第 57 卷 第 4 期 2008 年 4 月
1000-3290/2008/57(04)/2073-08

物 理 学 报
ACTA PHYSICA SINICA

Vol.57, No.4, April, 2008

一类参数不确定混沌系统的自适应同步*

张若洵[1)2)†] 田 钢[1)] 栗 苹[1)] 杨世平[1)]

1)(河北师范大学物理科学与信息工程学院,石家庄 050016)

2)(邢台学院初等教育学院,邢台 054001)

(2007 年 8 月 6 日收到;2007 年 11 月 16 日收到修改稿)

基于 Lyapunov 稳定性原理,对一类参数不确定混沌系统,提出一种自适应同步控制方法.给出了自适应同步控制器和参数自适应律的解析表达式,对于具体的误差系统,控制器结构还可以进一步简化.该方法较为简单,适用范围广.以新混沌和超混沌 Chen 系统为例,数值模拟证明了该方法的有效性和可行性.

关键词:参数不确定混沌系统,自适应同步,新混沌系统,超混沌 Chen 系统

PACC:0545

1. 引　言

近年来,混沌研究是非线性科学领域的热点问题之一,而混沌的同步与控制由于其在物理、通信、信息科学、医学、生物工程等领域的巨大应用潜力和发展前途,已经引起广泛关注.自从 1990 年 Pecora 和 Carroll[1] 提出了混沌同步的原理并在电路中得以实现以来,人们提出了各种混沌同步方法,如驱动响应同步、变结构同步、耦合同步、反馈同步、驱动参量法等[2—7].这些方法讨论的大都是参数已知或确定的混沌系统,在实际应用中,一般混沌系统的参数常常是未知或不确定的.因此,要在参数未知的不确定混沌系统下实现混沌同步对实际的混沌系统至关重要.

Park[8] 提出了参数不确定超混沌 Chen 系统的自适应同步方法,陶朝海等[9] 提出了一类混沌的自适应同步方法,这两种方法的控制器中均含系统参数,控制方法比较复杂.本文提出用于一类参数不确定混沌系统的另一种自适应同步方法,控制器不含系统参数,简单易于选取且具有普适性.将控制方法用于新三维混沌系统[10] 和超混沌 Chen 系统[11],数值仿真结果表明了该方法的有效性.

2. 系统数学模型与问题描述

设混沌驱动系统为

$$\dot{\boldsymbol{x}} = \boldsymbol{A}_\alpha \boldsymbol{x} + f(\boldsymbol{x}), \tag{1}$$

响应系统为

$$\dot{\boldsymbol{y}} = \boldsymbol{A}_{\alpha'} \boldsymbol{y} + f(\boldsymbol{y}) + \boldsymbol{u}. \tag{2}$$

这里

$$\boldsymbol{x} = (x_1, x_2, \cdots, x_n)^{\mathrm{T}},$$

$$\boldsymbol{y} = (y_1, y_2, \cdots, y_n)^{\mathrm{T}}$$

分别是驱动系统和响应系统的状态向量;

$$\boldsymbol{\alpha} = (\alpha_1, \alpha_2, \cdots, \alpha_m)^{\mathrm{T}}$$

为驱动系统参数向量,对于响应系统是未知的;

$$\boldsymbol{\alpha}' = (\alpha'_1, \alpha'_2, \cdots, \alpha'_m)^{\mathrm{T}}$$

是响应系统需估计的参数向量;$\boldsymbol{A}_\alpha$,$\boldsymbol{A}_{\alpha'}$ 分别是含系统参数 $\boldsymbol{\alpha}$,$\boldsymbol{\alpha}'$ 的 $n \times n$ 矩阵;$f(\boldsymbol{x})$,$f(\boldsymbol{y})$ 是 $\boldsymbol{x}$,$\boldsymbol{y}$ 且不含系统参数 $\boldsymbol{\alpha}$,$\boldsymbol{\alpha}'$ 的 $n \times 1$ 矩阵;

$$\boldsymbol{u} = (u_1, u_2, \cdots, u_n)^{\mathrm{T}}$$

是控制参量,为 $n \times 1$ 矩阵.

令同步误差参量

$$\boldsymbol{e} = \boldsymbol{y} - \boldsymbol{x},$$

我们的目标就是设计控制器 u 使得从不同的初值 $\boldsymbol{x}_0$,$\boldsymbol{y}_0$ 出发的系统满足

$$\lim_{t\to\infty} \| \boldsymbol{e} \| = \lim_{t\to\infty} \| \boldsymbol{y}(t, y_0) - \boldsymbol{x}(t, y_0) \| = 0.$$

---

* 河北省自然科学基金(批准号:A2006000128)资助的课题.

