

不确定自催化反应扩散时空混沌系统的延时同步^{*}

吕翎[†] 李岩

(辽宁师范大学物理与电子技术学院, 大连 116029)

(2008 年 6 月 16 日收到, 2008 年 7 月 13 日收到修改稿)

设计了一种延迟同步控制器实现了时空混沌系统之间的同步控制. 基于 Lyapunov 稳定性定理, 确定了延迟同步控制器的结构以及系统状态变量之间的误差方程. 以自催化反应扩散时空混沌系统为例, 仿真模拟验证了该控制器的有效性. 进一步设计了参量辨识器, 对不确定自催化反应扩散时空混沌系统中的参量进行了有效辨识. 通过研究有界噪声影响下系统的同步效果, 表明该同步方法具有较好的抗干扰能力.

关键词: 时空混沌, 延时同步, 参量辨识, 有界噪声

PACC: 0545

1. 引 言

自 1990 年 Pecora 和 Carroll^[1]提出了一种混沌同步方法实现了两个同结构混沌系统的恒等同步, 并在电路中得以成功应用以来, 混沌同步以其在物理、通信以及自动控制等领域所显示的巨大应用潜力而引起了人们极大的研究兴趣. 为此, 许多混沌同步控制方法已被介绍, 其中常见的主要有驱动响应法, 变量耦合法, 自适应法, 变量反馈法以及时间延迟法等^[2-12]. 一般来说, 人们利用上述同步方法实现的是目标系统和响应系统的恒等同步, 这是一种理想情况. 而实际的同步方案不可避免地要受到以下几种因素的影响. 这些影响因素之一便是目标系统和响应系统的同步总是存在一个时间上的延迟, 所以设计时间延迟法进行混沌同步会更接近实际情况. 为此, Shahverdiev 等^[13]研究了单向耦合时滞混沌系统的延迟同步, Li 等^[14]提出了一种利用延时法实现混沌同步的保密通信方案, Yu 等^[15]通过构造 Lyapunov 函数实现了参量未知的时间混沌系统之间的延时同步, Wang 等^[16]采用时间延迟法完成了 Chen 系统的混沌同步. 迄今, 时间延迟法以其同步原理简单、实际应用性强已经成为混沌同步控制常用的方法之一. 影响因素之二就是自然界实际混沌系统的参量常常由于系统本身复杂的原因或实际应用技术的局

限而导致不稳定或不能被准确地预先确定, 因此常常需要在参量不确定的情况下进行混沌同步, 甚至能够将系统的参量准确地确定出来. 为此, Lü 等^[17]利用混沌系统之间的线性耦合完成了参量未知的 Lorenz 系统、Chen 系统以及 Lü 系统的混沌同步; Zhou 等^[18]针对一类不确定复杂网络提出了自适应同步方法; Chen 等^[19]基于 Lyapunov 稳定性定理实现了不确定混沌系统的自适应同步; Park^[20]提出了参量未知的不确定混沌系统的自适应同步方法, 并用以实现超 Chen 系统的同步控制; Kim 等^[21]利用自适应法达到了不确定 Duffing 等系统的混沌同步. 另一个对实际同步方案影响较大的因素是噪声对系统同步效果的影响. 通常情况下, 实际的混沌系统不可避免地要受到噪声的干扰. 因此, 一种同步方法的优劣不但要看其在应用中的简易方便程度, 还要检验其系统抗噪声的能力.

以上介绍的这些同步方法虽然从某一侧面考虑了实际因素的影响, 但均是针对时间混沌系统的同步而设计的. 对于较时间混沌系统更为复杂的时空混沌系统的同步研究迄今国内外文献还鲜为报道. 虽然时空混沌系统较时间混沌系统的同步研究难度更大, 但是自然界绝大多数实际系统的状态与时间和空间变量均有关联, 同时, 时空混沌同步比时间混沌系统同步的应用潜力更大, 因此, 时空混沌系统同步、特别是参量不确定时空混沌系统延迟同步的理

^{*} 辽宁省自然科学基金(批准号 20082147)以及辽宁省教育厅创新团队计划资助的课题.

[†] E-mail: luling1960@yahoo.com.cn

论与应用研究更具有实际意义.

本文设计了一种延迟同步控制器实现了时空混沌系统之间的同步控制. 基于 Lyapunov 稳定性定理, 确定了延迟同步控制器的结构以及系统状态变量之间的误差方程. 以自催化反应扩散时空混沌系统为例, 仿真模拟验证了该控制器的有效性. 进一步设计了参量辨识器, 对不确定自催化反应扩散时空混沌系统中的参量进行了有效辨识. 通过研究有界噪声影响下系统的同步效果, 表明该同步方法具有较好的抗干扰能力.

