

忆阻混沌系统的有限时间控制

成平广¹ 马跃² 黄军建¹ 刘冀¹

(重庆第二师范学院数学与信息工程系 重庆 400067)¹ (重庆大学软件学院 重庆 401331)²

摘要 忆阻器作为电路中的第四个基本元件,于1971年由蔡教授提出。忆阻器是非线性的,具有很多特殊的属性。目前,基于忆阻器的电路设计成为研究热点,基于忆阻器的混沌系统也吸引了很多学者的关注。基于有限时间稳定的思想,研究了一类五阶忆阻混沌系统的全局稳定性及有限时间镇定问题,设计了非连续的状态反馈控制器,使得忆阻混沌系统全局指数稳定。仿真实验结果验证了该方法的正确性和有效性。

关键词 忆阻器,混沌系统,有限时间稳定

中图分类号 TP309 **文献标识码** A **DOI** 10.11896/j.issn.1002-137X.2015.2.054

Finite Time Control of Memristor Chaotic Systems

CHENG Ping-guang¹ MA Yue² HUANG Jun-jian¹ LIU Ji¹

(Department of Mathematics and Information Engineering, Chongqing University of Education, Chongqing 400067, China)¹

(School of Software Engineering, Chongqing University, Chongqing 401331, China)²

Abstract Memristor is considered to be the missing 4th passive circuit element, which was proposed by professor Chua in 1971. Memristor is nonlinear and shows many special properties, which can be described by a nonlinear constitutive relation. At present, research on circuits based on memristor becomes a focal topic for research. Chaotic system based on memristor also has attracted attention recently. Based on the finite time stability theorem, this paper took a study on the global stability problem and finite-time stabilization problem of a class of the 5th order memristor chaotic systems and designed nonlinear state feedback controller to ensure the global exponential stability of memristor chaotic systems. The simulation experiment results verify the correctness and validity of the method.

Keywords Memristor, Chaotic systems, Finite time stability

1 引言

2008年,惠普实验室研究人员在纳米级的交叉结构中发现忆阻器,从而首次验证了蔡少棠教授对忆阻器的预言。忆阻器的出现代表着电路理论的根本变革,也将是自集成电路出现以后计算机领域的颠覆性突破。忆阻器表现出记忆性、非易失性等基本特性外的更多特性,正是这些特性使得忆阻器引起了世界范围的研究热潮。

忆阻器是一个非线性元件,很容易产生振荡信号。基于忆阻器构造的混沌系统可以产生更加复杂、对初始值条件更加敏感的混沌信号。Itoh和蔡少棠^[1]、Muthuswamy^[2]、包伯成教授^[3]等人都在这方面进行了相关的研究。文献[3]根据磁控忆阻器的电流与电压的关系^[4]以及忆阻器的定义^[5],构造了一个基于忆阻器元件的五阶混沌电路,该忆阻器元件的特性可以用一个光滑的三次函数来描述。本文将利用有限时间稳定原理分析该五阶混沌电路的有限时间稳定问题。

2 问题描述

根据文献[3],通过采用一个有源磁控忆阻电路替换四阶

蔡氏混沌电路^[6],定义了一个忆阻五阶混沌电路^[7],如图1所示。其方程表达如下:

$$\begin{cases} \frac{dv_1(t)}{dt} = \frac{1}{C_1}(i_3(t) - W(\varphi(t))v_1(t)) \\ \frac{dv_2(t)}{dt} = \frac{1}{C_2}(-i_3(t) + i_4(t)) \\ \frac{di_3(t)}{dt} = \frac{1}{L_1}(v_2(t) - v_1(t) - Ri_3(t)) \\ \frac{di_4(t)}{dt} = \frac{-v_2(t)}{L_2} \\ \frac{d\varphi(t)}{dt} = v_1(t) \end{cases} \quad (1)$$

