

AAM 机理对一类神经元混沌的控制作用*

姚鹏鹏^a, 辛厚文^{a, b, **}

(a. 中国科学技术大学, 化学物理系, 合肥 230026)

(b. 吉林大学, 国家理论与计算化学实验室, 长春 130023)

摘要: 利用在混沌控制中, AAM 机理既不需要对体系的状况有太多了解, 也不需要借助于外加信号的作用这个优点, 来对一类神经元混沌模型进行混沌控制。通过调整自适应参数 γ 的值, 得到一系列对应的控制混沌轨道。

关键词: 神经元; 混沌控制; AAM 机理; 有序轨道

中图分类号: O231.2 文献标识码: A

1 前言

大脑是一个由神经元组成的非常复杂的非线性系统, 这些神经元中包含着复杂的动力学行为: 稳定态、周期态、混沌态^[1, 2]。在大脑对信息的处理中, 混沌扮演重要的角色^[3, 4], 对这些混沌轨道的控制是一件很有意义的事情。近年来, 混沌轨道的控制引起了极大的关注。自从 OGY 混沌控制方法^[5]提出以来, 在此基础上发展了一系列的混沌轨道控制方法, 已经用在一系列物理体系、化学体系, 包括生物反应体系^[6-8]。这些控制方法大都是把小的时间依赖的扰动用于控制参数来稳定嵌在混沌吸引子中的所要的周期轨道, 要么要求对体系的状况有所了解, 要么通过外加信号把混沌轨道强迫到周期轨道上去。然而 Adaptive Adjustment Mechanism (AAM)^[9]理论却是一个例外, AAM 理论既不需要对体系的状况有所了解, 也不需要借助于外加信号的作用。本文利用混沌神经元模型, 通过 AAM 理论来控制混沌, 调节控制参数, 得到不同的周期轨道。

2 混沌模型

本文采用的混沌神经元模型是通过修改和扩展的 Nagumo - sato model^[1], 方程如下:

$$y(t+1) = ky(t) - \alpha f[y(t)] + a \quad (1)$$

$$x(t+1) = f[y(t+1)] \quad (2)$$

$$f(y) = \frac{1}{4\epsilon} (|y + \epsilon| - |y - \epsilon|) + \frac{1}{2} \quad (3)$$

其中, $y(t)$ 为神经元 t 时刻的内部状态; $x(t)$ 为 t 时刻神经元的输出, 值在 0 和 1 之间; f 为输出函数, 为阶段线性函数; k 为不应度衰减参数; α 为不应度量度参数; a 为阈值与外部输

* 国家自然科学基金资助项目(29892165)。

** 通讯联系人, Email: felice@mail.ustc.edu.cn

收稿日期: 2000 - 11 - 05; 修回日期: 2001 - 03 - 05。

入有关的参数; ϵ 为陡度参数。

方程(1)分别随参数 a 、 k ($0 < a, k < 1$)变化的分岔图见于任晓林和胡光锐等用同样的模型研究的混沌控制^[10]从图中可看出,上述神经元模型包含着丰富的动力学行为,不仅有固定点、极限环等稳态行为,还存在混沌。

3 控制方法

考虑一个 N 维非线性分离体系:

$$\begin{aligned} P(t+1) &= S(t) \\ P &= (p_1, p_2, \dots, p_n) \\ S &= (s_1, s_2, \dots, s_n) \end{aligned}$$

其中, s_i 为空间 D 中被定义好的函数。

通过 AAM 机理调整的体系如下:

$$\begin{aligned} P(t+1) &= \{ P(t) \} \\ &= (1 - \gamma)P[S(t)] + \gamma P(t) \end{aligned} \quad (4)$$

γ 是正的控制参数,也可看做是自适应参数。

Huang 证明了调整后的体系 ξ 和初始体系 S 具有同样的固定点^[9],以及对于每一个固定点,有一一对应的本征值。这保证了调整后的体系与初始体系的动力学特性没有发生变化。

