

超混沌 LC 振子系统的主动追踪控制*

王兴元 贾斌

(大连理工大学电子与信息工程学院, 大连 116024)

摘要 针对四维超混沌 LC 振子系统, 设计了非线性控制器. 理论证明了该控制器可使受控超混沌 LC 振子系统按指数速率追踪任意给定的参考信号, 并实现了超混沌 LC 振子系统与不同维数混沌系统的异结构同步. 数值仿真实验验证了该控制器的有效性.

关键词 超混沌 LC 振子系统, 主动追踪控制, 异结构同步

引言

1990年, 美国马里兰大学物理学家 Ott、Grebo-gi 和 Yorke 通过参数微扰法(即 OGY 法)成功地控制了混沌^[1]. Pecore 和 Carroll 又提出了混沌同步方案^[2]. 由于混沌控制及同步在信息科学、医学、生物、工程等领域具有很大的应用潜力及发展前景, 引起了人们的广泛关注与兴趣. 科学工作者在理论和实验上都已做了大量的工作^[3-9]. 同步的两个混沌系统结构可以相同, 也可以不同. 如果结构不相同, 则称这两个混沌系统的同步为“异结构同步”^[10]. 混沌追踪, 即通过施加控制使受控系统的输出信号达到事先给定的参考信号, 是混沌同步的研究重点之一^[11]. 从系统结构的角度来讲, 迄今已提出的实现混沌同步的诸多方法中, 大多数集中于低维混沌系统的自同步研究^[6, 9, 12-16]. 目前, 超混沌控制及异结构同步的研究也引起了人们的关注: 如 Hsieh 等基于反馈方法实现了超混沌 Rössler 系统的追踪控制^[17]; 李丽香等实现了 Hénon 混沌系统的追踪控制, 给出了“异结构混沌同步”的概念^[18]; 关新平等利用 RBS 网络实现了异结构混沌同步^[19]; 陈保颖等通过引入一待定控制项, 实现了连续混沌系统的同步控制^[20]; Liu 等提出了一类混沌系统的线性反馈同步定理, 并利用对超混沌系统的仿真研究验证了定理的正确性^[21]; Jang 等实现了超混沌 Rössler 系统的滑模控制^[22]. 高维超混沌系统的异结构同步要比低维混沌系统的自同步具有更大的应用潜力和发展前景. 为此, 本文对四维

超混沌 LC 振子系统进行了追踪控制, 使之追踪任意参考信号, 并可实现异结构同步. 理论证明了受控 LC 振子系统可以指数率收敛到参考信号. 数值仿真进一步证明了该方法的有效性.

1 系统描述

超混沌系统的一般定义是, 具有四维或四维以上的微分方程系统, 并且至少具有两个或两个以上正的 Lyapunov 指数^[5]. 超混沌运动类似于混沌运动, 多种稳定性共存于一个系统中. 超混沌吸引子既具有多方向临近轨道指数发散的特性, 又具有轨道高度缠绕的复杂性态. LC 振子系统是由一个串联的 LC 振荡回路、负载电阻、充当非线性元件的二极管和一个运算放大器组成, 其四维形式由方程

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 \\ \dot{x}_2 = x_1 - bx_2 \\ \mu \dot{x}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 \\ \varepsilon \dot{x}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) \end{cases} \quad (1)$$

来描述^[23]. 其中 a, b, c, d, μ 和 ε 为系统的控制参数. $H(u)$ 为阶跃函数

$$H(u) = \begin{cases} 0 & u < 0 \\ 1 & u \geq 0 \end{cases} \quad (2)$$

当参数 $a=0.6, b=0.05, c=0.015, d=10, \varepsilon=0.33$ 和 $\mu=0.3$ 时, 系统(1)有两个正的 Lyapunov 指数 $\lambda_1=0.11, \lambda_2=0.06$, 此时系统(1)表现为超混沌运动^[23]. 图1给出了系统(1)的超混沌吸引子在 $x_i - x_j$ ($i, j=1, 2, 3, 4; i \neq j$) 平面上的投影.