2. 延迟同步控制器的设计

考虑下列两个时空混沌系统分别作为目标系统和响应系统:

$$\frac{\partial \mathbf{x}(z, t)}{\partial t} = \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t)), \quad (1)$$

$$\frac{\partial \mathbf{y}(z, t)}{\partial t} = \mathbf{g}(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{u}(z, t), \quad (2)$$

其中 z, t 为系统的空间和时间变量, $\mathbf{x}(z, t) \in \mathbf{R}^n$, $\mathbf{y}(z, t) \in \mathbf{R}^n$ 分别为目标系统和响应系统的状态变量, $\mathbf{f}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$, $\mathbf{g}: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$. $\mathbf{u}(z, t) \in \mathbf{R}^n$ 为延迟同步控制器.

定理 对于响应系统(2), 当延迟同步控制器的形式满足

$$\mathbf{u}(z, t) = \mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) - \mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t)), \quad (3)$$

其中 $\mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t - \tau))$ 和 $\mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t))$ 分别是由目标系统和响应系统状态变量构成的待定函数, τ 为延迟量. 若 $t \rightarrow \infty$ 时, 延迟同步系统(1)和(2)状态变量之间的误差

$$\mathbf{e}(z, t) = \mathbf{y}(z, t) - \mathbf{x}(z, t - \tau) \rightarrow 0, \quad (4)$$

则系统(1)和(2)达到延迟同步.

证明 定义延迟同步系统(1)和(2)状态变量之间的误差

$$\mathbf{e}(z, t) = \mathbf{y}(z, t) - \mathbf{x}(z, t - \tau), (t > \tau), \quad (5)$$

则由(1)(2)和(5)式, 可以得到误差变量随时间的演化方程

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{e}(z, t)}{\partial t} &= \frac{\partial \mathbf{y}(z, t)}{\partial t} - \frac{\partial \mathbf{x}(z, t - \tau)}{\partial t} \\ &= \mathbf{g}(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{u}(z, t) \\ &\quad - \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t - \tau)). \end{aligned} \quad (6)$$

取延迟同步控制器的形式为

$$\mathbf{u}(z, t) = \mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) - \mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t)), \quad (7)$$

(6)式将有如下的形式:

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{e}(z, t)}{\partial t} &= \mathbf{g}(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) \\ &\quad - \mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t)) - \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t - \tau)). \end{aligned} \quad (8)$$

将目标系统和响应系统改写为

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{x}(z, t)}{\partial t} &= \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t)) \\ &= \mathbf{A}\mathbf{x}(z, t) + \mathbf{f}'(\mathbf{x}(z, t)), \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{y}(z, t)}{\partial t} &= \mathbf{g}(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{u}(z, t) \\ &= \mathbf{C}\mathbf{y}(z, t) + \mathbf{g}'(\mathbf{y}(z, t)) \\ &\quad + \mathbf{u}(z, t), \end{aligned} \quad (10)$$

其中 $\mathbf{A} \in \mathbf{R}^{n \times n}$, $\mathbf{C} \in \mathbf{R}^{n \times n}$.

选择目标系统和响应系统的状态变量构成待定函数

$$\mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t)) = \mathbf{f}'(\mathbf{x}(z, t)) + (\mathbf{A} - \mathbf{C} + \mathbf{K})\mathbf{x}(z, t), \quad (11)$$

$$\mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t)) = \mathbf{g}'(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{K}\mathbf{y}(z, t), \quad (12)$$

其中控制因子 $\mathbf{K} \in \mathbf{R}^{n \times n}$.

则目标系统和响应系统状态变量的误差方程(8)可以写成

$$\begin{aligned} \frac{\partial \mathbf{e}(z, t)}{\partial t} &= \mathbf{g}(\mathbf{y}(z, t)) + \mathbf{s}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) \\ &\quad - \mathbf{v}(\mathbf{y}(z, t)) - \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) \\ &= \mathbf{C}\mathbf{y}(z, t) + \mathbf{g}'(\mathbf{y}(z, t)) \\ &\quad + \mathbf{f}'(\mathbf{x}(z, t - \tau)) \\ &\quad + (\mathbf{A} - \mathbf{C} + \mathbf{K})\mathbf{x}(z, t - \tau) \\ &\quad - \mathbf{g}'(\mathbf{y}(z, t)) - \mathbf{K}\mathbf{y}(z, t) \\ &\quad - \mathbf{A}\mathbf{x}(z, t - \tau) - \mathbf{f}(\mathbf{x}(z, t - \tau)) \\ &= (\mathbf{C} - \mathbf{K})\mathbf{e}(z, t) \\ &= \mathbf{L}\mathbf{e}(z, t). \end{aligned} \quad (13)$$

上述误差方程中的系数矩阵 $\mathbf{L} \in \mathbf{R}^{n \times n}$ 的本征值方程为

$$|\lambda \mathbf{I} - \mathbf{L}| = 0. \quad (14)$$

根据 Lyapunov 稳定性定理^[21], 若选择适当的 \mathbf{K} 值, 使本征值 λ 具有负的实部, 则目标系统和响应系统达到延迟同步. 证毕.

