

广义 Hénon 混沌系统的自适应双模控制与同步^{*}

刘福才[†] 梁晓明 宋佳秋

(燕山大学电气工程学院自动化系, 秦皇岛 066004)

(2007 年 6 月 6 日收到 2007 年 6 月 18 日收到修改稿)

提出一种广义 Hénon 映射的自适应双模控制与同步方法. 广义 Hénon 映射的混沌吸引子比 Hénon 映射的混沌吸引子更复杂, 控制与同步困难. 对于保密通信来说具有更高的安全性. 该方法采用自适应双模控制, 实现了广义 Hénon 映射的追踪控制与同步, 提高了受控系统抑制参数摄动和随机扰动的能力, 改善系统的鲁棒性. 仿真结果验证了该方法的有效性.

关键词: 广义 Hénon 映射, 自适应, 双模控制, 混沌同步

PACC: 0545

1. 引言

自从 Pecora 和 Carroll 提出了混沌同步的概念, 并在电子线路上观测到混沌同步的现象后, 这一开创性的工作极大地推动了混沌同步理论的研究^[1,2]. 随着对混沌理论研究的深入, 混沌同步在通讯、信息科学、医学、生物、工程等领域中显示出巨大的应用潜力及发展前景, 并逐渐引起国内外学者的广泛关注与兴趣^[3-6]. 混沌同步的一个主要的应用方面是保密通信. 广义 Hénon 映射的混沌吸引子比 Hénon 映射的混沌吸引子要复杂得多, 控制与同步也更困难, 因而对于保密通信来说具有更高的安全性. 文献 [7] 基于可线性化的非线性离散变结构跟踪控制方法实现了广义 Hénon 映射同步, 但只实现了混沌系统的自同步, 即同步的响应系统和驱动系统具有相同的系统结构. 文献 [8] 采用带终端滑模等式约束的预测控制方法实现了 Hénon 映射对参考信号的追踪控制与同步, 但该方法对控制具有更复杂混沌吸引子的广义 Hénon 映射具有一定的局限性.

本文采用改进的折息法(渐消记忆递推最小二乘辨识法)在线估计模型参数, 将预测函数控制与离散滑模控制相结合用于广义 Hénon 映射中, 提出了一种双模控制器, 当系统状态不在终端区内时, 采用

预测函数控制使得系统状态达到终端区, 而在终端区内采用预先设计好的滑模等效控制, 同时切换函数 s 和终端滑动模态集合 S^A 是离线设计好的, 减小了在线计算量. 既具有预测函数控制可以克服其他模型预测控制可能出现规律不明的控制输入问题, 并具有良好的跟踪能力和较强的鲁棒性及离散滑模控制中的滑动模态对干扰具有不变性的优点. 仿真结果验证了该方法的有效性.

2. 广义 Hénon 映射的混沌特性

Hénon 映射是一个二维非线性映射, 因其独特的混沌吸引子而为人们所关注. Hitzl 等对 Hénon 映射作了深入研究, 并将其推广到三维的情形, 即

$$\begin{aligned}x_1(k+1) &= -bx_3(k), \\x_2(k+1) &= x_1(k) + bx_3(k), \\x_3(k+1) &= 1 + x_2(k) - ax_3^2(k),\end{aligned}\quad (1)$$

(1) 式称为广义 Hénon 映射, 当 $1.07 \leq a \leq 1.097$ 和 $b = 0.3$ 时 (1) 式出现混沌现象. 混沌吸引子如图 1 所示.

由图 1 可见, 广义 Hénon 映射的混沌吸引子比 Hénon 映射的混沌吸引子要复杂得多, 控制与同步也更困难, 因而对于保密通信来说, 将具有更高的安全保密性.

^{*} 燕山大学博士基金(批准号: B111)资助的课题.