根据 AAM 基理,神经元模型经调整后为:

$$\begin{aligned} y(t+1) &= (1 - \gamma)F[y(t)] + \gamma y(t) \\ &= (1 - \gamma)\{k y(t) - \alpha f[y(t)] + a\} + \gamma y(t) \end{aligned} \quad (5)$$

方程(3)和(5)联立,通过欧拉法,改变 γ 的值,也即调整内部输入状态的反馈值,在计算机上模拟被控制的轨道。

4 实验结果

根据神经元模型随参数 α 和 k ($0 < \alpha, k < 1$)变化的分岔图^[10],当参数 $\alpha = 1.0, k = 0.5, a = 0.3, \epsilon = 0.05$ 时神经元处在混沌状态。我们在以后的研究中始终取定这些点使神经元体系处于混沌状态,在此基础上改变控制参数 γ 来控制不同的混沌轨道。本实验采用欧拉法计算,步长为 1,取 $t = 400600$ 时间段内的数值来对内部状态 y 进行分析。

图 1 是控制参数 $\gamma = 0.0, 0.1, 0.2$ 时的数值实验结果,从 t 序列上看,神经元体系是处于混沌状态的,内部状态 y 的时间序列像一个随即序列。

图 2 是控制参数 $\gamma = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ 时的数值实验结果,图中表明,神经元混沌状态被控制到不同的周期轨道上了。

图 3 是控制参数 $\gamma = 0.7, 0.8, 0.9$ 时的数值实验结果,图中表明, $\gamma = 0.7$ 时,仍是混沌,周期轨道没有被控制住; $\gamma = 0.8$ 时,一条周期轨道被稳定下来; $\gamma = 0.9$ 没有周期轨道被稳定下来,体系处于稳定态。

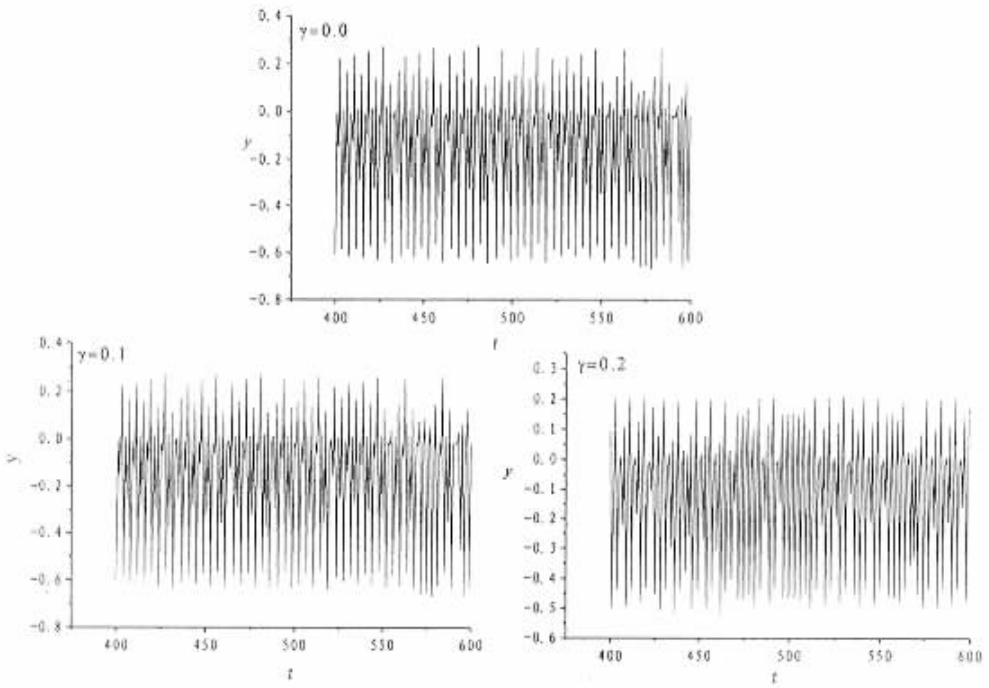


图 1 $\gamma = 0.0, 0.1, 0.2$ 时的内部状态 y 对 t 时间序列图

Fig.1 The time consequence of internal state y with adaptive parameter $\gamma = 0.0, 0.1, 0.2$ respectively