3. 仿真实验

以自催化反应扩散时空混沌系统为例, 仿真模拟验证所设计的延迟同步控制器的有效性.

自催化反应扩散时空混沌系统作为目标系统由下列动力学方程描述^[23]:

$$\frac{\partial x_1(z, t)}{\partial t} = 1 - x_1(z, t) - a_1 x_1(z, t) x_3^2(z, t)$$

$$+ d_1 \nabla^2 x_1(z, t),$$

$$\frac{\partial x_2(z, t)}{\partial t} = \beta - x_2(z, t) - a_2 x_2(z, t) x_3^2(z, t)$$

$$+ d_2 \nabla^2 x_2(z, t)$$

$$\frac{\partial x_3(z, t)}{\partial t} = 1 - (1 + a_3) x_3(z, t)$$

$$+ \alpha [a_1 x_1(z, t) + a_2 x_2(z, t)] x_3^2(z, t) + d_3 \nabla^2 x_3(z, t), \quad (15)$$

其中参量 $\alpha = 1.5$, $\beta = 2.93$, $a_1 = 18000$, $a_2 = 400$, $a_3 = 80$. 扩散系数 $d_1 = 1.0$, $d_2 = 1.0$, $d_3 = 0.01$. 系统状态变量的时空演化呈现混沌行为, 如图 1—3 所示, 其相图如图 4 所示.