其中, $W(\varphi(t)) = -a + 3b\varphi^2(t)$ 。

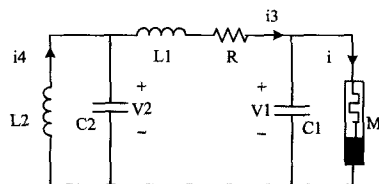


图1 忆阻混沌电路^[3]

到稿日期:2014-09-24 返修日期:2014-11-11 本文受国家自然科学基金项目(61403050),重庆市教委人文社科资助项目(12sksz65),重庆市教委自然科学基金资助项目(KJ1401405),重庆第二师范学院教学改革重点资助项目(JG2014106)资助。

成平广(1975—),男,硕士,副教授,主要研究方向为计算机应用、信息安全,E-mail:cadou@163.com;马跃(1981—),男,讲师,主要研究方向为计算机应用、数字媒体,E-mail:mayue@cqu.edu.cn(通信作者);黄军建(1978—),男,博士,教授,主要研究方向为信息安全。

令 $x_1(t)=v_1(t)$, $x_2(t)=v_2(t)$, $x_3(t)=i_3(t)$, $x_4(t)=i_4(t)$, $x_5(t)=\varphi(t)$, 系统(1)可以重新表示为:

$$\begin{cases} \frac{dx_1(t)}{dt} = \frac{1}{C_1}(x_3(t) - W(x_5(t))x_1(t)) \\ \frac{dx_2(t)}{dt} = \frac{1}{C_2}(-x_3(t) + x_4(t)) \\ \frac{dx_3(t)}{dt} = \frac{1}{L_1}(x_2(t) - x_1(t) - Rx_3(t)) \\ \frac{dx_4(t)}{dt} = \frac{-x_2(t)}{L_2} \\ \frac{dx_5(t)}{dt} = x_1(t) \end{cases} \quad (2)$$

其中, $\frac{1}{C_1}=9$, $C_2=1$, $\frac{1}{L_1}=30$, $\frac{1}{L_2}=15$, $R=1$, $a=1.2$, $b=$

0.4, 系统(1)存在混沌以及超混沌特性, 如图2所示。

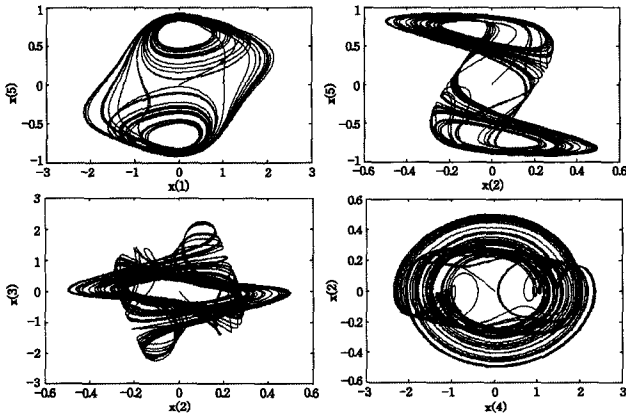


图2 忆阻振荡器的混沌吸引子

我们将系统(2)重新表示为以下形式:

$$\dot{x}(t) = Ax(t) + Bf(x(t)) + u(t) \quad (3)$$

其中, $x(t) = (x_1(t), x_2(t), x_3(t), x_4(t), x_5(t))^T$,

$$A = \begin{bmatrix} a & 0 & \frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_2} & \frac{1}{C_2} & 0 \\ -\frac{1}{L_1} & \frac{1}{L_1} & -\frac{R}{L_1} & 0 & 0 \\ 0 & \frac{-1}{L_2} & 0 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, f(x(t)) = \begin{bmatrix} 3bx_5^2x_1 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

以及

$$B = \begin{bmatrix} -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{C_1} & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & -\frac{1}{C_1} \end{bmatrix}.$$