† E-mail:xtzhrx@126.com

3. 自适应同步控制器设计

令

$$e_\alpha = \alpha' - \alpha,$$
$$A_\alpha x = F(x)\alpha,$$
$$A_{\alpha'} y = F(y)\alpha',$$

则

$$\begin{aligned}A_{\alpha'}y - A_\alpha x &= F(y)\alpha' - F(x)\alpha\\ &= F(y)\alpha' - F(x)\alpha'\\ &\quad + F(x)\alpha' - F(x)\alpha\\ &= A_{\alpha'}y - A_{\alpha'}x + F(x)e_\alpha\\ &= A_{\alpha'}e + F(x)e_\alpha.\end{aligned} \tag{3}$$

这里 $F(x)$，$F(y)$是关于系统状态参量 x，y 的 $n\times m$ 矩阵.

定理 1 若选取控制器为

$$u = f(x) - f(y) - ke, \tag{4}$$

其中

$$k = \mathrm{diag}(k_1, k_2, \cdots, k_n),$$

参数自适应律为

$$\begin{aligned}\dot{k}_i &= \beta e_i^2 \qquad (\beta > 0),\\ \dot{e}_\alpha &= \dot{\alpha}' - \dot{\alpha} = -[F(x)]^{\mathrm{T}} e,\end{aligned} \tag{5}$$

则系统(1)和系统(2)全局渐近同步.

证明 由(1)—(4)式我们得到误差系统为

$$\begin{aligned}\dot{e} = \dot{y} - \dot{x} &= A_\alpha y - A_\alpha x + f(y) - f(x) + u\\ &= A_{\alpha'}e + F(x)e_\alpha - ke.\end{aligned} \tag{6}$$

选取 Lyapunov 函数为

$$V = \frac{1}{2}e^{\mathrm{T}}e + e_\alpha^{\mathrm{T}}e_\alpha + \frac{1}{2\beta}\sum_{i=1}^{n}(k_i - k')^2.$$

对 V 求导并利用(5)式可得

$$\begin{aligned}\dot{V} &= e^{\mathrm{T}}\dot{e} + e_\alpha^{\mathrm{T}}\dot{e}_\alpha + \sum_{i=1}^{n}(k_i - k')e_i^2\\ &= e^{\mathrm{T}}A_{\alpha'}e + e^{\mathrm{T}}F(x)e_\alpha - e^{\mathrm{T}}ke\\ &\quad - e_\alpha^{\mathrm{T}}[F(x)]^{\mathrm{T}}e + e^{\mathrm{T}}(k - k'I)e\\ &= e^{\mathrm{T}}A_{\alpha'}e + e^{\mathrm{T}}F(x)e_\alpha - e^{\mathrm{T}}ke\\ &\quad - e^{\mathrm{T}}F(x)e_\alpha + e^{\mathrm{T}}(k - k'I)e\\ &= e^{\mathrm{T}}(A_{\alpha'} - k'I)e = -e^{\mathrm{T}}Pe.\end{aligned}$$

显然存在常数 k'，使矩阵 P 是正定的，从而 $\dot{V}\leqslant 0$，则 e，e_α，$k_i - k' \in L_\infty$. 由(6)式可得 $\dot{e}\in L_\infty$，由

$$\dot{V} = e^{\mathrm{T}}(A_{\alpha'} - k'I)e = -e^{\mathrm{T}}Pe$$

可得

$$\begin{aligned}\int_0^t \lambda_{\min}(P)\|e\|^2\mathrm{d}t &\leqslant \int_0^t e^{\mathrm{T}}Pe\,\mathrm{d}t\\ &= \int_0^t -\dot{V}\,\mathrm{d}t\\ &= V(0) - V(t) \leqslant 0,\end{aligned}$$

其中 $\lambda_{\min}(P)$为正定矩阵 P 的最小特征值. 所以有 $e\in L_2$，根据 Barbalat 引理可得

$$\lim_{t\to\infty}\|e(t)\| = 0,$$

即系统(1)和系统(2)全局渐近同步.

应当注意的是，系统(1)描述了许多典型的混沌系统、超混沌系统和新混沌系统(如 Lorenz 系统、Chen 系统[12]、Rössler 系统、统一混沌系统[13]、新三维混沌系统等)，且对于具体的误差系统，控制器(4)式都可以进一步简化.

4. 参数不确定混沌系统的自适应同步

4.1. 参数不确定新三维混沌系统的自适应同步

刘凌等[10] 最近发现的新三维混沌系统的数学模型为

$$\begin{aligned}\dot{x} &= a(z - x),\\ \dot{y} &= bx - xz,\\ \dot{z} &= xy - cy - gz.\end{aligned} \tag{7}$$

当 $a = 8$，$b = 40$，$c = \frac{10}{3}$，$g = 4$ 时，系统有混沌解. 以(7)式作为驱动系统，参数 a，b，c，g 未知且不随时间变化或变化很缓慢，于是有 $\dot{a} = \dot{b} = \dot{c} = \dot{g} = 0$. 响应系统为

$$\begin{aligned}\dot{x}_1 &= a_1(z_1 - x_1) + u_1,\\ \dot{y}_1 &= b_1x_1 - x_1z_1 + u_2,\\ \dot{z}_1 &= x_1y_1 - c_1y_1 - g_1z_1 + u_3,\end{aligned} \tag{8}$$

其中 a_1，b_1，c_1，g_1 是响应系统需要估计的参数. $u = (u_1, u_2, u_3)^{\mathrm{T}}$ 为控制器，在 u 的控制下可使得驱动系统(7)和响应系统(8)达到同步.