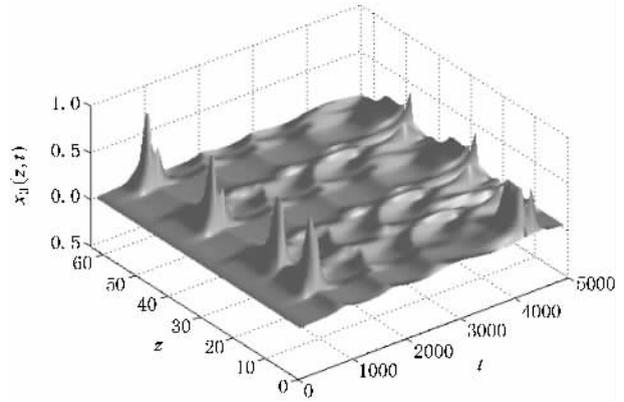


图 3 状态变量 $x_3(z, t)$ 的时空演化

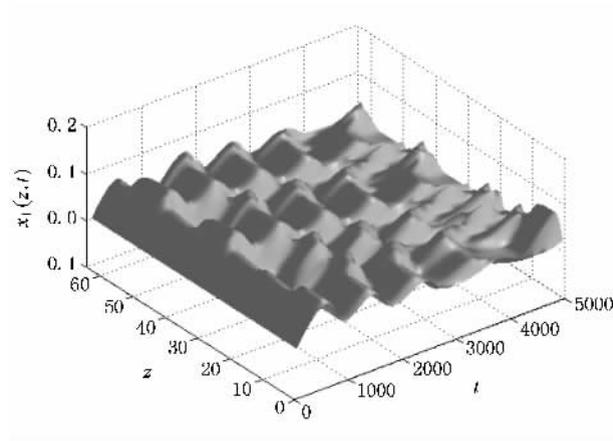


图 1 状态变量 $x_1(z, t)$ 的时空演化

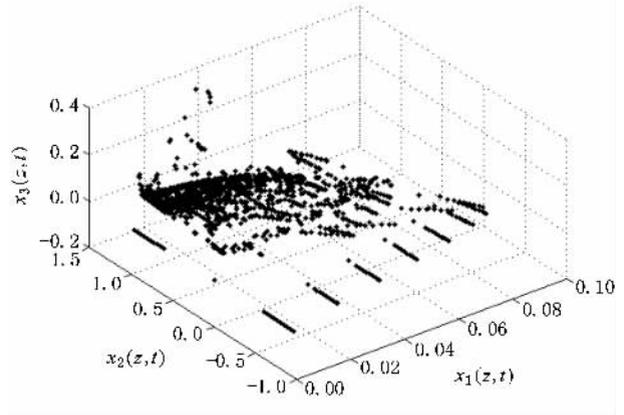


图 4 系统 (15) 的相图

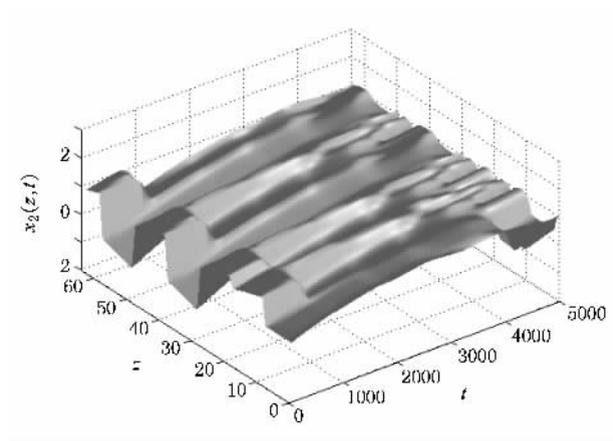


图 2 状态变量 $x_2(z, t)$ 的时空演化

响应系统取为

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_1(z, t)}{\partial t} &= 1 - y_1(z, t) \\ &\quad - a_1 y_1(z, t) y_3^2(z, t) \\ &\quad + d_1 \nabla^2 y_1(z, t) + u_1(z, t), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_2(z, t)}{\partial t} &= \beta - y_2(z, t) \\ &\quad - a_2 y_2(z, t) y_3^2(z, t) \\ &\quad + d_2 \nabla^2 y_2(z, t) + u_2(z, t), \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial y_3(z, t)}{\partial t} &= 1 - (1 + a_3) y_3(z, t) + \alpha [a_1 y_1(z, t) \\ &\quad + a_2 y_2(z, t)] y_3^2(z, t) \\ &\quad + d_3 \nabla^2 y_3(z, t) + u_3(z, t). \quad (16) \end{aligned}$$

根据本文设计的同步方案, 可以得到目标系统和响应系统中线性项的系数矩阵为

$$A = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -(1 + a_3) \end{bmatrix}, \quad (17)$$

$$C = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & -(1 + a_3) \end{bmatrix}. \quad (18)$$

目标系统和响应系统状态变量误差方程中的系数矩阵为

$$L = - \begin{bmatrix} 1 + K_{11} & K_{12} & K_{13} \\ K_{21} & 1 + K_{22} & K_{23} \\ K_{31} & K_{32} & (1 + a_3) + K_{33} \end{bmatrix}. \quad (19)$$

适当地选择 K 值,使得(19)式中系数矩阵的本征值均为负值,两个自催化反应扩散时空混沌系统就将达到延迟同步。

在模拟过程中,两个系统参量的选择保持不变,时间步长 $\Delta t = 1$,空间步长 $\Delta l = 0.01$,在时间迭代 2000 步开始施加延迟同步控制器,状态变量初始值取 $x_1(z, 0) = 0, x_2(z, 0) = 0, x_3(z, 0) = 0, y_1(z, 0) = 0.05, y_2(z, 0) = 0.01, y_3(z, 0) = 0.03$. 控制因子取 $K_{11} = 20, K_{22} = 20$,其余的 $K_{ij} = 0$,延迟量 $\tau = 99$ 时误差变量随时空的演化如图 5—7 所示. 取空间任一格点 $i = 16$ 时两个系统状态变量随时间的演化如图 8—10 所示. 可以看出,施加延迟同步控制器后,各误差信号经过短暂的时空序列后平稳地趋于零. 在时间迭代 2000 步以前,目标系统和响应系统状态变量随时间的演化轨迹无任何关联;时间迭代 2000 步以后,在延迟同步控制器的作用下,响应系统中的状态变量逐渐跟踪了目标系统中相对应的状态变量的混沌轨迹,两者形状完全一致,仅在时间上有一个 τ 的延迟,延迟同步得以实现. 当控制因子 K 取其他数值时,只要保证(19)式中系数矩阵的本征值均为负值,同样可以实现两个时空混沌系统

