

一类不确定延迟神经网络的自适应投影同步*

王兴元† 赵 群

(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116024)

(2007 年 6 月 5 日收到, 2007 年 9 月 17 日收到修改稿)

研究了一类参数不确定的延迟神经网络的投影同步, 基于 Lyapunov 稳定性理论, 设计了一种新型的自适应控制方法. 该方法能同时实现一类参数不确定延迟神经网络的参数识别和投影同步. 数值模拟证明了该方法的有效性.

关键词: 延迟神经网络, Lyapunov 稳定性理论, 参数识别, 投影同步

PACC: 0545, 0555

1. 引 言

1990 年, Pecora 和 Carroll^[1]提出了“混沌同步”的概念, 由于混沌同步在保密通信、信息工程、生物医学和化学等领域具有潜在的应用价值, 混沌同步的研究已得到了人们的关注^[2-5]. 其中, 神经网络的同步问题曾引起了人们的关注^[2, 6]. 由于神经网络间的放电活动存在时间延迟现象, 这种现象将影响神经系统的动力学行为, 因此增大了控制的难度. 最近几年有很多关于这方面的研究^[7-13], 如王占山等研究了一类神经网络的全局同步, 给出了参数确定的时滞神经网络全局同步条件和同步控制器的设计方法^[9]; Li 等实现了不确定延迟神经网络的鲁棒脉冲同步^[10]; Sun 等完成了延迟神经网络的指数同步^[11]; Vimal 分析了延迟细胞神经网络的全局指数稳定性问题^[12]. 以上方法针对的都是参数确定的延迟神经网络的同步问题, 但由于混沌系统的初值敏感性, 参数的微小变化会对系统的结果产生很大的影响, 所以同步过程中参数的识别也是很重要的.

对于部分耦合线性系统, Mainieri 和 Xu 等发现驱动-响应系统可以同步到一个比例因子上, 这种类型的同步被称为投影同步^[6, 14, 15]. 在混沌保密通信中, 投影同步可以把二进制数扩展到 M 进制以实现更快的传输, 因此对投影同步的研究具有重要的理论意义和应用前景. 为此, 本文从参数识别和系统的

时滞问题两方面考虑, 利用 Lyapunov 函数实现了参数不确定的延迟神经网络自适应投影同步, 数值模拟进一步证明了该方法的有效性.

2. 系统及投影同步问题的描述

本文主要研究了一类延迟神经网络的投影同步问题. 这类系统可用如下的延迟微分方程来描述^[16-21]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i(t) = & -c_i x_i(t) + \sum_{j=1}^n a_{ij} f_j(x_j(t)) \\ & + \sum_{j=1}^n b_{ij} f_j(x_j(t - \tau_{ij})) \end{aligned} \quad (i = 1, 2, \dots, n), \quad (1)$$

这里 $n \geq 2$ 表示神经网络中的神经元的个数, x_i 表示第 i 个神经元的状态变量. (1) 式还可表示为

$$\dot{\mathbf{x}}(t) = -\mathbf{x}(t)\mathbf{c} + \mathbf{f}(\mathbf{x}(t))\mathbf{a} + \mathbf{f}(\mathbf{x}(t - \tau))\mathbf{b}, \quad (2)$$

这里 $\mathbf{x}(t) = (x_1(t), \dots, x_n(t))^T \in R^n$ 为神经网络的状态矢量; $\mathbf{c} = (c_1, \dots, c_n) \in R^n$ 为一个对角矩阵, $c_i > 0$; $\mathbf{a} = (a_1, a_2, \dots, a_{(i-1)n+j}, \dots, a_p)^T \in R^p$ 表示神经网络中神经元之间相互联系的强度; $\mathbf{b} = (b_1, b_2, \dots, b_{(i-1)n+j}, \dots, b_p)^T \in R^p$ 表示具有延迟参数 τ 的网络中神经元之间的联系强度; 激励函数 $f_j(x_j(t))$ 表示神经元之间相互作用的方式. (2) 式的初始条件为 $x_i(t) = \phi_i(t) \in C([- \tau, 0], R)$, 其中 $C([- \tau, 0], R)$ 为

* 国家自然科学基金(批准号: 60573172)和高等学校博士学科点专项科研基金(批准号: 20070141014)资助的课题.