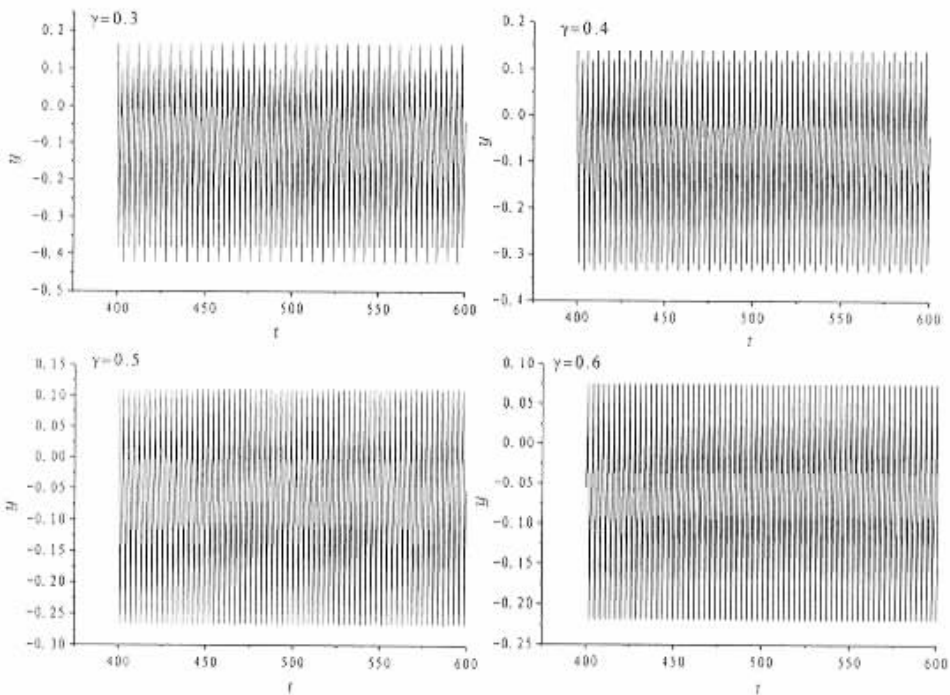


图 2 $\gamma = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ 时的内部状态 y 对 t 时间序列图，

Fig.2 The time consequence of internal state y with adaptive parameter $\gamma = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ respectively