令

$$\begin{aligned}e_1 &= x_1 - x,\\ e_2 &= y_1 - y,\\ e_e &= z_3 - z,\\ e_a &= a_1 - a,\\ e_b &= b_1 - b,\\ e_c &= c_1 - c,\\ e_g &= g_1 - g,\end{aligned}$$

则可得到误差系统为

$$\begin{aligned}\dot e_1 &= a_1(e_3 - e_1) + e_a(z - x) + u_1,\\ \dot e_2 &= b_1 e_1 + e_b x - x e_3 - z e_1\\ &\quad - e_1 e_3 + u_2,\\ \dot e_3 &= x e_2 + y e_1 + e_1 e_2 - c_1 e_2\\ &\quad - e_c y - g_1 e_3 - e_g z + u_3.\end{aligned} \tag{9}$$

设计控制器为

$$\begin{aligned} u_1 &= 0,\\ u_2 &= - k e_2 + z e_1,\\ u_3 &= - y e_1,\end{aligned} \tag{10}$$

参数自适应律为

$$\begin{aligned}\dot k &= \beta e_2^2 \qquad (\beta > 0),\\ \dot e_a &= -(z - x) e_1,\\ \dot e_b &= - x e_2,\\ \dot e_c &= y e_3,\\ \dot e_g &= z e_3.\end{aligned}$$

选取 Lyapunov 函数为

$$V = \frac{1}{2}(\theta e_1^2 + e_2^2 + e_3^2 + \theta e_a^2 + e_b^2 + e_c^2 + e_g^2) + \frac{1}{2\beta}(k - k')^2 \qquad (\theta > 0).$$

对 V 求导后可得

$$\begin{aligned}\dot V &= \theta e_1 \dot e_1 + e_2 \dot e_2 + e_3 \dot e_3 + \theta e_a \dot e_a + e_b \dot e_b\\ &\quad + e_c \dot e_c + e_g \dot e_g + (k - k')\dot k/\beta\\ &= -\theta a_1 e_1^2 + \theta a_1 e_1 e_3 + b_1 e_1 e_2\\ &\quad - k' e_2^2 - c_1 e_2 e_3 - g_1 e_3^2\\ &= -(e_1, e_2, e_3)\begin{pmatrix}\theta a_1 & -\frac{b_1}{2} & -\frac{\theta a_1}{2}\\ -\frac{b_1}{2} & k' & \frac{c_1}{2}\\ -\frac{\theta a_1}{2} & \frac{c_1}{2} & g_1\end{pmatrix}\\ &\quad \times \begin{pmatrix} e_1\\ e_2\\ e_3\end{pmatrix} = -\boldsymbol{e}^{\mathrm T}\boldsymbol{P}\boldsymbol{e}.\end{aligned}$$

若选取

$$0 < \theta < \frac{4 g_1}{a_1},$$

$$k' > \max\left(\frac{\theta a_1 c_1^2 + g_1 b_1^2 - \theta a_1 b_1 c_1}{4\theta a_1 g_1 - \theta^2 a_1^2}, \frac{b_1^2}{4\theta a_1}\right),$$

则矩阵 $\boldsymbol{P}$ 是正定的，从而 $\dot V \leqslant 0$. 根据定理 1，可得驱动系统(7)和响应系统(8)在控制器(10)式作用下同步.