† 通讯联系人. E-mail: wangxy@dlut.edu.cn

$[-\tau, 0]$ 到 R 中所有连续函数的集合.

研究表明,合理选取参数 a, b, c 以及延迟参数 τ 可使系统 (1) 表现出混沌特性^[22-25]. (2) 式可以表示一些较著名的循环延迟神经网络,如延迟 Hopfield 网络和延迟细胞神经网络.当激励函数 $f_i(x_i)$ 为 Sigmoid 型函数时 (2) 式描述的是 Hopfield 神经网络的动态特性.当 $f_i(x_i) = (|x_i + 1| - |x_i - 1|)/2$ 时 (2) 式描述的是细胞神经网络的动态特性.

假设 1 函数 $f_i: R \rightarrow R (i = 1, 2, \dots, n)$ 是有界的,且存在常数 $K_i > 0$, 对于 $\forall x_1, x_2 \in R, \exists |F_i(x_1) - F_i(x_2)| \leq K_i |x_1 - x_2|$.

为了较好地观察混沌神经网络的同步过程,构造两个主从混沌神经网络,其中主系统的状态变量为 x_i , 从系统的状态变量为 y_i . 主从系统具有相同的动态方程,但它们的初始条件不同.主系统的动态方程可以用 (2) 式表示,从系统的动态方程可以用如下的式子描述:

$$\dot{y}(t) = -y(t)c_1 + f(y(t))a_1 + f(y(t-\tau))b_1 + u, \quad (3)$$

这里 $y(t) = (y_1(t), \dots, y_n(t))^T$ 为从系统的状态矢量, $a_1 = (a_{11}(t), a_{12}(t), \dots, a_{1p}(t))^T \in R^p$, $b_1 = (b_{11}(t), b_{12}(t), \dots, b_{1p}(t))^T \in R^p$ 和 $c_1 = (c_{11}(t), c_{12}(t), \dots, c_{1n}(t))^T \in R^n$, 是时间 t 的函数, $u = (u_1(t), \dots, u_n(t))^T$ 为外部控制输入矢量即控制器.从系统和主系统有相同的结构,但是参数 a_1, b_1 和 c_1 是驱动-响应系统同步过程中需要辨识的未知参数.响应系统 (2) 的初始条件为 $f_i(t) = \varphi_i(t) \in \alpha[-\tau, 0], R$. 因此,在不同初始条件下具有不确定参数的主-从神经网络系统的投影同步问题可以归结为如何正确设计出控制器

$$u = u(x, y, a_1, b_1, c_1, t),$$

和参数更新规则

$$\dot{a}_1 = a_1(x, y, a_1, b_1, c_1, t),$$

$$\dot{b}_1 = b_1(x, y, a_1, b_1, c_1, t),$$

$$\dot{c}_1 = c_1(x, y, a_1, b_1, c_1, t).$$

本文的主要任务是设计出控制器 u 以及更新规则 a_1, b_1 和 c_1 , 使从系统 (3) 的状态 $y(t)$ 逐渐和主系统 (2) 的状态 $x(t)$ 达到投影同步.即

$$\lim_{t \rightarrow \infty} (y(t) - Hx(t)) = 0,$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} a_1(t) - a = 0,$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} b_1(t) - b = 0,$$

$$\lim_{t \rightarrow \infty} c_1(t) - c = 0,$$

定义主-从系统的误差信号为 $e(t) = y(t) - Hx(t)$, 这里 H 是 n 阶对角矩阵. $H = \text{diag}(h_1, h_2, \dots, h_n)$. 则误差的动力系统可表示为

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) = \dot{y} - H\dot{x} = & -y(t)c_1 + f(y(t))a_1 \\ & + f(y(t-\tau))b_1 + u - H(-x(t)c \\ & + f(x(t))a + f(x(t-\tau))b). \end{aligned} \quad (4)$$