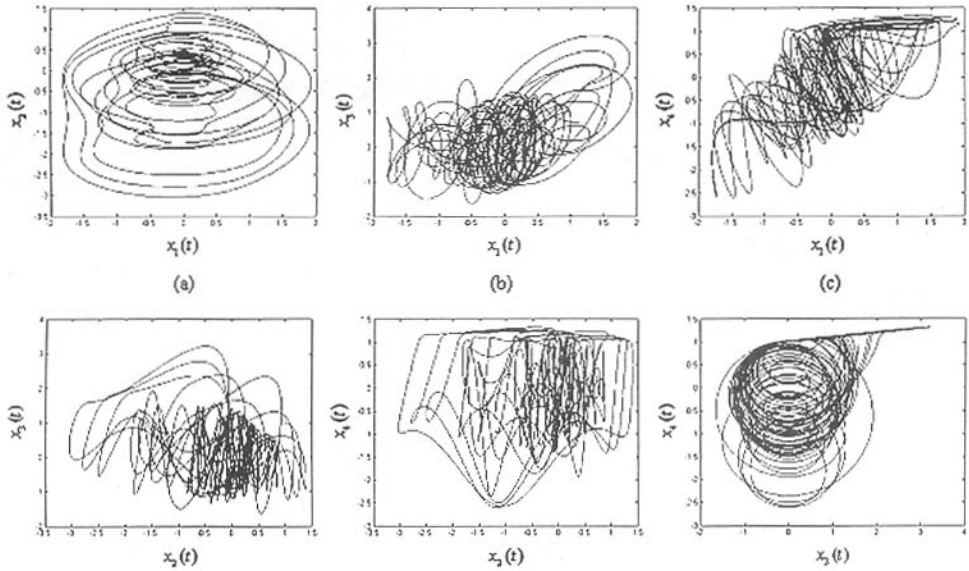


图 1 系统(1)的超混沌吸引子在 $x_i - x_j (i, j = 1, 2, 3, 4; i \neq j)$ 平面上的投影

Fig. 1 The projection of hyperchaotic attractor of system (1) on plane $x_i - x_j (i, j = 1, 2, 3, 4; i \neq j)$

由图 1 可见,系统(1)的超混沌吸引子除具有低维混沌吸引子的一般特点外,还具有其独特之处:由于超混沌系统至少在一个平面(或环面)上具有收缩或发散行为,故超混沌吸引子在 $x_i - y_j (i, j = 1, 2, 3, 4; i \neq j)$ 平面上的投影上具有更复杂的折叠和拉伸轨线,这说明超混沌系统在局部上比低维混沌系统具有更强的不稳定性,这使得对超混沌系统的控制难度大大增加了。

2 控制器的设计

2.1 追踪给定一维信号

给定一个参考信号 $r(t)$, 设计一个主动控制器 U , 使得受控 LC 振子系统

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 + U \\ \dot{x}_2 = x_1 - bx_2 \\ \mu \dot{x}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 \\ \varepsilon \dot{x}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) \end{cases} \quad (3)$$

的输出信号 $x_2(t)$ 追踪给定的参考信号 $r(t)$, 即满足

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |e(t)| = 0 \quad (4)$$

这里 $e(t) = x_2(t) - r(t)$ 称为误差信号。

选取主动控制器为

$$U = x_1(b - a - 2) - x_2(b - 1)^2 + x_3 + 2r + 2\dot{r} + \ddot{r} \quad (5)$$

下面证明输出信号 $x_2(t)$ 按指数速率收敛于参考信号 $r(t)$ 。

定理 1 若选取受控系统(3)的控制器 U 为式(5)则受控 LC 振子系统(3)的输出信号 $x_2(t)$ 将按指数率追踪参考信号 $r(t)$ 。

证明 设参考信号 $r(t)$ 连续可微, 且至少存在二阶导数, 选取系统(3)的 Lyapunov 函数为

$$V(t) = (x_2 - r)^2 + [x_1 + (1 - b)x_2 - r - \dot{r}]$$

求 $V(t)$ 导数可得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & 2(x_2 - r)(\dot{x}_2 - \dot{r}) + 2[x_1 + (1 - b)x_2 - r - \dot{r}][\dot{x}_1 + (1 - b)\dot{x}_2 - \dot{r} - \ddot{r}] \\ = & 2(x_2 - r)(x_1 - bx_2 - \dot{r}) + 2[x_1 + (1 - b)x_2 - r - \dot{r}][ax_1 - x_2 - x_3 + U + (1 - b)(x_1 - bx_2) - \dot{r} - \ddot{r}] \end{aligned}$$

将(5)式代入上式, 可得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & 2(x_2 - r)(x_1 - bx_2 - \dot{r}) + 2[x_1 + (1 - b)x_2 - r - \dot{r}][-x_2 + r - x_1 - (1 - b)x_2 + r + \dot{r}] \\ = & -2(x_2 - r)^2 - 2[x_1 + (1 - b)x_2 - r - \dot{r}]^2 = -2V(t) \end{aligned}$$

故有 $V(t) = V(0)e^{-2t}$, 因而 $|e(t)|^2 \leq V(t) = V(0)e^{-2t}$, 即误差信号 $e(t)$ 以指数速度收敛到 0。命题真。

2.2 追踪多维参考信号

给定 $N (2 \leq N \leq 4)$ 维参考信号 $r(t) = [r_1(t) \ r_2(t) \ \dots \ r_N(t)]^T$, 设计主动控制器 $U(t) = [u_1(t) \ \mu_2(t) \ \dots \ \mu_N(t)]^T$ 。若取 $N = 4$, 使得受控 LC 振子系统