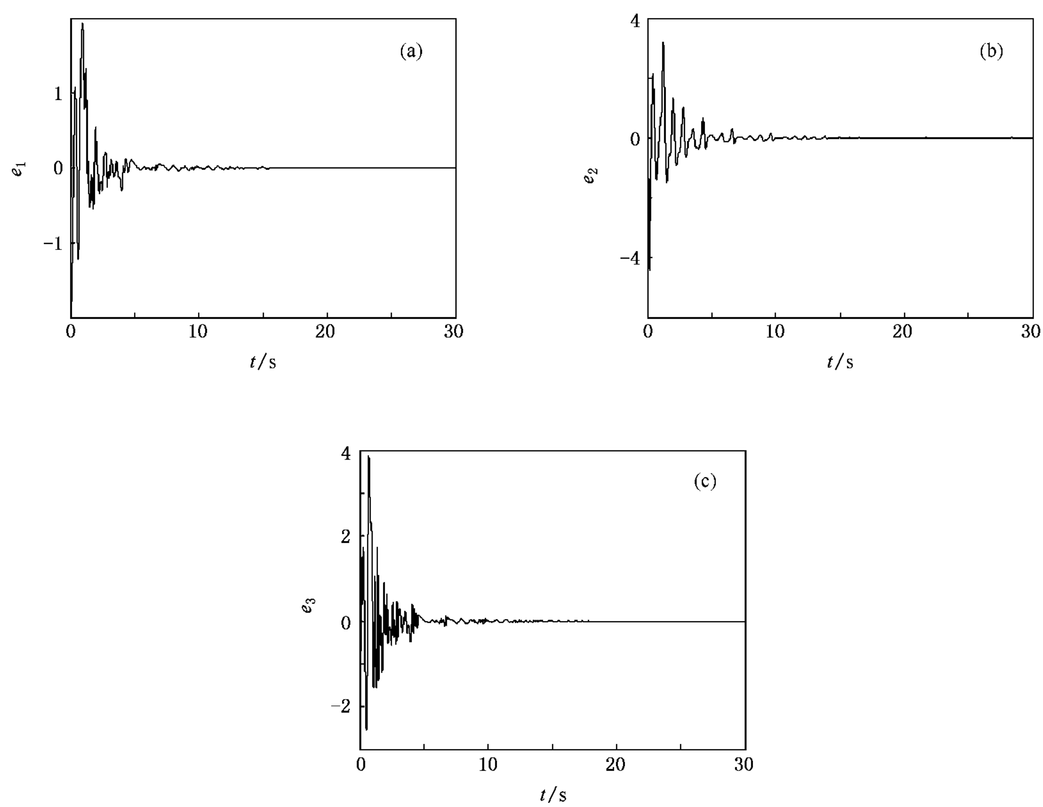

图 1　新三维混沌系统同步误差曲线　(a) e_1 随时间 t 的变化曲线，(b) e_2 随时间 t 的变化曲线，(c) e_3 随时间 t 的变化曲线

通过 Matlab6.5 中的 Runge-Kutta4,5 进行数值仿真,选取'未知'参数 $a=8$,$b=40$,$c=10/3$,$g=4$,不确定参数初始值 $a_1(0)=5$,$b_1(0)=25$,$c_1(0)=2$,$g_1(0)=1$,自适应律 $\beta=10$,状态初始值 $x(0)=1$,$y(0)=-1$,$z(0)=2$,$x_1(0)=-1$,$y_1(0)=2$,$z_1(0)=1$.同步误差 e 随时间 t 的变化如图 1 所示,可见同步误差逐渐趋于零.参数 a_1,b_1,c_1,g_1,k 随时间 t 的演化如图 2 所示.从 2 中可以看出,参数估计值 $a_1(t)$,$b_1(t)$,$c_1(t)$,$g_1(t)$收敛于 $a=8$,$b=40$,$c=10/3$,$g=4$,参数 k 趋于某一常数.