3. 控制器的设计

设计的投影同步控制器为

$$\begin{aligned} u = & -e(t) + (y(t) - Hx(t))c_1 \\ & [Hf(x(t)) - f(y(t))]a_1 \\ & + [Hf(x(t-\tau)) - f(y(t-\tau))]b_1, \end{aligned} \quad (5)$$

未知参数 a_1, b_1 和 c_1 的更新规则为

$$\dot{a}_1(t) = -Q^{-1}f(x(t))HPe, \quad (6)$$

$$\dot{b}_1(t) = -R^{-1}f(x(t-\tau))HPe, \quad (7)$$

$$\dot{c}_1(t) = -S^{-1}x(t)HPe, \quad (8)$$

这里 P, Q 和 R 是正定矩阵. 误差系统为

$$\begin{aligned} \dot{e}(t) = & -e(t) + (Hf(x(t))\check{a}_1 - a) \\ & + Hf(x(t-\tau))\check{b}_1 - b \\ & - Hx(t)\check{c}_1 - c. \end{aligned} \quad (9)$$

定理 1 若选取控制器为 (5) 式, 更新规则为 (6) (7) 和 (8) 式, 则从任意初始值出发驱动系统 (2) 与响应系统 (3) 的轨道均可以达到同步.

证明 令 Lyapunov 函数为

$$\begin{aligned} V(e(t), a_1(t), b_1(t), c_1(t)) \\ = \frac{1}{2} [e^T(t)Pe(t) + (a_1(t) - a)^T Q(a_1(t) - a) \\ + (b_1(t) - b)^T R(b_1(t) - b) \\ + (c_1(t) - c)^T S(c_1(t) - c)], \end{aligned} \quad (10)$$

这里 P, Q, R 和 S 是正定矩阵. 对 (10) 式求导, 并由 (4) (5) (6) (7) (8) 和 (9) 式可得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & e^T(t)pe'(t) + \dot{a}_1^T(t)Q(a_1(t) - a) \\ & + \dot{b}_1^T(t)R(b_1(t) - b) \\ & + \dot{c}_1^T(t)S(c_1(t) - c) \\ = & e^T(t)P[-e(t) + (Hf(x(t))\check{a}_1 - a) \\ & + Hf(x(t-\tau))\check{b}_1 - b - Hx(t)\check{c}_1 - c] \\ & + \dot{a}_1^T(t)Q(a_1(t) - a) + \dot{b}_1^T(t)R(b_1(t) - b) \\ & + \dot{c}_1^T(t)S(c_1(t) - c) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
&= -e^{\gamma}(t)P\dot{e}(t) + [\dot{a}_1(t) \\
&+ Q^{-1}f(x(t))HPe]Q(a_1 - a) \\
&+ [\dot{b}_1(t) + R^{-1}f(x(t-\tau))HPe]R(b_1(t) - b) \\
&+ [\dot{c}_1(t) + S^{-1}x(t)HPe]S(c_1(t) - c) \\
&= -e^{\gamma}(t)P\dot{e}(t) \leq 0.
\end{aligned} \quad (11)$$

故可得证：

$$\begin{aligned}
\lim_{t \rightarrow \infty} y(t) - Hx(t) &= 0, \\
\lim_{t \rightarrow \infty} a_1(t) - a &= 0, \\
\lim_{t \rightarrow \infty} b_1(t) - b &= 0, \\
\lim_{t \rightarrow \infty} c_1(t) - c &= 0.
\end{aligned}$$