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 + u_1(t) \\ \dot{x}_2 = x_1 - bx_2 + u_2(t) \\ \mu\dot{x}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 + \mu u_3(t) \\ \varepsilon\dot{x}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) + \varepsilon u_4(t) \end{cases} \quad (6)$$

的状态变量 $\mathbf{x}(t) = [x_1(t) \ x_2(t) \ x_3(t) \ x_4(t)]^T$ 追踪给定的参考信号 $\mathbf{r}(t)$, 即满足

$$\lim_{t \rightarrow \infty} |\mathbf{e}(t)| = 0$$

式中 $\mathbf{e}(t) = \mathbf{x}(t) - \mathbf{r}(t) = [x_1(t) - r_1(t) \ x_2(t) - r_2(t) \ x_3(t) - r_3(t) \ x_4(t) - r_4(t)]^T$ 为追踪误差.

选取控制器为

$$\begin{cases} u_1(t) = -(1+a)x_1 + x_2 + x_3 + r_1 + \dot{r}_1 \\ u_2(t) = -x_1 + (b-1)x_2 + r_2 + \dot{r}_2 \\ \mu u_3(t) = -x_1 + (c-\mu)x_3 + x_4 + \mu(r_3 + \dot{r}_3) \\ \varepsilon u_4(t) = -x_3 - \varepsilon x_4 + d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) + \varepsilon(r_4 + \dot{r}_4) \end{cases} \quad (7)$$

定理 2 若选取受控 LC 振子系统(6)的控制器 U 为式(7) 则系统(6)的状态变量 $\mathbf{x}(t)$ 将按指数率追踪参考信号 $\mathbf{r}(t)$.

证明 因为状态误差信号

$$\mathbf{e} = \mathbf{x}(t) - \mathbf{r}(t) \quad (8)$$

再由式(6), 可得到

$$\begin{cases} \dot{e}_1 = ax_1 - x_2 - x_3 + u_1(t) - \dot{r}_1 \\ \dot{e}_2 = x_1 - bx_2 - x_3 + u_2(t) - \dot{r}_2 \\ \mu\dot{e}_3 = x_1 - cx_3 - x_4 + \mu u_3(t) - \mu\dot{r}_3 \\ \varepsilon\dot{e}_4 = x_3 - d(x_4 - 1)H(x_4 - 1) + \varepsilon u_4 - \varepsilon\dot{r}_4 \end{cases} \quad (9)$$

整理后, 可得误差系统为

$$\dot{\mathbf{e}} = -\mathbf{e} \quad (10)$$

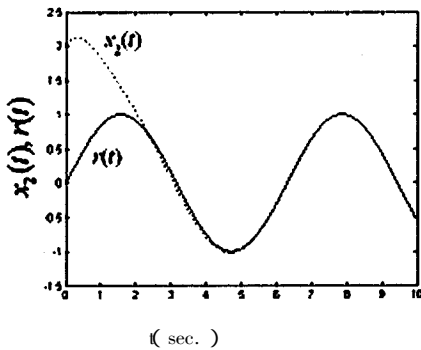
可知受控误差系统(10)的特征值均为 -1 . 说明当时 $t \rightarrow \infty$ 状态误差 \mathbf{e} 收敛于 0. 故可实现超混沌 LC 振子系统的状态变量 $\mathbf{x}(t)$ 与参考信号 $\mathbf{r}(t)$ 的同步.

选取维数值 N 的不同, 还可实现对 2 维或 3 维驱动系统的追踪同步, 对此不再赘述.

3 数值仿真结果

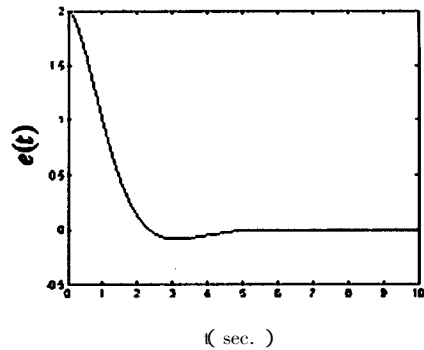
3.1 追踪给定的一维参考信号

选取参考信号为正弦信号 $r(t) = \sin(t)$, 控制器 $U = x_1(b-a-2) - x_2(b-1)^2 + x_3 + \sin(t) + 2\cos(t)$, 设初始条件为 $x_1(t) = 1 \ x_2(t) = 2 \ x_3(t) = 3$ 和 $x_4(t) = 4$, 时间步长为 $\tau = 0.01s$, 采用四阶 Runge - Kutta 法去求解方程(3), 可以实现受控系统(3)对参考信号 $x_2(t)$ 的追踪. 图 2 为系统(3)追踪正弦信号 $r(t)$ 的模拟结果. 图 2(a) 中的两条曲线分别是系统(3)的输出信号 $x_2(t)$ 和正弦参考信号 $r(t)$, $r(t)$ 用实线表示, $x_2(t)$ 用虚线表示. 由图 2(a) 可见: 当 t 接近 5.6s 时, 系统(3)的输出信号 $x_2(t)$ 已经稳定地追踪上正弦信号 $r(t)$; 由误差效果图 2(b) 也可看到, 当 t 接近 5.6s 时, 误差信号 $e(t)$ 已精确地稳定在零附近, 即系统(3)成功地实现了对正弦信号的追踪.