[†] E-mail: lfc_sb@263.net

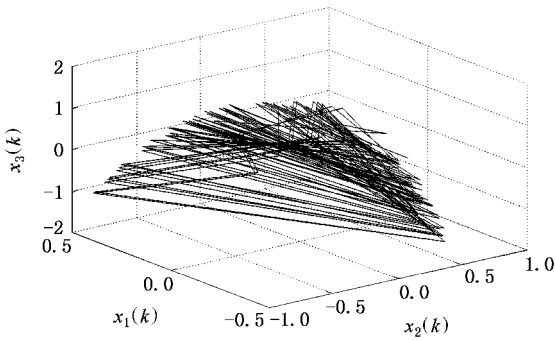


图 1 广义 Hénon 映射的混沌吸引子

3. 追踪控制与同步的含义

本文的目的是对于任意给定的由确定方程产生的信号 $y_r(k)$, 设计一个控制器 $u(k)$, 使受控混沌系统(1)中的信号 $x_3(k)$ 追踪给定的参考信号 $y_r(k)$, 即满足当 $k \rightarrow \infty$ 时

$$|x_3(k) - y_r(k)| = |\epsilon(k)| \rightarrow 0, \quad (2)$$

式中 $\epsilon(k)$ 为追踪信号 $x_3(k)$ 和参考信号 $y_r(k)$ 之间的误差信号. 如果产生参考信号 $y_r(k)$ 的系统为混沌系统, 那么便实现了混沌同步. 我们将产生参考信号 $y_r(k)$ 的系统称为驱动系统, 将混沌系统(1)称为响应系统. 这里提到的驱动和响应系统在结构上可以相同也可以不同.

4. 双模控制器的设计

将广义 Hénon 映射进行如下线性化 :

$$\begin{aligned} x_1(k+1) &= -bx_3(k), \\ x_2(k+1) &= x_1(k) + bx_3(k), \\ x_3(k+1) &= 1 + x_2(k) - ax_3^2(k) + u(k), \end{aligned} \quad (3)$$

式中 $u(k)$ 为控制信号, 当 $u(k) = 0$ 时系统为广义 Hénon 映射.

定义

$$u(k) = -(1 + x_2(k) - ax_3^2(k)) + u^*(k). \quad (4)$$

将(4)式代入(3)式, 可以得到一个线性系统为

$$x(k+1) = Ax(k) + Bu^*(k), \quad (5)$$

式中

$$x(k) = [x_1(k) \quad x_2(k) \quad x_3(k)]^T$$

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 0 & -b \\ 1 & 0 & b \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix},$$

$$B = [0 \quad 0 \quad 1]^T.$$

由(5)式可以得到状态变量 x_3 在 k 时刻第 j 步的预测值

$$\begin{aligned} x_3(k+j) &= CA^j x(k) \\ &+ \sum_{i=1}^j CA^{j-i} Bu^*(k+i-1), \end{aligned} \quad (6)$$

$j = 1, 2, \dots, N,$

式中 N 为预测时域, 并且

$$C = [0 \quad 0 \quad 1].$$

将(6)式写成向量形式为

$$X = GU^* + Fx(k), \quad (7)$$

式中

$$X = [x_3(k+1) \quad x_3(k+2) \quad \dots \quad x_3(k+N)]^T,$$

$$F = [CA \quad CA^2 \quad \dots \quad CA^N]^T,$$

$$U^* = [u^*(k) \quad u^*(k+1) \quad \dots \quad u^*(k+N-1)]^T,$$

$$G = \begin{bmatrix} CB & & & \\ CAB & CB & & \\ & & \ddots & \\ CA^{N-1}B & CA^{N-2}B & \dots & CB \end{bmatrix}.$$

与其他模型预测控制不同, 预测函数控制认为控制输入的结构是确保控制性能的关键, 在预测函数控制中, 控制作用认为是若干个已知基函数 u_n 的线性组合, 即

$$u^*(k+i) = \sum_{n=1}^H \mu_n u_n(i), \quad i = 0, 1, \dots, N-1, \quad (8)$$

式中 H 是基函数的个数, $u_n(i)$ 为基函数在 $t = iT_s$ 时的值, T_s 为采样周期, μ_n 为线性组合系数. 基函数的选择取决于设定值的性质, 通常采用多项式基函数的形式, 当取一个基函数时, 基函数可以取阶跃函数, 即 $u^*(t+i) = u(t) = \mu_1, i = 0, 1, \dots, N-1$; 当取两个基函数时, 基函数可以取阶跃函数和斜坡函数, 即 $u^*(t+i) = \mu_1 + i\mu_2, i = 0, 1, \dots, N-1$.