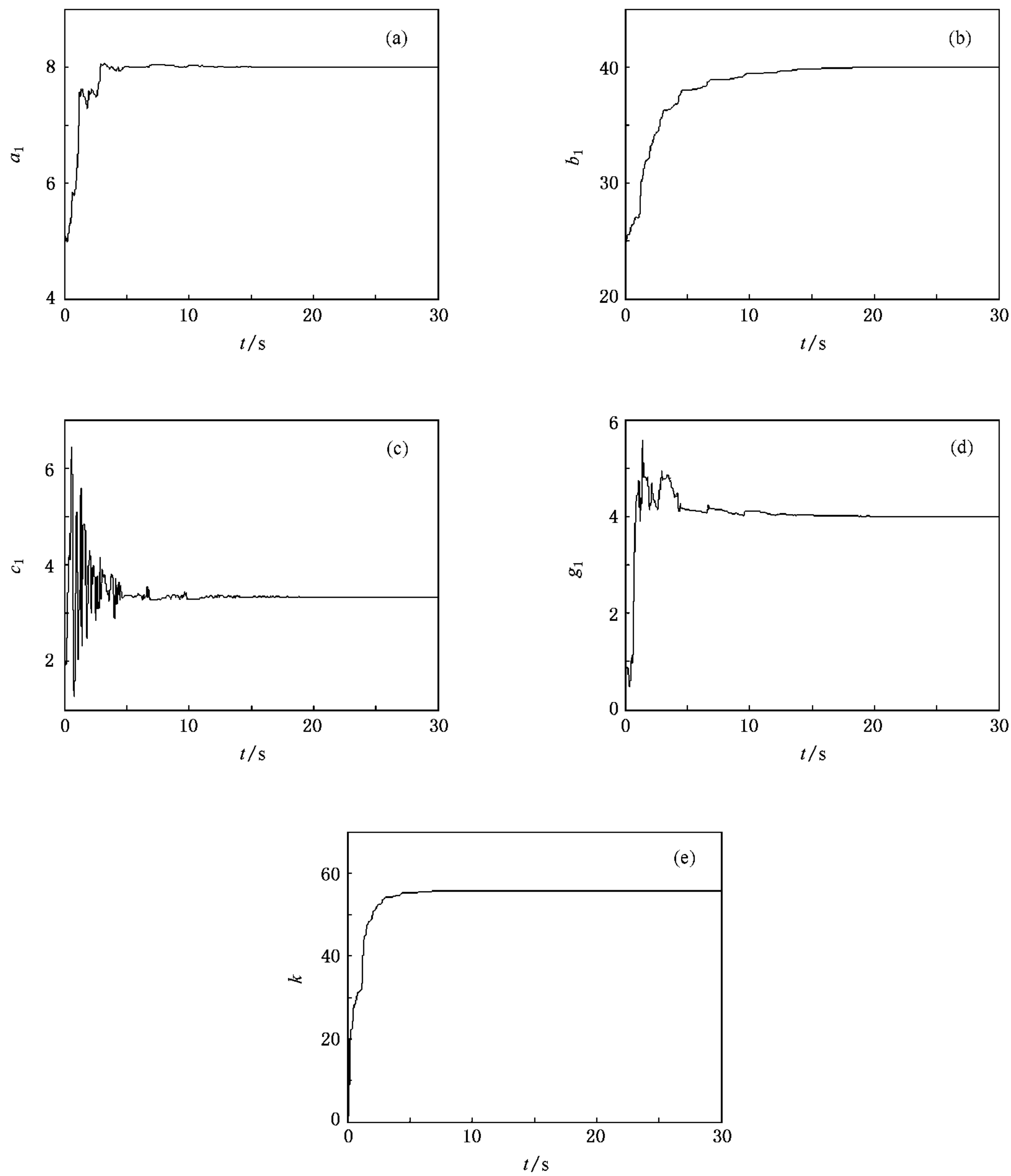

图 2 响应系统(8)的参数收敛曲线 (a)参数 a_1 的收敛曲线,(b)参数 b_1 的收敛曲线,(c)参数 c_1 的收敛曲线,(d)参数 g_1 的收敛曲线,(e)参数 k 的收敛曲线

4.2. 参数不确定超混沌 Chen 系统的自适应同步

超混沌 Chen 系统[9] 的数学模型为

$$
\begin{aligned}
\dot{x} &= a(y-x)+w,\\
\dot{y} &= dx-xz+cy,\\
\dot{z} &= xy-bz,\\
\dot{w} &= yz+rw,
\end{aligned}
\tag{11}
$$

其中 x,y,z 和 w 为系统的状态变量,a,b,c,d 和 r 为系统的未知控制参数.当 $a=35$,$b=3$,$c=12$,$d=7$,$r=0.6$ 时,系统(11)表现是超混沌的.以(11)式

为驱动系统，响应系统为

$$
\begin{aligned}
\dot{x}_1 &= a_1(y_1 - x_1) + w_1 + u_1,\\
\dot{y}_1 &= d_1 x_1 - x_1 z_1 + c_1 y_1 + u_2,\\
\dot{z}_1 &= x_1 y_1 - b_1 z_1 + u_3,\\
\dot{w}_1 &= y_1 z_1 + r_1 w_1 + u_4,
\end{aligned}
\tag{12}
$$

其中 a_1, b_1, c_1, d_1, r_1 是响应系统需要估计的参数. $\boldsymbol{u} = (u_1, u_2, u_3, u_4)^{\mathrm{T}}$ 为控制器，在 $\boldsymbol{u}$ 的控制下可使得驱动系统(11)和响应系统(12)达到同步.

令

$$
\begin{aligned}
e_1 &= x_1 - x,\\
e_2 &= y_1 - y,\\
e_3 &= z_3 - z,\\
e_4 &= w_1 - w,\\
e_a &= a_1 - a,\\
e_b &= b_1 - b,\\
e_c &= c_1 - c,\\
e_d &= d_1 - d,\\
e_r &= r_1 - r,
\end{aligned}
$$

则可得到误差系统为

$$
\begin{aligned}
\dot{e}_1 &= a_1(e_2 - e_1) + e_a(y - x) + e_4 + u_1,\\
\dot{e}_2 &= d_1 e_1 + e_d x + c_1 e_2 + e_c y\\
&\quad - e_1 e_3 - x e_3 - z e_1 + u_2,\\
\dot{e}_3 &= e_1 e_2 + x e_2 + y e_1 - b_1 e_3 - e_b z + u_3,\\
\dot{e}_4 &= r_1 e_4 + e_r w + y_1 e_3 + z e_2 + u_4.
\end{aligned}
\tag{13}
$$

选取控制器为

$$
\begin{aligned}
u_1 &= 0,\\
u_2 &= -k_1 e_2 + z e_1,\\
u_3 &= -y e_1,\\
u_4 &= -k_2 e_4 - z e_2 - y_1 e_3,
\end{aligned}
\tag{14}
$$