(a) $x_2(t)$ 和 $r(t)$ 随时间 t 的变化

(a) The time responses for $x_2(t)$ and $r(t)$



(b) $e(t)$ 随时间 t 的变化

(b) The time responses for $e(t)$

图 2 受控 LC 振子系统(3)追踪正弦信号的模拟结果

Fig. 2 The simulation of the controlled LC oscillation particle system (3) tracking the sinusoidal signal

3.2 与 Duffing 系统的异结构同步

Duffing 方程为

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = y_2 \\ \dot{y}_2 = -\gamma y_2 - y_1^3 + b\cos(t) \end{cases} \quad (11)$$

当参数 $\gamma=0.3, b=39$ 时 Duffing 系统是混沌的, 其吸引子如图 3. 选取上述参数, 进行数值研究.

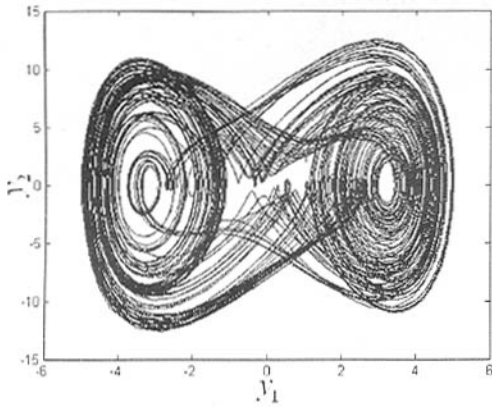
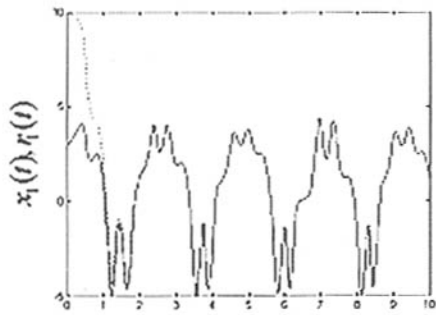


图 3 Duffing 吸引子

Fig. 3 Duffing chaotic attractor

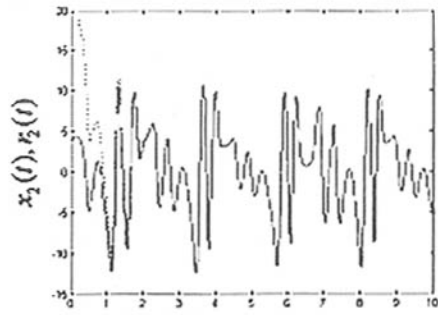
令参考信号 $r(t)=[y_1(t) y_2(t)]^T$, 选取初始条件为 $x_1(t)=10, x_2(t)=20, x_3(t)=30$ 和 $x_4(t)=40, y_1(0)=3, y_2(0)=4$. 选取时间步长为 $\tau=0.01s$, 采用了四阶 Runge - Kutta 法去求解方程 (6) 和 (11), 作者研究了 LC 振子系统 (6) 和 Duffing 系统 (11) 的异结构同步. 图 4 为模拟结果. 图 4(a) 和 4(b) 中实线分别 Duffing 系统的输出信号 $y_1(t)$ 和 $y_2(t)$, 即参考信号 $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$; 虚线分别是受控 LC 振子系统 (6) 的输出信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$. 由图 4(a) 和 4(b) 可见: 当接近 2s 时, 输出信号 $x_1(t)$ 和 $x_2(t)$ 已先后追踪上参考信号 $r_1(t)$ 和 $r_2(t)$; 由误差效果图 4(c) ~ 4(d) 也可看到, 当 t 接近 3s 时, 误差 $e_1(t)$ 和 $e_2(t)$ 已分别精确地稳定在零附近.



(sec.)

(a) $x_1(t)$ 和 $r_1(t)$ 随时间 t 的变化

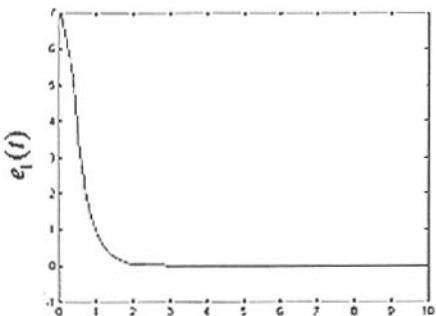
(a) The time responses for $x_1(t)$ and $r_1(t)$



(sec.)