定义

$$M = \begin{bmatrix} u_1(0) & \dots & u_H(0) \\ & \ddots & \\ u_1(N-1) & \dots & u_H(N-1) \end{bmatrix},$$

$$\mu = [\mu_1 \dots \mu_H]^T,$$

则

$$\begin{bmatrix} u^*(k) \\ \vdots \\ u^*(k+N-1) \end{bmatrix}$$

$$= \begin{bmatrix} u_1(0) & \dots & u_H(0) \\ & \ddots & \\ u_1(N-1) & \dots & u_H(N-1) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \mu_1 \\ \vdots \\ \mu_H \end{bmatrix}. \quad (9)$$

对(2)式描述的系统,设计滑动面方程^[8]

$$s(k+j) = \mathcal{T}(z^{-1})e(k+j) = 0, \quad (10)$$

式中 $\mathcal{T}(z^{-1})$ 是后移算子 z^{-1} 渐进稳定的多项式,表示为

$$\mathcal{T}(z^{-1}) = 1 + t_1 z^{-1} + \dots + t_n z^{-n}. \quad (11)$$

根据离散线性系统稳定理论,适当选择参数 t_i ,使(11)式渐近稳定.

$$e(k+j) = x_3(k+j) - y_r(k+j), \quad (12)$$

式中 $s(k+j)$ 表示 k 时刻第 j 步切换函数预测值, $y_r(k+j)$ 表示 k 时刻第 j 步参考信号预测值, $e(k+j)$ 表示 k 时刻第 j 步输出跟踪误差预测值.

取离散趋近律

$$s(k+1) - s(k) = -\gamma \text{sgn}(s(k)) - \epsilon s(k). \quad (13)$$

这里要求 $0 < \delta = 1 - \epsilon < 1$, 式中 $\epsilon > 0$ 和 $\gamma > 0$ 分别表示到达速度、趋近速度指数.则

$$s(k+1) = \delta s(k) - \gamma \text{sgn}(s(k)). \quad (14)$$

定义

$$S^\Delta = \{x(k) \mid \|s(k)\| \leq \Delta, \Delta = \epsilon\},$$

为了求得等效控制律,令

$$s(k+1) = s(k). \quad (15)$$

将(10)式代入(15)式得

$$\begin{aligned} & \mathcal{T}(z^{-1}) [x_3(k+1) - y_r(k+1)] \\ &= \mathcal{T}(z^{-1}) [x_3(k) - y_r(k)]. \end{aligned} \quad (16)$$

由(3)式可知

$$x_3(k+1) = u_{eq}(k). \quad (17)$$

将(16)式代入(17)式可以得到离线设计好的滑模等效控制 $u_{eq}(k)$.

下面我们推导预测函数控制律,采用最终滑动模态 $s(k+N) = 0$,可在比较小的预测时域下获得闭环系统的稳定性结果.取最小预测时域 $N_0 = 1$,最大预测时域 N ,控制时域 $N_u = N$,性能指标函数为

$$\begin{aligned} J &= S^T S \\ \text{s.t. } & s(k+N) = 0. \end{aligned} \quad (18)$$

将(7)式代入(10)式,写成向量形式可以表示为

$$S = \mathcal{T}(z^{-1}) Fx(k) + GU^* - Y_1, \quad (19)$$

$$\begin{aligned} s(k+N|k) &= \mathcal{T}(z^{-1}) [F_N x(k) + G_N U^* \\ &\quad - y_r(k+N)]. \end{aligned} \quad (20)$$

将(9)式(19)式和(20)式代入(18)式,式中 λ 为拉格朗日乘数.则使性能指标函数 J 取最小值的控制

律为

$$\begin{aligned} \mathcal{T}(z^{-1}) M \mu &= [G^T G + \lambda G_N^T G_N]^{-1} [G^T (\mathcal{T}(z^{-1}) Y_r \\ &\quad - \mathcal{T}(z^{-1}) Fx(k)) \\ &\quad + \lambda G_N^T (\mathcal{T}(z^{-1}) y_r(k+N) \\ &\quad - \mathcal{T}(z^{-1}) F_N x(k))]. \end{aligned} \quad (21)$$