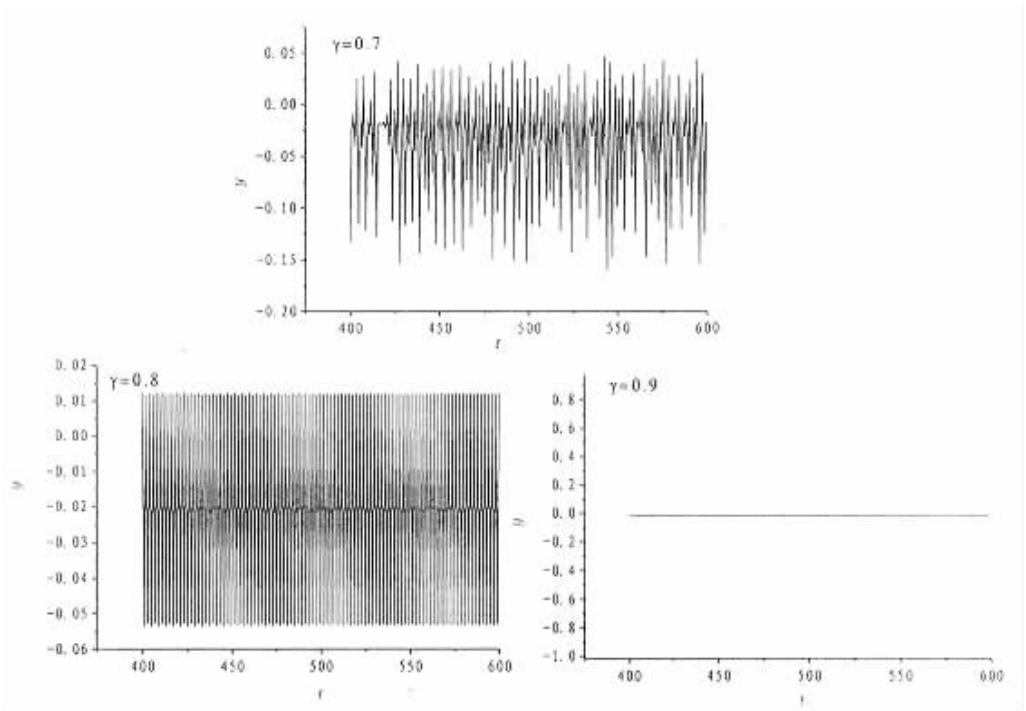


图3 $\gamma = 0.7, 0.8, 0.9$ 时的内部状态 y 对 t 时间序列图

Fig.3 The time consequence of internal state y with adaptive parameter $\gamma = 0.7, 0.8, 0.9$ respectively

5 结论

通过控制 γ 的大小,可以控制不同的混沌轨道稳定下来,从实验结果可知,较小的 γ 值 ($\gamma = 0.1, 0.2$),混沌轨道不能被控制下来。随着 γ 值的增大,当 $\gamma = 0.3, 0.4, 0.5, 0.6$ 时候,才有周期轨道被稳定下来。当 γ 值再增大时, $\gamma = 0.9$,由于内部状态 y 的反馈太多, $y(t+1)$ 与 $y(t)$ 之间几乎是线性关系,此时的 AAM 控制机理就不是很适用了。AAM 机理简单有效,既不需要对体系的性质有所了解,也不需要借助于外加信号。这更接近于没有外信号输入时候的神经元工作环境,有利于不受外界刺激的条件下的神经元工作原理的研究。单个神经元的动力学行为是整个神经网络复杂的时空行为的基础和组成部分,控制神经元进而控制神经网络能进一步揭示大脑的工作机理。我们将对 AAM 机理在神经元动力学中的作用做进一步的研究。

参 考 文 献

- [1] Aihara K, Takabe T, Toyoda M. *Physica. A*, 1990, **144**: 333
- [2] Freeman W J. *Int. J. Bifurcation Chaos*, 1992, **2**: 451
- [3] Yao Y, Freeman W J. *Neural Networks*, 1990, **3**: 153
- [4] Skarda C A, Freeman W J. *Brain Sci.*, 1987, **10**: 161
- [5] Ott E, Grebogi C, Yorke J A. *Phys. Rev. Lett.*, 1990, **64**: 1199
- [6] Romeiras F J, Grebogi C, Ott E, Dayawansa W P. *Physica*, 1992, **58D**: 165
- [7] Garfinkel A, Spano M L, Ditto W L, Weiss J N. *Science*, 1992, **257**: 1230

- [8] Hbinger B , D⁹ rner R , Martienssen W Z. *Physica B* , 1993 , **90** : 103
- [9] Weihong Huang. *Phys. Rev. E* , 2000 , **61** : 1012
- [10] Ren Xiaolin (仁晓林) , Hu Guangrui (胡光锐) , Tan Zhenghua (谭政华) . *Ziran Zazhi* (自然杂志) , 1999 , **21** : 308

Effects of AAM Mechanics in Controlling Chaos in a Chaotic Neuron^{*}

Yao Pengpeng^a , Xin Houwen^{a b**}

(*a.* Department of Chemical Physics , University of Science and Technology of China , Hefei 230026)

(*b.* National Laboratory of Theoretical and Computational Chemistry of China , Changchu 130023)

Abstract Adaptive adjustment mechanism (AAM) , which is used to control chaos , Utilizes neither prior knowledge of the system itself nor external control signals . By using this merit , we employ AAM mechanics to control a chaotic neuron . Varying adaptive parameter γ , we obtain a series of controlled chaotic orbits .

Key words Neuron , Chaotic controlling , AAM mechanics , Order orbit

* Project supported by the National Natural Science Foundation of China (29892165) .

** To whom correspondence should be addressed , Email : felice@mail.ustc.edu.cn