推论 1 若选取如下控制器和更新规则：

$$\begin{aligned}
u &= -\alpha(t) + (y(t) - Hx(t))c_1 \\
&+ [Hf(x(t)) - f(y(t))]a_1 \\
&+ [Hf(x(t-\tau)) - f(y(t-\tau))]b_1, \quad (12)
\end{aligned}$$

$$\dot{a}_1(t) = -f(x(t))HPe, \quad (13)$$

$$\dot{b}_1(t) = -f(x(t-\tau))HPe, \quad (14)$$

$$\dot{c}_1(t) = -x(t)HPe, \quad (15)$$

则从任意初始点出发驱动系统(2)与响应系统(3)的轨道均可以达到投影同步。

证明 当 $Q = R = I$ 时,可以从定理 1 直接得到推论 1. 证明略。

推论 2 若选取如下控制器和更新规则,

$$\begin{aligned}
x(t) &= (x_1(t) \ x_2(t))^T, \tau(x) = 1, a = (2 \ -0.1 \ -5 \ 3)^T, \\
b &= (-1.5 \ -0.1 \ -0.2 \ -2.5)^T, c = (1 \ 1)^T, \\
f(x(t)) &= \begin{pmatrix} \tanh(x_1(t)) & \tanh(x_2(t)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tanh(x_1(t)) & \tanh(x_2(t)) \end{pmatrix}.
\end{aligned}$$

图 1 为该延迟 Hopfield 神经网络的混沌吸引子。

因为 $c = (1 \ 1)^T$, 所以为了简化控制器, 响应延迟 Hopfield 神经网络的动态方程设计为

$$\dot{y}(t) = -y(t) + f(y(t))a_1 + f(y(t-\tau))b_1 + u, \quad (21)$$

这里

$$\begin{aligned}
y(t) &= (y_1(t) \ y_2(t))^T, \tau(y) = 1, a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T, \\
b_1 &= (b_{11}(t) \ b_{12}(t) \ b_{13}(t) \ b_{14}(t))^T, \\
f(y(t)) &= \begin{pmatrix} \tanh(y_1(t)) & \tanh(y_2(t)) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & \tanh(y_1(t)) & \tanh(y_2(t)) \end{pmatrix}.
\end{aligned}$$

由推论 2 可得到

$$\begin{aligned}
u &= -\alpha(t) + (y(t) - Hx(t))c_1 + [Hf(x(t)) - f(y(t))]a_1 + [Hf(x(t-\tau)) - f(y(t-\tau))]b_1, \\
\dot{a}_1(t) &= -f(x(t))He, \\
\dot{b}_1(t) &= -f(x(t-\tau))He.
\end{aligned} \quad (22)$$

$$\begin{aligned}
u &= -\alpha(t) + (y(t) - Hx(t))c_1 \\
&+ [Hf(x(t)) - f(y(t))]a_1 \\
&+ [Hf(x(t-\tau)) - f(y(t-\tau))]b_1, \quad (16)
\end{aligned}$$

$$\dot{a}_1(t) = -f(x(t))He, \quad (17)$$

$$\dot{b}_1(t) = -f(x(t-\tau))He, \quad (18)$$

$$\dot{c}_1(t) = -x(t)He, \quad (19)$$

则从任意初始值出发驱动系统(2)与响应系统(3)的轨道均可以达到同步。

证明 当 $P = Q = R = I$ 时,可以从定理 1 直接得到推论 2. 证明略。

4. 数值模拟

为了验证本控制器的有效性,作者给出了两个数值仿真的例子。

例 1 考虑一类典型的含有两个神经元的延迟 Hopfield 神经网络^[24]为主系统,其动态方程描述如下:

$$\dot{x}(t) = -x(t)c + f(x(t))a + f(x(t-\tau))b, \quad (20)$$

这里

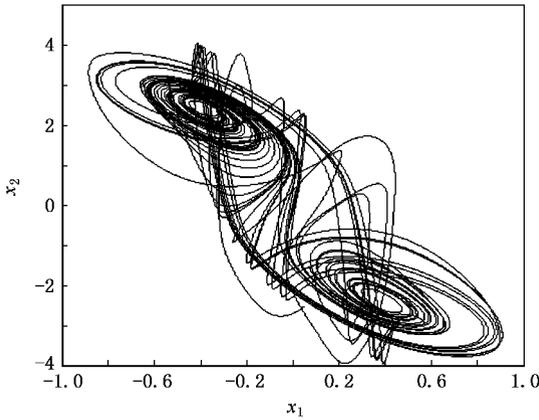


图1 延迟 Hopfield 神经网络的混沌吸引子

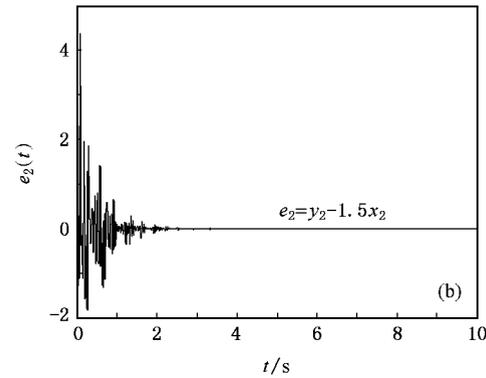
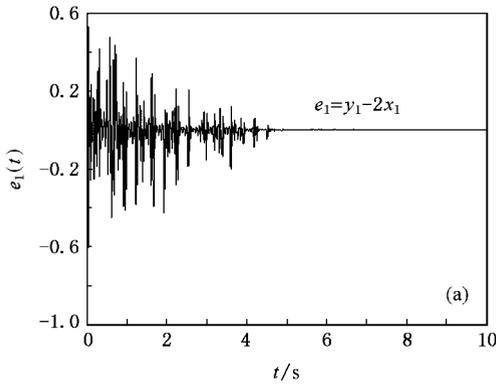


图2 系统(19)和系统(20)的投影同步误差曲线 (a) e_1 的响应曲线 (b) e_2 的响应曲线

选取主系统(20)的初始点为 $(x_1(t_0) \ x_2(t_0))^T = (0.1 \ 0.1)^T$, $H = \text{diag}(2, -3/2)$; 从系统(21)的初

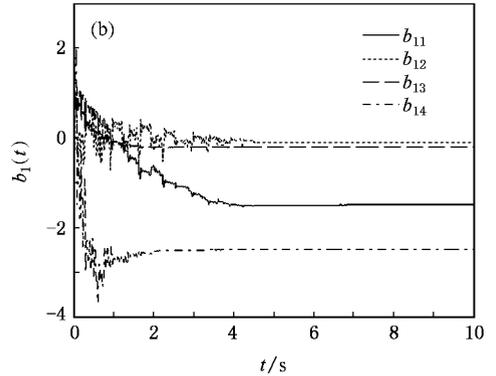
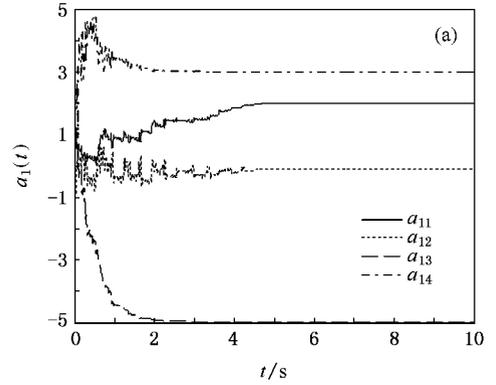


图3 系统(20)的参数辨识过程 (a) a_1 的响应曲线 (b) b_1 的响应曲线

始点为 $(y_1(t) \ y_2(t))^T = (0.45 \ 0.55)^T$, 未知参数的初值为 $a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ 和 $b_1 = (b_{11}(t) \ b_{12}(t) \ b_{13}(t) \ b_{14}(t))^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$. 因此误差系统的初值为 $e(t) = (e_1(t) \ e_2(t))^T = (0.35 \ 0.45)^T$; 利用控制器和参数更新规则(21), 作者得到驱动-响应系统的投影同步过程模拟结果如图2所示. 响应系统(20)的参数 $a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T$ 和 $b_1 = (b_{11}(t) \ b_{12}(t) \ b_{13}(t) \ b_{14}(t))^T$ 的辨识过程如图3所示.