根据(21)式求出 μ , 令

$$p = [1 \ 0 \ \dots \ 0]_{*N},$$

则

$$u^*(k) = p M \mu. \quad (22)$$

这样,得到最终控制律为

$$u^*(k) = \begin{cases} u_k^*(0), & x_3(k) \notin S^\Delta, \\ u_{eq}(k), & x_3(k) \in S^\Delta, \end{cases} \quad (23)$$

$$u(k) = -(1 + x_2(k) - ax_3^2(k)) + u^*(k). \quad (24)$$

5. 折息法在线辨识模型参数

混沌系统是非线性系统,混沌系统的动态特性不是平稳的,其动力学行为变化时快时慢,时变参数的过程辨识要求算法具有跟踪能力,用定常参数的线性模型很难精确地反应混沌系统的动力学行为,折息法是将加权最小二乘法和遗忘因子法综合成一体,引用折息因子对数据加信度^[9].本文采用改进的折息法在线估计模型参数,用时变参数的线性模型逼近混沌系统,以克服“数据饱和”现象,提高建模精度,实现控制器对广义混沌系统的有效控制.

对(5)式描述的模型可等价变换为^[9]

$$\begin{aligned} y(k) + a_1 y(k-1) + \dots + a_n y(k-n) \\ = b_0 + b_1 u(k-1) + \dots + b_n u(k-n). \end{aligned} \quad (25)$$

将(25)式写成最小二乘格式

$$y(t) = h^T(t) \theta, \quad (26)$$

式中

$$\begin{aligned} h(t) &= [-y(k-1), -y(k-2), \dots, -y(k-n), \\ &\quad u(k-1), u(k-2), \dots, u(k-n)]^T, \end{aligned} \quad (27)$$

$$\theta = [a_1, a_2, \dots, a_n, b_0, b_1, \dots, b_n]^T, \quad (28)$$

则折息算法为

$$\begin{aligned} \hat{\theta}(k) &= \hat{\theta}(k-1) + K(k) [y(k) \\ &\quad - h^T(k) \hat{\theta}(k-1)], \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} K(k) &= P(k-1) h(k) \left[h^T(k) P(k-1) h(k) \right. \\ &\quad \left. + \frac{\mu(k)}{\Lambda(k)} \right]^{-1}, \end{aligned} \quad (30)$$

$$P(k) = \frac{1}{\mu(k)} \{ I - K(k) h^T(k) \} P(k-1), \quad (31)$$

$$\mu(k) = 1 - \frac{1}{\sigma_0^2 L} \left(1 - \frac{h^T(k)P(k-1)h(k)}{\mu(k-1) + h^T(k)P(k-1)h(k)} \right), \quad (32)$$

其中 σ_0^2 是量测噪声方差, L 是数据长度, $\mu(k)$ 是时变遗忘因子, 是接近于 1 的正数, 一般选取 $0.9 \leq \mu(k) \leq 1$, $\Delta(k)$ 为加权因子.

$$\Delta(k) = \begin{cases} \mu(k), & \mu(k) \geq \mu_{\min} \\ \mu_{\min}, & \mu(k) \leq \mu_{\min} \end{cases}, \quad (33)$$

通常取初始条件

$$\begin{aligned} \hat{x}(0) &= \epsilon \text{ (充分小的实向量)}, \\ P(0) &= a^2 I \text{ (} a \text{ 为充分大的数)} \end{aligned}$$