参数自适应律为

$$
\begin{aligned}
\dot{k}_1 &= \beta e_2^2 \qquad (\beta > 0),\\
\dot{k}_2 &= \beta e_4^2,\\
\dot{e}_a &= -(y - x) e_1,\\
\dot{e}_b &= z e_3,\\
\dot{e}_c &= -y e_2,\\
\dot{e}_d &= -x e_2,\\
\dot{e}_r &= -w e_4.
\end{aligned}
$$

选取 Lyapunov 函数为

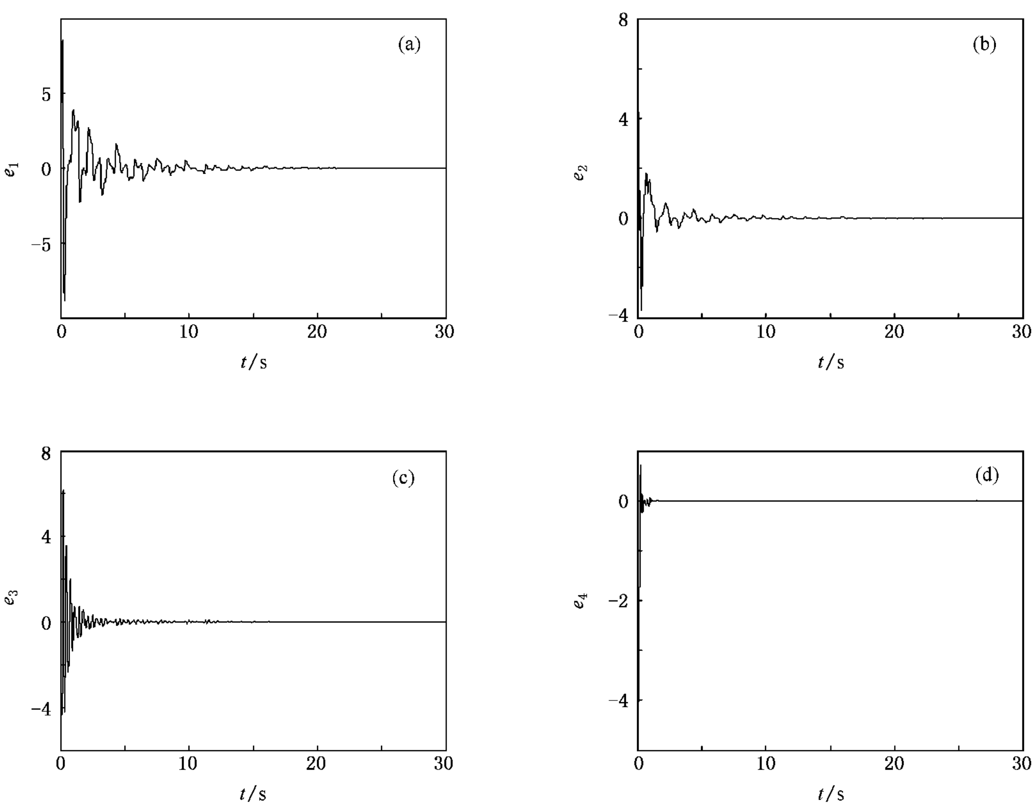

图 3　超混沌 Chen 系统同步误差曲线　(a) e_1 随时间 t 的变化曲线，(b) e_2 随时间 t 的变化曲线，(c) e_3 随时间 t 的变化曲线，(d) e_4 随时间 t 的变化曲线

$$V=\frac{1}{2}\left(\theta e_1^2+e_2^2+e_3^2+e_4^2+\theta e_a^2+e_b^2+e_c^2+e_d^2+e_r^2\right)+\frac{1}{2\beta}\left[(k_1-k')^2+(k_2-k')^2\right]\qquad(\theta>0).$$

对 V 求导后可得

$$\begin{aligned}\dot V&=\theta e_1\dot e_1+e_2\dot e_2+e_3\dot e_3+e_4\dot e_4+\theta e_a\dot e_a+e_b\dot e_b\\&\quad+e_c\dot e_c+e_d\dot e_d+e_r\dot e_r\\&\quad+(k_1-k')\dot k_1/\beta+(k_2-k')\dot k_2/\beta\\&=-\theta a_1e_1^2+(\theta a_1+d_1)e_1e_2-(k'-c_1)e_2^2\\&\quad-b_1e_3^2+\theta e_1e_4-(k'-r_1)e_4^2\\&\leqslant-\theta a_1e_1^2+(\theta a_1+d_1)(e_1^2+e_2^2)/2\\&\quad-(k'-c_1)e_2^2-b_1e_3^2+\theta e_1e_4-(k'-r_1)e_4^2\\&=-(e_1,e_2,e_3,e_4)\\&\quad\times\begin{pmatrix}\frac{\theta a_1-d_1}{2}&0&0&-\frac{\theta}{2}\\0&k'-c_1-\frac{\theta a_1+d_1}{2}&0&0\\0&0&b_1&0\\-\frac{\theta}{2}&0&0&k'-r_1\end{pmatrix}\end{aligned}$$