函数 $f(x)$ 对于 $x, y \in \Omega$, 有

$$|f_i(x) - f_i(y)| \leq L_{\max} |x - y|, i=1, 2, 3, 4, 5 \quad (4)$$

上述条件可描述为满足 Lipschitz 条件^[8], $L_{\max}(L_{\max} > 0)$ 为 Lipschitz 系数。

为了让耦合系统^[9]能够在有限时间内达到稳定, 控制器 $u(t)$ 的定义如下:

$$u(t) = -kx(t) - \lambda \text{sign}(x(t)) |x(t)|^\eta \quad (5)$$

其中, $|x(t)|^\eta = (|x_1(t)|^\eta, \dots, |x_5(t)|^\eta)^T$, $\lambda > 0$, $0 < \eta < 1$ 均为常量, k 为控制增益, $\text{sign}(x(t)) = \text{diag}(\text{sign}(x_1(t)), \dots, \text{sign}(x_5(t)))$ 。

定义1 如果存在一个时间常量 $T > 0$ 满足

$$\lim_{t \rightarrow T} \|x(t)\| = 0 \text{ 以及当 } t > T \text{ 时, } \|x(t)\| = 0 \quad (6)$$

那么系统(3)将在有限时间内达到稳定。

引理1 假设一个连续正函数 $V(t)$ 满足以下微分不等式:

$$\dot{V}(t) \leq -\lambda V^\eta(t), \forall t \geq t_0, V(t_0) \geq 0$$

其中, $\lambda > 0$, $0 < \eta < 1$ 均为常量。那么对于给定一个时间 T , $V(t)$ 满足:

$$V^{1-\eta}(t) \leq V^{1-\eta}(t_0) - \lambda(1-\eta)(t-t_0), t_0 \leq t \leq T, \text{ 和 } V(t) = 0, \forall t \geq T; \text{ 稳定时间 } T \text{ 定义为:}$$

$$T = t_0 + \frac{V^{1-\eta}(t_0)}{\lambda(1-\eta)} \quad (7)$$

3 忆阻混沌系统的有限时间稳定控制

定理1 假设存在常量 s_1 , 满足

$$A + A^T - 2kI + s_1(B + B^T) + s_1^{-1}L_{\max}^2 I \leq 0 \quad (8)$$

那么, 系统 $x(t)$ 将在有限时间内达到全局稳定^[10], 且有限时间为

$$T = t_0 + \frac{V^{1-\frac{1+\eta}{2}}(t_0)}{2\lambda(1-\frac{1+\eta}{2})}$$

其中, $\lambda > 0$, $0 < \eta < 1$ 均为常量。

证明: 选择 Lyapunov 函数如下:

$$V(t) = x(t)^T x(t) \quad (9)$$

沿着式(3)的解, 式(9)对时间求一阶导数, 我们可得到

$$\begin{aligned} \dot{V}(t) &= x(t)^T \dot{x}(t) + \dot{x}(t)^T x(t) \\ &= x(t)^T [Ax(t) + Bf(x(t)) - kx(t) - \lambda \text{sign}(x(t)) |x(t)|^\eta] + [Ax(t) + Bf(x(t)) - kx(t) - \lambda \text{sign}(x(t)) |x(t)|^\eta]^T x(t) \\ &\leq x(t)^T [A + A^T - 2kI] x(t) + s_1 x(t)^T [B + B^T] x(t) + s_1^{-1} [f(x(t))]^T [f(x(t))] - \lambda x(t)^T \text{sign}(x(t)) |x(t)|^\eta \\ &\leq x(t)^T [A + A^T - 2kI + s_1(B + B^T)] x(t) + s_1^{-1} L_{\max}^2 x(t)^T x(t) - 2\lambda |x(t)|^{1+\eta} \\ &= x(t)^T [A + A^T - 2kI + s_1(B + B^T) + s_1^{-1} L_{\max}^2 I] x(t) - 2\lambda |x(t)|^{1+\eta} \\ &\leq -2\lambda (x(t)^T x(t))^{\frac{1+\eta}{2}} \\ &= -2\lambda (V(t))^{\frac{1+\eta}{2}} \end{aligned}$$