例2 考虑如下的延迟细胞神经网络^[23]为主系统:

$$\dot{x}(t) = -Cx(t) + Af(x(t)) + Bf(x(t-1)), \quad (23)$$

这里

$$\begin{aligned}
 & x(t) = (x_1(t) \ x_2(t))^T, \tau(x) = 1, a = (1 + \pi/4 \ 20 \ 0.1 \ 1 + \pi/4)^T, \\
 & b = (-\sqrt{2}(\pi/4) \ 1.3 \ 0.1 \ 0.1 - \sqrt{2}(\pi/4) \ 1.3)^T, c = (1 \ 1)^T, \\
 & f(x(t)) = \begin{pmatrix} (|x_1(t)+1|-|x_1(t)-1|)2(|x_2(t)+1|-|x_2(t)-1|)2 & 0 & 0 \\ 0 & (|x_1(t)+1|-|x_1(t)-1|)2 & (|x_2(t)+1|-|x_2(t)-1|)2 \end{pmatrix}.
 \end{aligned}$$

图 4 为该延迟细胞神经网络的混沌吸引子.

因为 $c = (1 \ 1)^T$, 所以为了简化控制器, 响应延迟细胞神经网络的动态方程设计为

$$\dot{y}(t) = -y(t) + f(y(t))a_1 + f(y(t - \tau))b_1 + u, \quad (24)$$

这里

$$\begin{aligned} y(t) &= (y_1(t) \ y_2(t))^T, \tau(y) = 1, a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T, \\ b_1 &= (b_{11}(t) \ b_{12}(t) \ b_{13}(t) \ b_{14}(t))^T \\ f(x(t)) &= \begin{pmatrix} (|y_1(t)+1|-|y_1(t)-1|)2(|y_2(t)+1|-|y_2(t)-1|)2 & 0 & 0 \\ 0 & (|y_1(t)+1|-|y_1(t)-1|)2 & (|y_2(t)+1|-|y_2(t)-1|)2 \end{pmatrix}. \end{aligned}$$

由推论 2 可得到

$$\begin{aligned} u &= -\dot{e}(t) + (y(t) - Hx(t))c_1 + [Hf(x(t)) - f(y(t))]a_1 + [Hf(x(t - \tau)) - f(y(t - \tau))]b_1, \\ \dot{a}_1(t) &= -f(x(t))He, \\ \dot{b}_1(t) &= -f(x(t - \tau))He. \end{aligned} \quad (25)$$

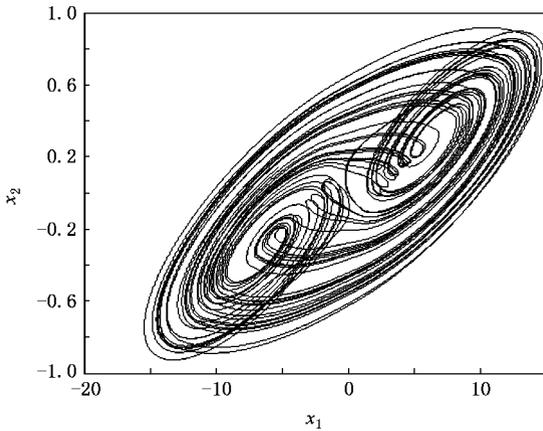


图 4 延迟细胞神经网络的混沌吸引子

选取主系统 (23) 的初始点为 $(x_1(t_0) \ x_2(t_0))^T = (0.1 \ 0.1)^T$, $H = \text{diag}(1, -1)$; 从系统 (24) 的初始点为 $(y_1(t) \ y_2(t))^T = (0.15 \ 0.35)^T$, 未知参数的初值为 $a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$ 和 $b_1 = (b_{11}(t) \ b_{12}(t) \ b_{13}(t) \ b_{14}(t))^T = (1 \ 1 \ 1 \ 1)^T$. 因此误差系统的初值为 $e(t) = (e_1(t) \ e_2(t))^T = (0.05 \ 0.25)^T$; 利用控制器和参数根新规则 (25), 作者得到驱动-响应系统的投影同步过程模拟结果如图 5 所示, 响应系统 (24) 的参数 $a_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T$ 和 $b_1 = (a_{11}(t) \ a_{12}(t) \ a_{13}(t) \ a_{14}(t))^T$ 的辨识过程如图 6 所示.