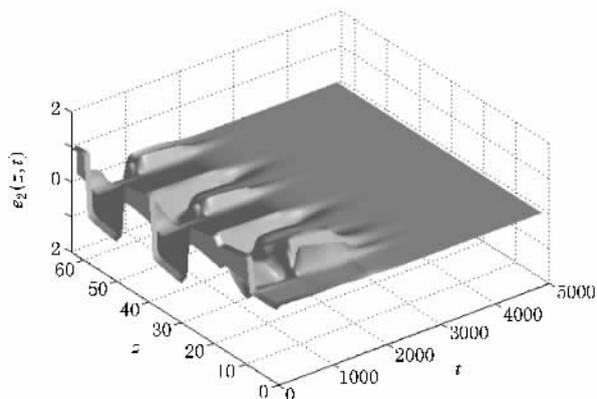


图 6 误差变量 $e_2(z, t)$ 随时空的演化

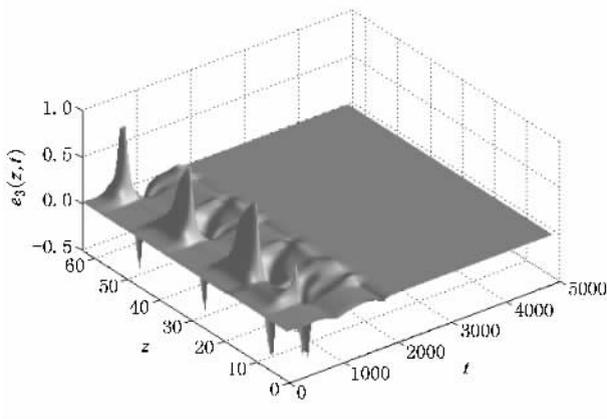


图 7 误差变量 $e_3(z, t)$ 随时空的演化

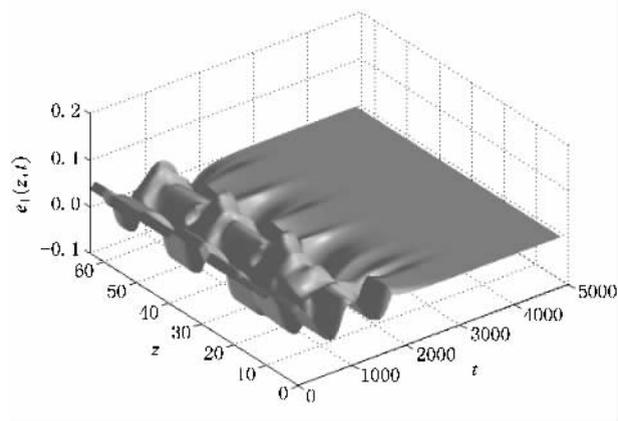


图 5 误差变量 $e_1(z, t)$ 随时空的演化

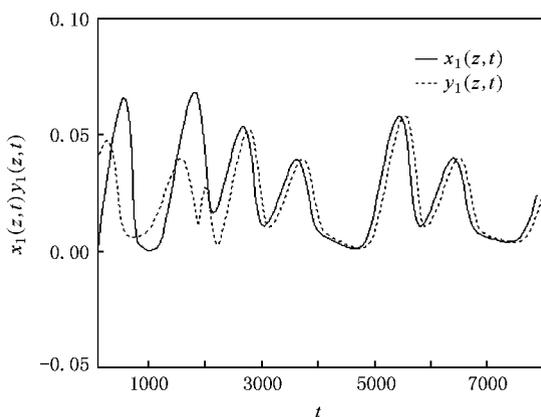


图 8 状态变量 (x_1, y_1) 随时间的演化

的延迟同步。

另外,在实际环境中,噪声是普遍存在和不可避免的,实际的混沌系统总要受到噪声的干扰.因此,延迟同步控制器的抗噪声能力就显得尤为重要.与理想的白噪声相比较,有界噪声更加合理与接近实

际,因而,这里采用有界噪声模型检验本文设计的延迟同步控制器的性能.将有界噪声 $H(t) = Q \cos(\Omega t + \sum W(t) + \xi)$ 加入响应系统中,其中 Ω, \sum 为正的常量,这里取 $\Omega = 1.0, \sum = 1.0, W(t)$ 是单位 Wiener 过程, ξ 是 $[0, 2\pi]$ 之间均匀分布的随机变