根据引理1, 可得 $(V(t))^{1-\frac{1+\eta}{2}} \leq (V(t_0))^{1-\frac{1+\eta}{2}} - 2\lambda(1-\frac{1+\eta}{2})(t-t_0)$, $t_0 \leq t \leq t_1$, 和 $V(t) = 0, \forall t \geq T$, 且 T 为

$$T = t_0 + \frac{V^{1-\frac{1+\eta}{2}}(t_0)}{2\lambda(1-\frac{1+\eta}{2})}$$

其中, $V(t_0) = e(t_0)^T e(t_0)$ 。

因此, 可得

$$V(t) = \|x(t)\|^2 = 0, \forall t \geq T$$

所以,系统 $x(t)$ 是全局指数稳定的,稳定时间估算为

$$T=t_0+\frac{V^{1-\frac{1+\eta}{2}}(t_0)}{2\lambda(1-\frac{1+\eta}{2})}$$

基于定理 1,同样可以推导出以下推论。

推论 1 如果存在正常量 s_1 满足

$$k \geq (\lambda_{\max}(A+A^T) + s_1 \lambda_{\max}(B+B^T) + s_1^{-1} L_{\max}^2)/2 \quad (10)$$

那么,系统 $x(t)$ 是全局指数稳定的,同步时间估算为

$$T=t_0+\frac{V^{1-\frac{1+\eta}{2}}(t_0)}{2\lambda(1-\frac{1+\eta}{2})}$$

注:从推论 1 可知,对于更小的 λ ,稳定时间 T 将变得更大,相应地,对于合适的 $V(t_0)$ 和 η ,稳定时间 T 随着 λ 增长而减小。

结束语 采用本文提出的控制方法,不仅能够很好地抑制忆阻混沌系统混沌现象的产生,而且使得受控系统实现了有限时间稳定控制。理论分析显示了该方法的正确性和有效性。

参考文献

[1] Itoh M, Chua L O. Memristor oscillators[J]. International Jour-

nal of Bifurcation and Chaos, 2008, 18(11): 3183-3206

[2] Muthuswamy B, Kokate P P. Memristor Based Chaotic Circuits [J]. IETE Technical Review, 2009, 26(6): 415-426

[3] 包伯成, 王其红, 许建平. 基于忆阻元件的五阶混沌电路研究 [J]. 电路与系统学报, 2011, 2(16): 66-70

[4] 张向华. 一种改进的基于时空混沌系统的 Hash 函数构造方法 [J]. 计算机科学, 2009, 36(7): 252-255

[5] 柴秀丽, 王玉璟, 袁光耀, 等. 未知干扰下混沌系统的修正函数投影滞后同步 [J]. 计算机科学, 2014, 41(4): 283-286, 301

[6] 吴凌燕, 孙永芹. MATLAB 在电路求解中的运用 [J]. 自动化与仪器仪表, 2013(05): 122-123

[7] 王清华, 宋卫平, 宇文雄. 忆阻器特性及其在电路设计中的应用 [J]. 电子元件与材料, 2014(3): 5-8

[8] 李伟, 熊静, 李春成. 一个新混沌系统的分析及电路实现 [J]. 内江师范学院学报, 2014(2): 25-30

[9] 徐伟, 马进颖. 蔡氏混沌电路在 Multisim 软件中的设计与仿真 [J]. 电子器件, 2013(6): 904-909

[10] 孙克辉, 贺少波, 朱从旭, 等. 基于 C0 算法的混沌系统复杂度特性分析 [J]. 电子学报, 2013(9): 1765-1771

[11] 杨留猛, 俞建宁, 安新磊, 等. 一个新三维自治系统的混沌分析及电路模拟 [J]. 重庆理工大学学报, 2012, 26(12): 127-133

(上接第 255 页)