(b) $x_2(t)$ 和 $r_2(t)$ 随时间 t 的变化

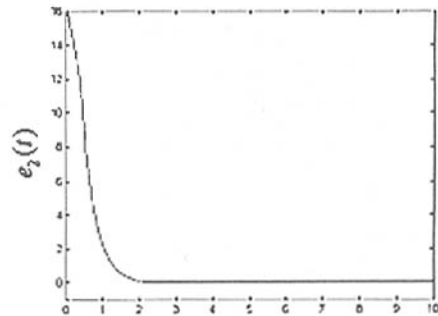
(b) The time responses for $x_2(t)$ and $r_2(t)$



(sec.)

(c) $e_1(t)$ 随时间 t 的变化

(c) The time responses for $e_1(t)$



(sec.)

(d) $e_2(t)$ 随时间 t 的变化

(d) The time responses for $e_2(t)$

图 4 受控 LC 振子系统 (6) 追踪 Duffing 系统 (11) 的模拟结果

Fig. 4 The simulation of the controlled LC oscillation particle system (6) tracking the Duffing system (11)

3.3 与 Lorenz 系统的异结构同步

1976 年, Rössler^[24] 在研究具有中间产物的化

学反应问题时, 通过适当的标度变换, 给出了 Rössler 方程为

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = -(y_2 + y_3) \\ \dot{y}_2 = y_1 + \eta y_2 \\ \dot{y}_3 = \varepsilon + y_3(y_1 - \mu) \end{cases} \quad (12)$$

当参数 $\eta = 0.2, \varepsilon = 0.2$ 和 $\mu = 8$ 时, Rössler 系统是混沌的^[24], 图 5 为 Rössler 吸引子. 选取上述参数, 进行下面的数值研究.

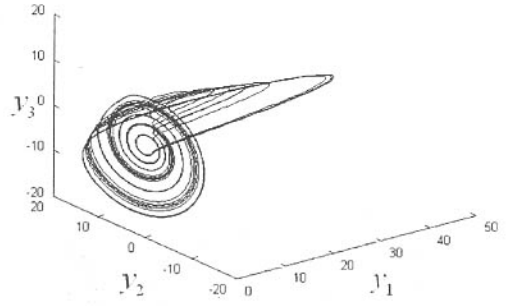
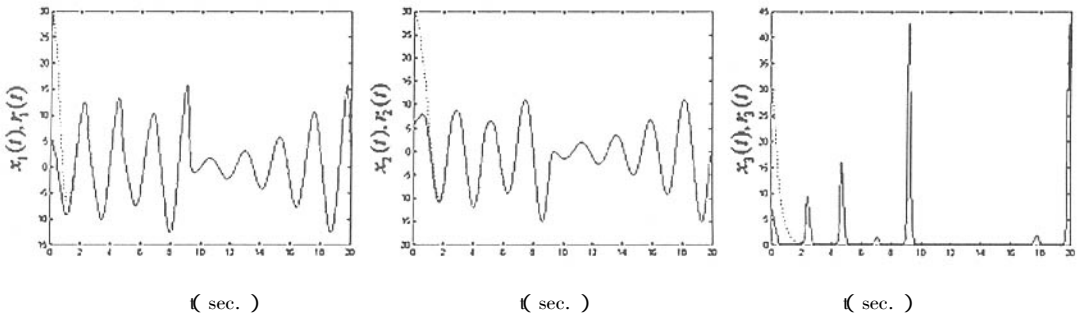


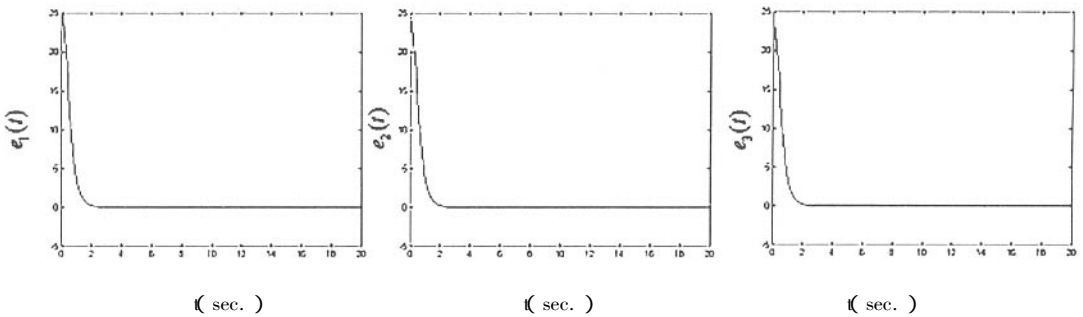
图 5 Rössler 吸引子

Fig. 5 Rössler chaotic attractor



(a) $x_1(t)$ 和 $r_1(t)$ 随时间 t 的变化 (b) $x_2(t)$ 和 $r_2(t)$ 随时间 t 的变化 (c) $x_3(t)$ 和 $r_3(t)$ 随时间 t 的变化