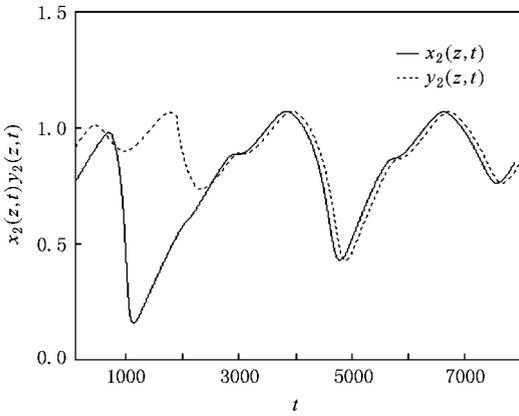


图9 状态变量 (x_2, y_2) 随时间的演化

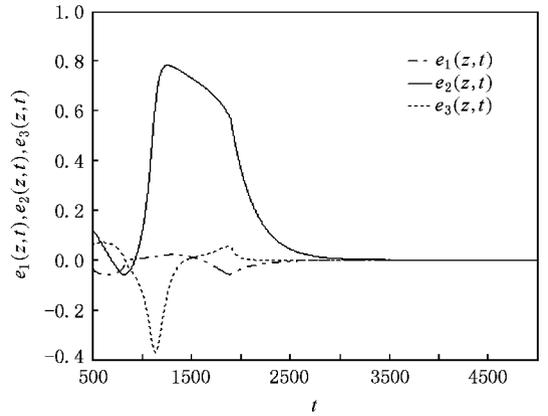


图11 噪声强度 $Q = 0.5$ 时误差变量随时间的演化

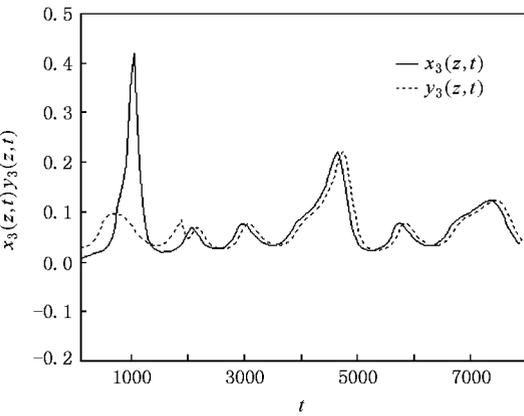


图10 状态变量 (x_3, y_3) 随时间的演化

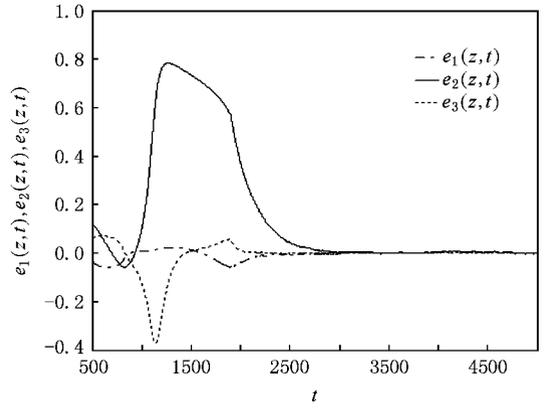


图12 噪声强度 $Q = 2.5$ 时误差变量随时间的演化

量, Q 为噪声强度.

目标系统和响应系统参量选择以及上述所有模拟数据保持不变, 噪声强度从 10^{-2} 数量级开始施加. 图 11 给出空间格点 $i = 16$, 噪声强度 $Q = 0.5$ 时误差变量随时间的演化图. 由图 11 可以清楚地看出在噪声存在的情况下, 各误差信号经过短暂的时间序列后仍能迅速平稳地趋于零, 噪声的影响不大. 继续增大噪声强度, 仿真模拟显示延迟同步控制器的性能仍正常有效. 甚至噪声强度增大到 $Q = 2.5$, 图 12 显示时间迭代 2000 步以后, 延迟同步误差在趋于零的过程中会出现小的扰动, 变得较无噪声时粗糙, 但不影响最终的同步结果. 以上仿真结果表明, 这种延迟同步控制器具有较强的抗噪声能力.

4. 参量辨识器的设计

进一步研究自催化反应扩散时空混沌系统 (15)

是参量未知的不确定时空混沌系统的延迟同步, 其中的参量 α, β, a_1, a_2 以及 a_3 全部未知. 下面我们将设计参量辨识器来有效地辨识这些参量. 我们以其中任一参量 β 的辨识过程为例加以说明.

定理 对于系统 (15), 当采用的参量辨识器 β_γ 的结构为

$$\beta_\gamma = u(z, t) - \frac{1}{3}gx_2^3(z, t),$$

$$\frac{\partial u(z, t)}{\partial t} = -gx_2^3(z, t) \left[x_2(z, t) + a_2x_2(z, t)x_3^2(z, t) - d_2\nabla^2x_2(z, t) - u(z, t) + \frac{1}{3}gx_2^3(z, t) \right], \quad (20)$$

不确定自催化反应扩散时空混沌系统中的参量 β 得到辨识.

证明 假设 β_γ 是未知参量 β 的待观测量, 设计参量辨识器的一般结构为待观测量随时间的变化率

等于待观测量与实际值之差乘以一个待定的调制函数,即

$$\frac{\partial \beta_\gamma}{\partial t} = - \frac{\partial \mathcal{S}(x_2)}{\partial x_2} (\beta - \beta_\gamma), \quad (21)$$

其中 $\mathcal{S}(x_2)$ 为待定的调制函数.