针对一词多义的现象,加入事件模板过滤机制,根据“动宾结构”中论元的实体类型来判断触发词的词义,过滤了 460 个高概率易被抽取的事件,其中仅 8 个正例。实验表明,过滤方法可以很好地过滤“攻击的后果”、“打理日常工作”等常被抽取的负例,使得抽取的错误正例 FP 的数量降低 19.4%,准确率达到 77.6%,F1 值达到 55.4%,进一步改善了系统的性能。

结合事件模板过滤和转换两个方法,可以很好地提高中文事件抽取系统的性能,但是不能摆脱对种子模板的依赖,因此还存在很大的发展空间。

结束语 本文主要针对触发词一词多义现象和模板稀疏现象对中文事件抽取系统性能的影响,提出事件模板过滤和转换方法,借助触发词的论元进行语义识别,过滤无效模板,减少假事件实例;且针对中文的特殊句型,根据句法结构提出了模板转换的规则,从而提高了模板的适用性,分别提高了种子模板的准确性与事件模板的统一性,很好地优化了中文事件抽取系统的性能。

在接下来的工作中,我们将摆脱对种子模板的依赖,从事件推理的角度识别事件,进一步改善中文事件抽取工作。

参考文献

[1] Riloff E. Automatically Generating Extraction Patterns from Untagged Text [C] // Proceedings of the Thirteenth National Conference on Artificial Intelligence. 1996: 1044-1049

[2] Yangarber R, Grishman R, Tapanainen P, et al. Automatic Acquisition of Domain Knowledge for Information Extraction [C] // Proceedings of the 18th Conference on Computational linguistics. 2000: 940-946

[3] Yangarber R. Counter-Training in Discovery of Semantic Patterns [C] // Proceedings of ACL 2003. 2003: 343-350

[4] Huang Rui-hong, Riloff E. Bootstrapped Training of Event Extraction Classifiers [C] // Proceedings of EACL 2012. 2012: 286-

295

[5] Phillips W, Riloff E. Exploiting Role-Identifying Nouns and Expressions for Information Extraction [C] // Proceedings of RAN-LP 2007. 2007: 468-473

[6] Stevenson M, Greenwood M. A Semantic Approach to IE Pattern Induction [C] // Proceedings of ACL. 2005. 2005: 379-386

[7] Liao Sha-sha, Grishman R. Filtered Ranking for Bootstrapping in Event Extraction [C] // Proceedings of COLING 2010. 2010: 680-688

[8] Liao Sha-sha, Grishman R. Can Document Selection Help Semi-supervised Learning? A Case Study on Event Extraction [C] // Proceedings of ACL 2011. 2011: 260-265

[9] Chen Zheng, Ji Heng. Can One Language Bootstrap the Other: A Case Study on Event Extraction [C] // Proceedings of HLT-NAACL 2009 Workshop on Semi-supervised Learning for Natural Language Processing. 2009: 66-74

[10] Chambers N, Jurafsky D. Unsupervised Learning of Narrative Event Chains [C] // Proceedings of ACL-HLT 2008. 2008: 787-797

[11] Chambers N, Jurafsky D. Unsupervised Learning of Narrative Schemas and Their Participants [C] // Proceedings of ACL 2009. 2009: 602-610

[12] Balasubramanian N, Soderland S, Mausam, et al. Generating Coherent Event Schemas at Scale [C] // Proceedings of the 2013 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing. 2013: 1721-1731

[13] Kiyoshi S, Satoshi S, Ralph G. Automatic Pattern Acquisition for Japanese Information Extraction [C] // Proceedings of HLT 2001. 2001: 1-7

[14] Kiyoshi S, Satoshi S, Ralph G. An Improved Extraction Pattern Representation Model for Automatic IE Pattern Acquisition [C] // Proceedings of ACL 2003. 2003: 224-231

[15] Liu Ting, Strzalkowski T. Bootstrapping Events and Relations from Text [C] // Proceedings of EACL 2012. 2012: 296-305