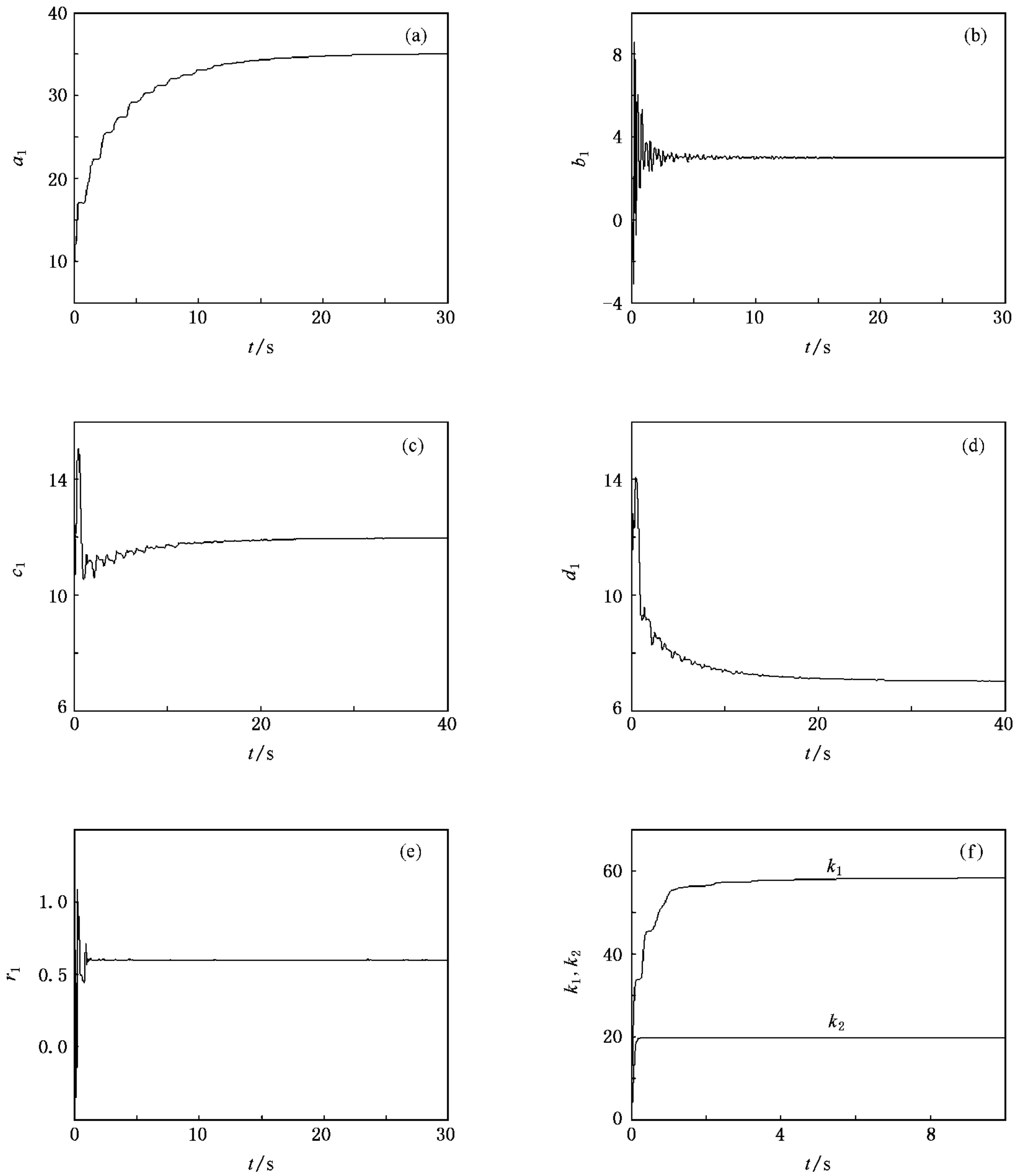

图 4 响应系统(12)的参数收敛曲线 (a)参数 a_1 的收敛曲线,(b)参数 b_1 的收敛曲线,(c)参数 c_1 的收敛曲线,(d)参数 d_1 的收敛曲线,(e)参数 r_1 的收敛曲线,(f)参数 k_1,k_2 的收敛曲线

$$\times\begin{pmatrix} e_1 \\ e_2 \\ e_3 \\ e_4 \end{pmatrix} = -\boldsymbol{e}^{\mathrm{T}}\boldsymbol{P}\boldsymbol{e}.$$

存在常数

$$\theta > \frac{d_1}{a_1},$$

当

$$k' > \max\left(c_1 + \frac{\theta a_1 + d_1}{2}, r_1 + \frac{\theta^2}{2(\theta a_1 - d_1)}\right)$$

时，使 $\boldsymbol{P}$ 是正定的，从而 $\dot{V} \leqslant 0$. 根据定理 1，可得驱动系统(11)和响应系统(12)在控制器(14)式作用下同步.