(a) The time responses for $x_1(t)$ and $r_1(t)$ (b) The time responses for $x_2(t)$ and $r_2(t)$ (c) The time responses for $x_3(t)$ and $r_3(t)$



(d) $e_1(t)$ 随时间 t 的变化 (e) $e_2(t)$ 随时间 t 的变化 (f) $e_3(t)$ 随时间 t 的变化

(d) The time responses for $e_1(t)$ (e) The time responses for $e_2(t)$ (f) The time responses for $e_3(t)$

图 6 受控 LC 振荡子系统(6)追踪(6)Rössler 系统(12)的模拟结果

Fig. 6 The simulation of the controlled LC oscillation particle system (6) tracking the Rössler system (12)

令参考信号 $r(t) = [y_1(t) \ y_2(t) \ y_3(t)]^T$, 选取初始条件为 $x_1(t) = 30, x_2(t) = 30, x_3(t) = 30$ 和 $x_4(t) = 30, y_1(0) = 5, y_2(0) = 6$ 和 $y_3(0) = 7$. 选取时间步长为 $\tau = 0.01s$, 采用了四阶 Runge - Kutta 法去求解方程 (6) 和 (12), 作者研究了 LC 振荡子系统 (6) 和 Rössler 系统 (12) 的异结构同步. 图 6 为数值模拟结果. 图 6(a) ~ 6(c) 中实线分别为 Rössler 系统的输出信号 $y_1(t), y_2(t)$ 和 $y_3(t)$, 即参考信号 $r_1(t), r_2(t)$ 和 $r_3(t)$; 虚线分别是受控 LC

振荡子系统 (6) 的输出信号 $x_1(t), x_2(t)$ 和 $x_3(t)$. 由图 6(a) ~ 6(c) 可见: 当 t 接近 2s 时, 输出信号 $x_1(t), x_2(t)$ 和 $x_3(t)$ 已分别追踪上参考信号 $r_1(t), r_2(t)$ 和 $r_3(t)$; 由误差效果图 6(d) ~ 6(f) 也可看到, 当 t 接近 2.5s 时, 误差 $e_1(t), e_2(t)$ 和 $e_3(t)$ 都已精确地稳定在零附近.

3.4 超混沌 LC 振荡子系统的自同步

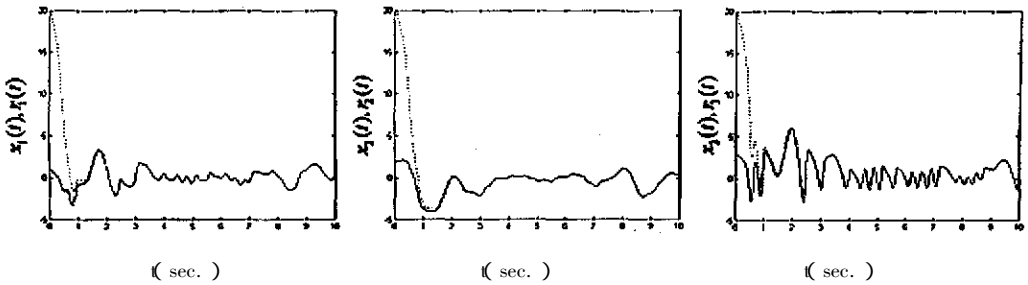
系统 (6) 的状态变量追踪另一个超混沌 LC 振荡子系统

$$\begin{cases} \dot{y}_1 = ay_1 - y_2 - y_3 \\ \dot{y}_2 = y_1 - by_2 \\ \mu\dot{y}_3 = y_1 - cy_3 - y_4 \\ \varepsilon\dot{y}_4 = y_3 - d(y_4 - 1)H(y_4 - 1) \end{cases} \quad (13)$$

的状态变量 $y(t)$, 这等同于超混沌 LC 振荡子系统的自同步问题.

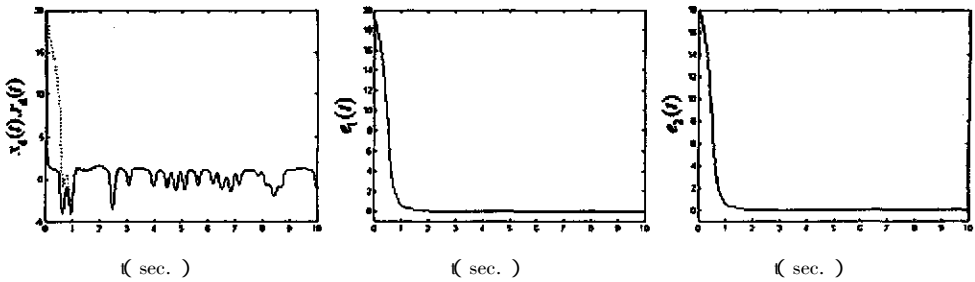
令参考信号 $r(t) = [y_1(t) \ y_2(t) \ y_3(t)]^T$ 取初值为 $x(0) = [20 \ 20 \ 20 \ 20]^T$ $y(0) = [1 \ 2 \ 3 \ 4]^T$. 选取时间步长为 $\tau = 0.01s$ 采用了四阶 Runge-Kutta 法去求解方程(6)和(13), 作者研究了超

