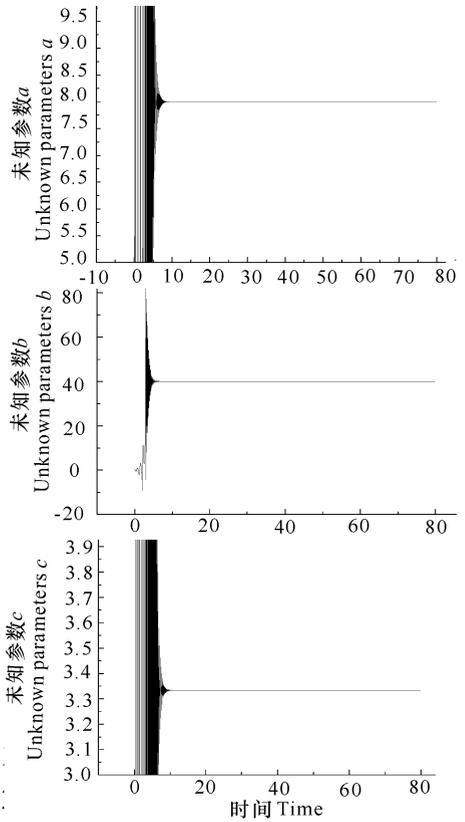


图 1 反馈系数 $k = 0.5$ 时对系统 (1) 未知参数的识别

Fig. 1 Identifying the three unknown parameters a, b, c under feedback coefficient $k = 0.5$

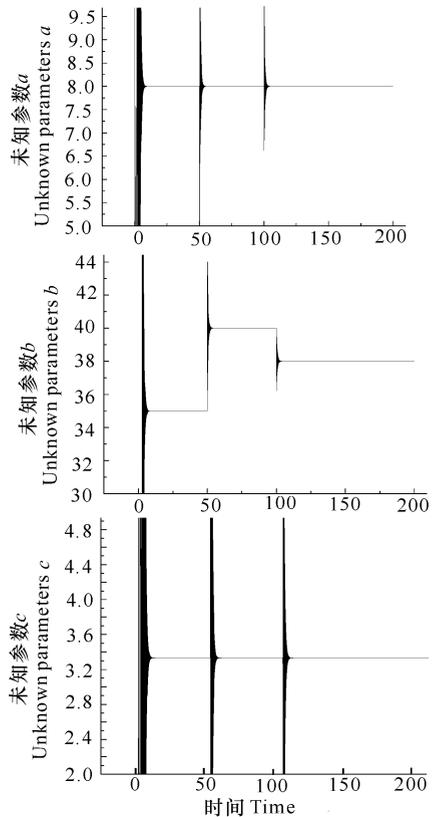


图 2 反馈系数 $k = 2, a = 8, c = 10/3$, 系统参数发生阶跃变化 ($b = 35, t \leq 50, b = 40, 50 < t \leq 100, b = 38, t > 100$) 时对系统 (1) 未知参数的识别

Fig. 2 Identifying the three unknown parameters when the parameters jump ($b = 35, \leq 50, b = 40, 50 < \leq 100, b = 38, t > 100$) under parameter $a = 8, c = 10/3$ and feedback coefficient $k = 2$

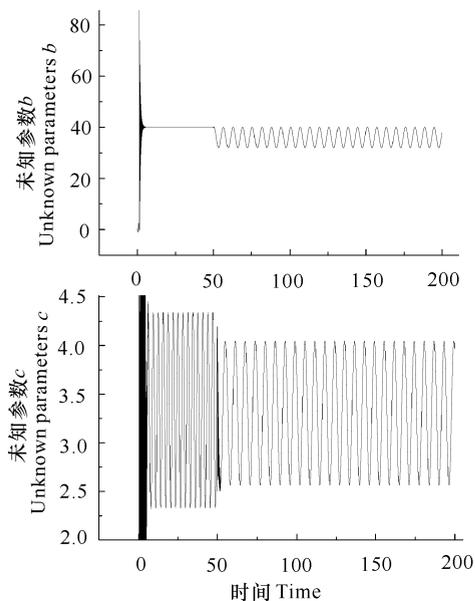


图 3 反馈系数 $k = 2$, 系统参数 b, c 发生周期变化时对系统 (1) 未知参数的识别 ($a = 8, b = 36 - 4\cos t, c = 10/3 + \cos(2t)$)