由(15)式可以得到

$$\begin{aligned} \beta &= \frac{\partial x_2(z, t)}{\partial t} + x_2(z, t) \\ &\quad + a_2 x_2(z, t) x_3^2(z, t) \\ &\quad - d_2 \nabla^2 x_2(z, t). \end{aligned} \quad (22)$$

考虑到(22)式后(21)可以写成

$$\begin{aligned} \frac{\partial \beta_\gamma}{\partial t} &= - \frac{\partial \mathcal{S}(x_2)}{\partial x_2} \left[\frac{\partial x_2(z, t)}{\partial t} + x_2(z, t) \right. \\ &\quad \left. + a_2 x_2(z, t) x_3^2(z, t) \right. \\ &\quad \left. - d_2 \nabla^2 x_2(z, t) - \beta_\gamma \right]. \end{aligned} \quad (23)$$

上式中含有状态变量 $x_2(z, t)$ 的时间导数,在实际应用中难以设计和观测,可以通过引入辅助函数的方法加以消除,为此,引入辅助函数

$$u(z, t) = \beta_\gamma + \mathcal{S}(x_2), \quad (24)$$

那么就有

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(z, t)}{\partial t} &= \frac{\partial \beta_\gamma}{\partial t} + \frac{\partial \mathcal{S}(x_2)}{\partial t} \\ &= - \frac{\partial \mathcal{S}(x_2)}{\partial x_2} \left[x_2(z, t) \right. \\ &\quad \left. + a_2 x_2(z, t) x_3^2(z, t) \right. \\ &\quad \left. - d_2 \nabla^2 x_2(z, t) - \beta_\gamma \right]. \end{aligned} \quad (25)$$

若选择调制函数 $\mathcal{S}(x_2)$ 的形式为

$$\mathcal{S}(x_2) = \frac{1}{3} g x_2^3(z, t), \quad (26)$$

其中系数 g 大于零.

考虑到 $\frac{\partial \beta}{\partial t} = 0$, 由(21)式容易看出,当 $t \rightarrow \infty$ 时, β_γ 以指数率趋于 β , 从而使系统(15)的未知参量 β 得到确定. 此时, 根据(24)、(25)和(26)式, 得到参量辨识器 β_γ 的结构为

$$\beta_\gamma = u(z, t) - \frac{1}{3} g x_2^3(z, t),$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial u(z, t)}{\partial t} &= - g x_2^2(z, t) \left[x_2(z, t) \right. \\ &\quad \left. + a_2 x_2(z, t) x_3^2(z, t) \right. \\ &\quad \left. - d_2 \nabla^2 x_2(z, t) - u(z, t) \right. \\ &\quad \left. + \frac{1}{3} g x_2^3(z, t) \right]. \end{aligned} \quad (27)$$

任取参量辨识器中调制函数的系数 $g = 0.0002$, 空

间格点 $i = 3, i = 16$, 采用设计的参量辨识器得到系统(15)的参量辨识过程如图13, 14所示. 可以看出, 待观测量 β_γ 的数值最终稳定在 2.93, 与参量 β 的数值一致.

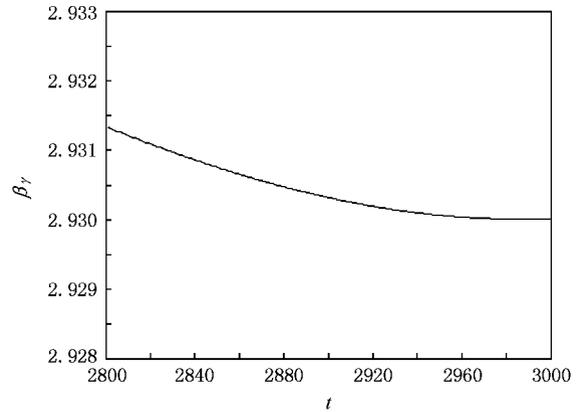


图 13 空间格点 $i = 3$ 时参量 β 的辨识过程

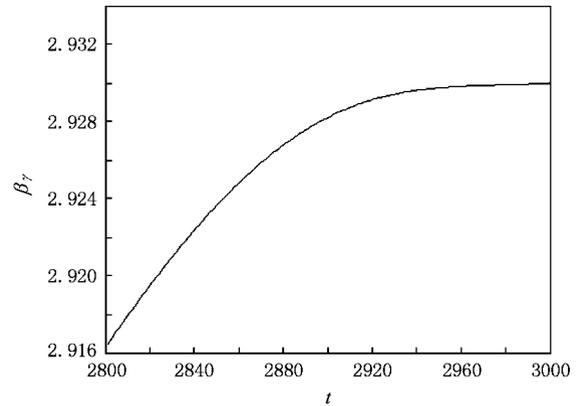


图 14 空间格点 $i = 16$ 时参量 β 的辨识过程

系统(15)中的其他未知参量 α, a_1, a_2 以及 a_3 的辨识与上述方法相同, 这里不再重复. 当研究不确定自催化反应扩散时空混沌系统(15)的延迟同步时, 选择(27)以及(7)式所设计的参量辨识器和同步控制器即可实现.