混沌 LC 振荡子系统(6)和(13)的自同步. 图 7 为数值模拟结果. 图 7(a)~7(d)中实线分别为系统(13)的输出信号 $y_1(t)$ $y_2(t)$ $y_3(t)$ 和 $y_4(t)$, 即参考信号 $r_1(t)$ $r_2(t)$ $r_3(t)$ 和 $r_4(t)$; 虚线分别是受控 LC 振荡子系统(6)的输出信号 $x_1(t)$ $x_2(t)$ $x_3(t)$ 和 $x_4(t)$. 由图 7(a)~7(d)可见: 当 t 接近 2s 时 输出信号 $x_1(t)$ $x_2(t)$ $x_3(t)$ 和 $x_4(t)$ 已分别追踪上参考信号 $r_1(t)$ $r_2(t)$ $r_3(t)$ 和 $r_4(t)$; 由误差效果图 7(e)~7(h)也可看到, 当接近 2s 时, 误差 $e_1(t)$ $e_2(t)$ 和 $e_3(t)$ 都已精确地稳定在零附近.



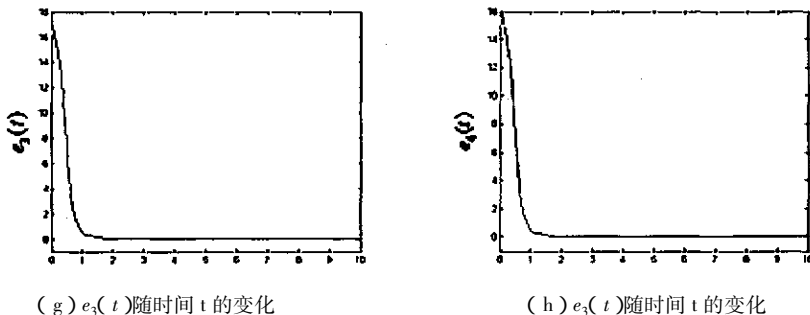
(a) $x_1(t)$ 和 $r_1(t)$ 随时间 t 的变化 (b) $x_2(t)$ 和 $r_2(t)$ 随时间 t 的变化 (c) $x_3(t)$ 和 $r_3(t)$ 随时间 t 的变化

(a) The time responses for $x_1(t)$ and $r_1(t)$ (b) The time responses for $x_2(t)$ and $r_2(t)$ (c) The time responses for $x_3(t)$ and $r_3(t)$



(d) $e_1(t)$ 随时间 t 的变化 (e) $e_1(t)$ 随时间 t 的变化 (f) $e_2(t)$ 随时间 t 的变化

(d) The time responses for $x_4(t)$ and $r_4(t)$ (e) The time responses for $e_1(t)$ (f) The time responses for $e_2(t)$



(g) $e_3(t)$ 随时间 t 的变化

(h) $e_3(t)$ 随时间 t 的变化

(g) The time responses for $e_3(t)$

(h) The time responses for $e_3(t)$

图 7 超混沌 LC 振荡子系统自同步的模拟结果

Fig. 7 The self-synchronization simulation of the hyperchaotic LC oscillation particle system

4 结论

本文针对超混沌 LC 振子系统设计了一个非线性主动控制器,可以有效地实现超混沌 LC 振子系统对任意参考信号的追踪控制,同时可以实现异结构同步.这种控制器形式简单,易于实现,且收敛速度快,控制范围宽.此方法可以适用于其它混沌系统,且可以进一步推广到对更多个状态变量的追踪控制问题.数值仿真结果证实了该方法的有效性.