通过 Matlab6.5 中的 Runge-Kutta4，5 进行数值仿真，选取‘未知’参数 $a = 35$，$b = 3$，$c = 12$，$d = 7$，$r = 0.6$，不确定参数初始值 $a_1(0) = 10$，$b_1(0) = 0.5$，$c_1(0) = 7$，$d_1(0) = 10$，$r_1(0) = 0.1$，自适应律 $\beta = 10$，状态初始值 $x(0) = 3$，$y(0) = -4$，$z(0) = 2$，$w(0) = 2$，$x_1(0) = -3$，$y_1(0) = 4$，$z_1(0) = -2$，$w_1(0) = -2$. 同步误差 $\boldsymbol{e}$ 随时间 t 的变化如图 3 所示，可见同步误差逐渐趋于零. 参数 a_1，b_1，c_1，d_1，r_1，k_1，k_2 随时间 t 的演化如图 4 所示. 从图 4 可以看出，参数估计值 $a_1(t)$，b_1，$c_1(t)$，$d_1(t)$，$r_1(t)$ 收敛于 $a = 35$，$b = 3$，$c = 12$，$d = 7$，$r = 0.6$，参数 k_1，k_2 趋于常数.

5. 结　　论

基于 Lyapunov 稳定性理论，给出了一类参数不确定混沌系统的自适应同步控制器的设计方法和构造控制器及自适应律的解析式. 设计的控制器不含系统参数，简单且易于选取，适用范围广. 理论上证明了所设计控制器的正确性，通过对新三维混沌系统和超混沌 Chen 系统的数值模拟，进一步说明了所提出方法的可行性和有效性.

[1] Pecora L M，Carroll T L 1990 *Phys. Rev. Lett.* **64** 821

[2] Lü J H，Zhou T S，Zhang S C 2002 *Chaos Solitons Fract.* **14** 529

[3] Yin X H，Ren Y，Shan X M 2002 *Chaos Solitons Fract.* **14** 1077

[4] Tao C H，Lu J A，Lü J H 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1497 (in Chinese)［陶朝海、陆君安、吕金虎 2002 物理学报 **51** 1497］

[5] Huang L，Feng R，Wang M 2004 *Phys. Lett.* A **320** 271

[6] Zhang P W，Tang G N，Luo X S 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 3497 (in Chinese)［张平伟、唐国宁、罗晓曙 2005 物理学报 **54** 3497］

[7] Yang S P，Niu H Y，Tian G，Yuan G Y，Zhang S 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 619 (in Chinese)［杨世平、牛海燕、田　刚、袁国勇、张　闪 2001 物理学报 **50** 619］

[8] Park J H 2005 *Chaos Solitons Fract.* **26** 959

[9] Tao C H，Liu X F 2007 *Chaos Solitons Fract.* **32** 1572

[10] Liu L，Su Y C，Liu C X 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 1966 (in Chinese)［刘　凌、苏燕辰、刘崇新 2007 物理学报 **56** 1966］

[11] Li Y X，Tang W K S，Chen G R 2005 *Int. J. Bifur. Chaos* **15** 3367

[12] Chen G R，Ueta T Y 1999 *Int. J. Bifur. Chaos* **9** 1465

[13] Lü J H，Chen G R，Zhang S C 2002 *Int. J. Bifur. Chaos* **12** 1001

Adaptive synchronization of a class of chaotic systems with uncertain parameters*

Zhang Ruo-Xun[1)2)†] Tian Gang[1)] Li Ping[1)] Yang Shi-Ping[1)]

1)(*College of Physics Science and Information Engineering, Hebei Normal University, Shijiazhuang* 050016, *China*)

2)(*College of Elementary Education, Xingtai University, Xingtai* 054001, *China*)

(Received 6 August 2007; revised manuscript received 16 November 2007)

Abstract

A novel adaptive synchronization method is proposed for a class of chaotic systems with uncertain parameters based on Lyapunov stability theory. Adaptive controller and updating law of parameters are obtained, and for specific error systems the controller can be simplified. This method is simple and systemic. A new chaotic system and the hyperchaotic Chen system are taken as examples to illustrate the effectiveness of the proposed method. Numerical simulation illustrates the feasibility of the technique.

Keywords: chaotic systems with uncertain parameters, adaptive synchronization, a new chaotic system, hyperchaotic Chen system

PACC: 0545

* Project supported by the Natural Science Foundation of Hebei Province, China (Grant No. A2006000128).

† E-mail: xtzhrx@126.com