5. 结 论

本文研究了时空混沌系统之间的延迟同步问题. 设计一种延迟同步控制器实现了自催化反应扩散时空混沌系统的延迟同步. 基于 Lyapunov 稳定性定理, 确定了延迟同步控制器的结构以及系统状态变量之间的误差方程. 仿真结果表明, 在延迟同步控制器的作用下, 响应系统中的状态变量逐渐跟踪了

目标系统中相对应的状态变量的混沌轨迹,两者形状完全一致,仅在时间上有一个 τ 的延迟;并且各误差信号经过短暂的时空序列后平稳地趋于零.进一步设计了参量辨识器,使不确定自催化反应扩散

时空混沌系统中的未知参量以指数率趋于实际值.通过研究受到噪声干扰情况下延迟同步控制器的性能,发现这种延迟同步控制器抗干扰能力较强.

-
- [1] Pecora L M , Carroll T L 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 821
- [2] Wang H J , Huang H B , Qi G X 2005 *Phys. Rev. E* **71** 15202
- [3] Lü L , Luan L , Guo Z A 2007 *Chin. Phys.* **16** 346
- [4] Lü L , Guo Z A , Zhang C 2007 *Chin. Phys.* **16** 1603
- [5] Yassen M T 2007 *Phys. Lett. A* **360** 582
- [6] Haken H 2005 *Physica D* **205** 1
- [7] Ge Z M , Chang C M , Chen Y S 2006 *Chaos , Solitons and Fractals* **27** 1298
- [8] Tsimring L S , Rulkov N F , Larsen M L , Gabbay M 2005 *Phys. Rev. Lett.* **95** 14101
- [9] Wang Y W , Guan Z H , Wang H O 2005 *Phys. Lett. A* **339** 325
- [10] Deng X L , Huang H B 2002 *Phys. Rev. E* **65** 55202
- [11] Kocarev L , Parlitz U , Brown R 2000 *Phys. Rev. E* **61** 3716
- [12] Lu W L , Chen T P 2006 *Physica D* **213** 214
- [13] Shahverdiev E M , Sivaprakasam S , Shore K A 2002 *Phys. Lett. A* **292** 320
- [14] Li C D , Liao X F , Wong K W 2004 *Physica D* **194** 187
- [15] Yu W W , Cao J D 2007 *Physica A* **375** 467
- [16] Wang D X , Zhong Y L , Chen S H 2008 *Communications in Nonlinear Science and Numerical Simulation* **13** 637
- [17] Lü J H , Zhou T S , Zhang S C 2002 *Chaos , Solitons and Fractals* **14** 529
- [18] Zhou J , Lu J A , Lü J H 2006 *IEEE Trans. Automa. Cont.* **51** 652
- [19] Chen X Y , Lu J F 2007 *Phys. Lett. A* **364** 123
- [20] Park J H 2005 *Chaos , Solitons and Fractals* **26** 959
- [21] Kim J H , Park C W , Kim E , Park M 2005 *Phys. Lett. A* **334** 295
- [22] Lü L 2000 *Nonlinear dynamics and chaos* (Dalian :Dalian publishing house ㄨ in Chinese)[吕 翎 2000 非线性动力学与混沌(大连:大连出版社)]
- [23] Lynch D T 1992 *Chem. Eng. Sci.* **47** 4435

Lag synchronization in uncertain autocatalytic reaction-diffusion chaotic systems^{*}

Lü Ling[†] Li Yan

(*College of Physics and Electronic Technology, Liaoning Normal University, Dalian 116029, China*)

(Received 16 June 2008 ; revised manuscript received 13 July 2008)

Abstract

A lag synchronization controller is designed to realize synchronization between spatiotemporal chaos systems. The structure of the lag synchronization controller and the error equations of state variables are determined based on Lyapunov stability theory. Autocatalytic reaction-diffusion chaotic system is taken as an example to verify the effectiveness of the controller. The parameter identifier is further designed to provide effective identification of the parameters in the uncertain autocatalytic reaction-diffusion chaotic system. The method is proved to have better performance in anti-jamming by studying the synchronizing effect under bounded noise.

Keywords : spatiotemporal chaos , lag synchronization , parameter identification , bounded noise

PACC : 0545

^{*} Project supported by the Natural Science Foundation of Liaoning Province(Grant No. 20082147) and the Innovative Team Program of Liaoning Educational Committee.

[†] Corresponding author. E-mail : luling1960@yahoo.com.cn