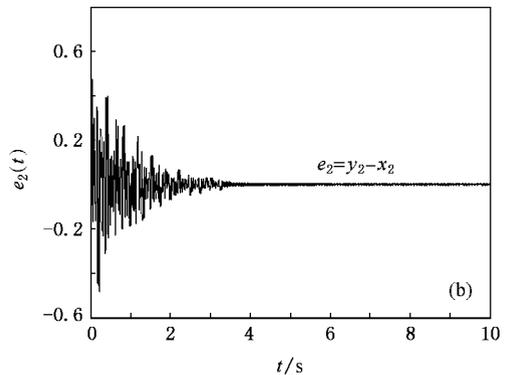
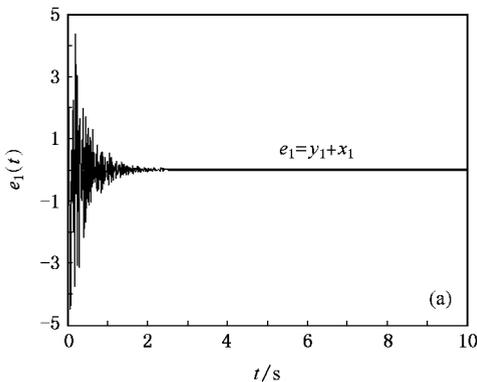


图 5 系统 (22) 和系统 (23) 的投影同步误差曲线 (a) e_1 的响应曲线 (b) e_2 的响应曲线



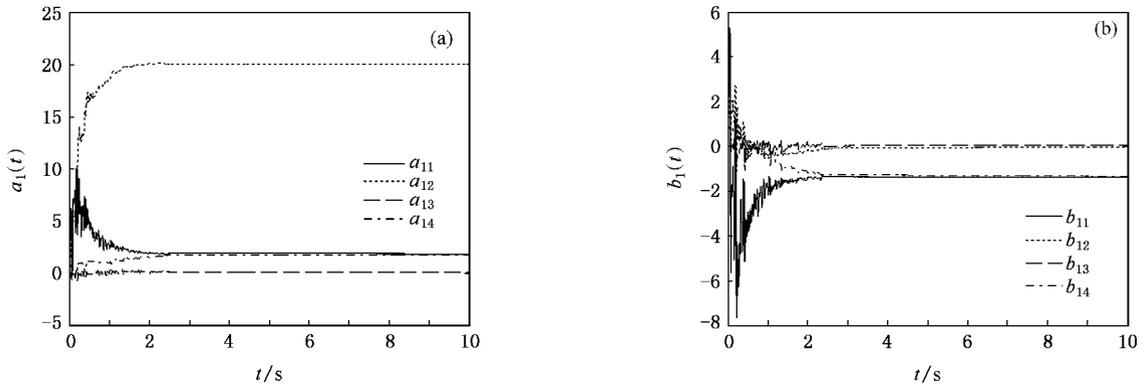


图6 系统(23)的参数辨识过程 (a) a_i 的响应曲线 (b) b_i 的响应曲线

5. 结 论

1. 本文研究了一类参数不确定的延迟神经网络的投影同步问题. 利用 Lyapunov 稳定性理论, 设计了自适应控制器和参数更新规则, 同时实现一类参数不确定延迟神经网络的参数识别和投影同步. 最后通过仿真试验验证了该方法的有效性.

2. 近年来有关延迟神经网络同步的研究已有较多的成果, 如王占山、李萍、孙永辉、Vimal 等曾研究了神经网络的同步. 与他们的方法相比, 本方法的独特之处如下: (1) 方法简单, 易于实现; (2) 能同时解决系统的延时, 参数的变换给投影同步带来的控制问题; (3) 能够实现所有状态矢量的同步, 各个状态矢量间的投影同步比例吸引子可以任意设定.