Fig. 3 Identifying the two unknown parameters b, c when the parameters varies periodically under parameter $a = 8, b = 36 - 4\cos t, c = 10/3 + \cos(2t)$ and feedback coefficient $k = 2$

图 3 的数值计算结果表明, 即使系统的参数发生周期性的变化, 该方法也可以快速有效地识别系统的未知参数

3 结束语

本文提出一种线性反馈的方法将系统控制到稳定态从而对系统的未知参数进行快速识别。解析地给出参数识别的表达式, 数值验证了该方法的有效性。该方法简单、有效, 可以应用到其他混沌系统的参数识别研究中。

致谢:

感谢靳伍银研究员对本文提出的宝贵意见!

参考文献:

[1] Boccaletti S, Grebogi C, Lai Y C, et al. The control of chaos theory and applications [J]. Phys Rep, 2000, 329

103-197.

[2] Boccaletti S, Kurths J, Osipov G, et al. The synchronization of chaotic systems [J]. Phys Rep, 2002, 366: 1-101.

[3] 李丽香, 彭海鹏, 关新平, 等. Henon 混沌系统的追踪控制与同步 [J]. 物理学报, 2001, 50(4): 629-632.

[4] 陈士华, 谢进, 陆君安, 等. 混沌系统的追踪控制与同步 [J]. 物理学报, 2002, 51(4): 749-752.

[5] 马军, 吴宁杰, 应和平, 等. 局部相空间压缩实现对时空混沌和螺旋波的抑制 [J]. 计算物理, 2006, 23(2): 243-248.

[6] 马军, 蒲忠胜, 冯旺军, 等. 超混沌系统的间歇同步与控制 [J]. 物理学报, 2005, 54(12): 5585-5590.

[7] 李国辉, 周世平, 徐得明, 等. 间隙线性反馈控制混沌 [J]. 物理学报, 2000, 49(11): 2123-2128.

[8] 王铁邦, 陈光旨, 覃团发. 超混沌系统的耦合同步 [J]. 物理学报, 2001, 50(10): 1851-1855.

[9] 蒋品群, 罗晓曙, 邹艳丽, 等. 超混沌振荡器的单变量单向耦合同步及其电路实验仿真 [J]. 物理学报, 2002, 51(9): 1937-1941.

[10] 蒋国平, 王锁萍. 蔡氏电路的单向耦合同步研究 [J]. 电子学报, 2000, 28(1): 67-69.

[11] 关新平, 范正平, 陈彩莲, 等. 混沌控制及其在保密通信中的应用 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2002.

[12] Ma Jun, Ying Heping, Pu Zhongsheng. An anti-control scheme for spiral under Lorenz chaotic signals [J]. Chin Phys Lett, 2005, 22: 1065-1068.

[13] Ma Jun, Ying Heping, Pan Guowei. Evolution of spiral waves under modulated electric fields [J]. Chin Phys Lett, 2005, 22: 2176-2179.

[14] 陈艳艳, 陈菊芳, 刘颖, 等. 控制超混沌的电路实验 [J]. 物理实验, 2001, 21(9): 6-9.

[15] 卢辉斌, 李丽香, 彭海朋, 等. 超混沌 M-C 系统参数辨识及其在通信中的应用 [J]. 电子学报, 2002, 30(2): 289-291.

[16] 关新平, 彭海鹏, 李丽香, 等. Lorenz 系统的参数辨识与控制 [J]. 物理学报, 2001, 50(1): 26-29.

[17] Anil Maybhat, R E Amritkar. Use of synchronization and adaptive control in parameter estimation from a time series [J]. Phys Rev E, 1999, 59(1): 284-293.

[18] 刘凌, 苏燕辰, 刘崇新. 新三维混沌系统及其电路仿真实验 [J]. 物理学报, 2007, 56(4): 1966-1970.

[19] 何岱海, 徐健学, 陈永红. 常微分方程系统李雅普诺夫指数的研究 [J]. 物理学报, 2000, 49(5): 833-837.

(责任编辑: 尹 闯 邓大玉)