参 考 文 献

- Ott E, Grebogi C, Yorke JA. Controlling chaos. *Physical Review Letters*, 1990, 64 : 1196 ~ 1199
- Pecora LM, Carroll TL. Synchronization in chaotic systems. *Physical Review Letters*, 1990, 64 : 821 ~ 827
- Chen G, Dong X. From chaos to order : methodologies, perspectives and applications. Singapore : World Scientific, 1998, 12 ~ 27
- 王光瑞, 于熙龄, 陈式刚. 混沌的控制、同步与利用. 北京 : 国防工业出版社, 2001, 281 ~ 455 (Wang Guangri, Yu Xiling, Chen Shigang. Chaotic Control, Synchronization and Utilizing. Beijing : National Defence Industry Press, 2001, 281 ~ 455 (in Chinese))
- 王兴元. 复杂非线性系统中的混沌. 北京 : 电子工业出版社, 2003, 28 ~ 32 (Wang Xingyuan. Chaos in the complex nonlinearity system. Beijing : Electronics Industry Press, 2003, 28 ~ 32 (in Chinese))
- Morgül ö, Solak E. Observer based synchronization of chaotic systems. *Physical Review E*, 1996, 54(5) : 4803 ~ 4811
- Lim T, Kwak K, Yun M. An experimental study of storing information in a controlled chaotic system with time - delayed feedback. *Physics Letters A*, 1998, 240 : 287 ~ 294
- Wang X, Chen G, Yu X. Anticontrol of chaos in continuous - time systems via time - delay feedback. *Chaos*, 2000, 10(4) : 771 ~ 779
- Chen S, Lü J. Synchronization of an uncertain unified chaotic system via adaptive control. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2002, 14 : 643 ~ 647
- 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. 北京 : 国防工业出版社, 2002, 168 ~ 225 (Guan Xinping, Fan Zhengping, Chen Cailian, et al. Chaotic control and its application to secure communications. Beijing : National Defence Industry Press, 2002, 168 ~ 225 (in Chinese))
- 陈关荣, 吕金虎. Lorenz 系统族的动力学分析、控制与同步. 北京 : 科学出版社, 2003, 132 ~ 157 (Chen Guanrong, Lü Jinhui. Dynamical analyse, Control and Synchronization of the Lorenz system family. Beijing : Science Press, 2003, 132 ~ 157 (in Chinese))
- 陈士华, 谢进, 陆君安等. Rössler 混沌系统的追踪控制与同步. 物理学报, 2002, 51(4) : 749 ~ 752 (Chen Shihua, Xie Jin, Lu Junan, et al. Tracking control and synchronization of Rössler's chaotic system. *Acta Physica Sinica*, 2002, 51(4) : 749 ~ 752 (in Chinese))
- Li Z, Shi SJ. Robust adaptive synchronization of Rössler and Chen chaotic systems via slide technique. *Physics Letters A*, 2003, 311 : 389 ~ 395
- Wang YW, Guan ZH, Wen XJ. Adaptive synchronization for Chen chaotic system with fully unknown parameters. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2004, 19(4) : 899 ~ 903
- Yu YG, Zhang SC. Adaptive backstepping synchronization of uncertain chaotic system. *Chaos, Solitons and Fractals*, 2004, 21(3) : 643 ~ 649
- Solak E. A reduced - order observer for the synchronization of Lorenz systems. *Physics Letters A*, 2004, 325 : 276 ~ 278
- Hsieh JY, Hwang CC, Wang AP, et al. Controlling hyperchaos of the Rössler system. *International Journal of Control*, 1999, 72(10) : 882 ~ 886
- 李丽香, 彭海朋, 卢辉斌, 等. Hénon 混沌系统的预测控制与同步. 物理学报, 2001, 50(4) : 629 ~ 632 (Li Lixiang, Peng Haipeng, Lu Huibin, et al. Control and synchronization of Hénon chaotic system. *Acta Physica Sinica*, 2001, 50(4) : 629 ~ 632 (in Chinese))

- 19 关新平, 范正平, 彭海朋, 等. 扰动情况下基于 RBF 网络的混沌系统同步. 物理学报, 2001, 50(9): 1670 ~ 1674 (Guan Xinping, Fan Zhengping, Peng Haipeng, et al. The synchronization of chaotic systems based on RBF network in the presence of perturbation. *Acta Physica Sinica*, 2001, 50(9): 1670 ~ 1674 (in Chinese))
- 20 陈保颖, 包芳勋. 连续混沌系统的混沌同步控制. 动力学与控制学报, 2004, 2(4): 14 ~ 18 (Chen baoying, Bao fangxun. Chaos synchronization control of continuous chaos system. *Journal of dynamics and control*, 2004, 2(4): 14 ~ 18 (in Chinese))
- 21 Liu F, Ren Y, Shan XM, et al. A linear feedback synchronization theorem for a class of chaotic system. *Chaos, Solitons & Fractals*, 2002, 13(4): 723 ~ 730
- 22 Jang MJ, Chen CL, Chen CK. Sliding mode control of hyperchaos in Rössler systems. *Chaos, Solitons & Fractals*. 2002, 14(9): 1465 ~ 1476
- 23 Tamasevicius A, Namajunas A, Cenys A. *Electron Letters*. 1996, 32(11): 957 ~ 958
- 24 Rössler OE. An equation for continuous chaos. *Physics Letters A*, 1976, 57: 397 ~ 398

ACTIVE TRACKING CONTROL OF HYPERCHAOTIC LC OSCILLATOR SYSTEM*

Wang Xingyuan Jia Bin

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

Abstract A nonlinear feedback controller was designed for a four – dimensional hyperchaotic LC oscillator system. It was proved theoretically that the controller can make the controlled hyperchaotic LC oscillator system track any given reference signal at exponent rate. And the diverse structure synchronization between the LC oscillator system and different dimensional chaotic system was achieved. Numerical simulations verified the validity of the controller.

Key words hyperchaotic LC oscillator, active tracking control, diverse structures synchronization