- [1] Pecora L M, Carroll T L 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 821
- [2] Wang X Y 2003 *Chaos in the Complex Nonlinearity System* (Beijing : Electronics Industry Press) chapt. 2 (in Chinese) [王兴元 2003 复杂非线性系统中的混沌(北京:电子工业出版社)第二章]
- [3] Sundar S, Minai A A 2000 *Phys. Rev. Lett.* **85** 5456
- [4] Feki M 2003 *Chaos, Solitons & Fractals* **18** 141
- [5] Chen S H, Hu J, Wang C P 2004 *Phys. Lett. A* **321** 50
- [6] Guan X P, Fan Z P, Chen C L, Hua C C 2002 *Chaotic Control and its Application on Secure Communication* (Beijing : National Defence Industry Press) chapt. 9 (in Chinese) [关新平、范正平、陈彩莲、华长春 2002 混沌控制及其在保密通信中的应用(北京:国防工业出版社)第九章]
- [7] Li G H 2007 *Chaos, Solitons & Fractals* **32** 1454
- [8] Ruan S, Wei J 2001 *Appl. Med. Biol.* **18** 41
- [9] Wang Z S, Zhang H W, Wang Z L 2006 *Acta Phys. Sin.* **55** 2687 (in Chinese) [王占山、张化光、王智良 2006 物理学报 **55** 2687]
- [10] Li P, Cao J D, Wang Z D 2007 *Physica A : Statistical and Theoretical Physics* **373** 261
- [11] Sun Y H, Cao J D, Wang Z D 2007 *Neurocomputing* **70** 2477
- [12] Vimal 2007 *Chaos, Solitons & Fractals* **31** 224
- [13] Wang X Y, Wang Y 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 2498 (in Chinese) [王兴元、王 勇 2007 物理学报 **56** 2498]
- [14] Mainieri R, Rehacek J 1999 *Phys. Rev. Lett.* **82** 3042
- [15] Xu D L, Li Z 2002 *Int. J. Bifur. Chaos* **12** 1395
- [16] Cao J 2000 *Phys. Lett. A* **270** 157
- [17] Lu H T 2001 *Phys. Rev. E* **64** 051901
- [18] Chen T P 2001 *Neural Networks* **14** 977
- [19] Zhang Y, Pheng A H, Prahald V 2002 *IEEE Trans. Circ. Syst.* **49** 256
- [20] Huang H, Cao J, Wang J 2002 *Phys. Lett. A* **298** 393
- [21] Zhou J, Liu Z R, Chen G R 2004 *Neural Networks* **17** 87
- [22] Zou F, Nosssek J A 1993 *IEEE Trans. Circ. Syst.* **40** 166
- [23] Gilli M 1993 *IEEE Trans. Circ. Syst.* **40** 849
- [24] Lu H T 2002 *Phys. Lett. A* **298** 109
- [25] Chen G, Zhou J, Liu Z R 2004 *Int. Jour. Bifur. Chaos* **14** 2229

Adaptive projective synchronization and parameter identification of a class of delayed chaotic neural networks^{*}

Wang Xing-Yuan[†] Zhao Qun

(*School of Electronic & Information Engineering, Dalian University of Technology, Dalian 116024, China*)

(Received 5 June 2007; revised manuscript received 17 September 2007)

Abstract

This paper deals with the adaptive projective synchronization problem of a class of delayed neural networks. Based on Lyapunov stability theory, a new control method is proposed to achieve parameter identification and projective synchronization simultaneously. Numerical simulations were conducted to verify the effectiveness of this method.

Keywords : delayed neural network, Lyapunov stability theory, parameter identification, projective synchronization

PACC : 0545, 0555

^{*} Project supported by the National Natural Science Foundation of China (Grant No. 60573172) and the Doctoral Program Foundation of Institution of Higher Education of China (Grant No. 20070141014).

[†] Corresponding author. E-mail : wangxy@dlut.edu.cn