6. 数值研究结果

6.1. 广义 Hénon 映射追踪正弦信号

6.1.1. 无参数摄动和随机噪声信号时广义 Hénon 映射追踪正弦信号

选择系统中的参数为 $a = 1.08, b = 0.3$, 此时系统 (1) 处于混沌态^[7]. 设参考信号 $y_r(k) = \sin(k/2)$, 选取 $t_1 = 1.6, t_2 = 0.64$ 满足 (11) 式渐进稳定, 取最小预测时域 $N_0 = 1$, 最大预测时域 $N = 3$, 控制时域 $N_u = 3$, 拉格朗日常数 $\lambda = 2$, 基函数取为阶跃、斜坡和指数函数, 取 $\gamma = 0.5, \delta = 0.4, \epsilon = 0.6$, 系统的初始条件为 $x(0) = (0.4, -0.2, 0.3)^T$, 折息辨识算法中 $\mu(0) = 0.98, \Delta(k) = 0.95, \sigma_0^2 L = 100, \hat{x}(0) = 0.001, P(0) = 10^6 I$.

较好, 跟踪误差较小. 通过大量的仿真研究表明, 控制系统对拉格朗日常数 λ 和输入柔化系数 β 的变化均不太敏感.

6.1.2. 带有系统参数摄动和随机噪声的广义 Hénon 映射追踪正弦信号

考虑系统存在噪声的随机迭代过程^[10]

$$x(k+1) = f(x(k), u(k)) + \xi(k), \quad (34)$$

不失一般性, 设 $\xi(k)$ 为一 Gauss 型的随机变量, 满足条件

$$E(\xi(k)) = 0, E(\xi(k)^2) = \sigma^2. \quad (35)$$

在仿真中取 $\sigma = 0.1$, 最小预测时域 $N_0 = 1$, 最大预测时域 $N = 3$, 控制时域 $N_u = 3$, 拉格朗日常数 $\lambda = 2$, 基函数取为阶跃、斜坡和指数函数, 取 $\gamma = 0.5, \delta = 0.4, \epsilon = 0.6$, 系统的初始条件为 $x(0) = (0.4, -0.2, 0.3)^T$, 折息辨识算法中 $\mu(0) = 0.98, \Delta(k) = 0.95, \sigma_0^2 L = 100, \hat{x}(0) = 0.001, P(0) = 10^6 I$. 图 3 是当广义 Hénon 映射方程式 (2) 中有满足 (34) 式的随机噪声 $\xi(k)$ 时, 即 $x_3(k+1) = 1 + x_2(k) - ax_3^2(k) + u(k) + \xi(k)$, 采用本文提出的双模控制器 (24) 得到的参考信号 $y_r(k)$ 曲线、跟踪信号 $x_3(k)$ 曲线和误差信号 $e(k) = x_3(k) - y_r(k)$ 曲线.

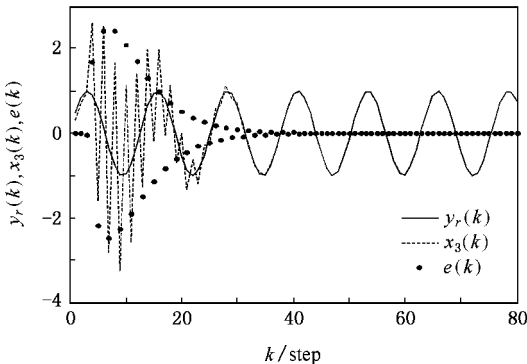


图 2 采用本文控制器得到的跟踪曲线和误差信号曲线

由图 2 可见, 采用本文提出的双模控制器 (24) 在没有参数摄动和随机噪声时, 能够实现给定参考信号 $y_r(k) = \sin(k/2)$ 的跟踪控制, 并且跟踪效果

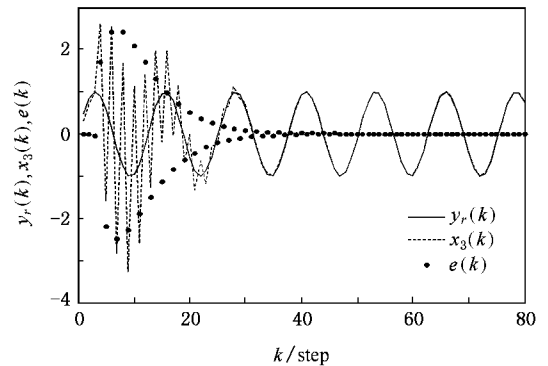


图 3 采用本文控制器有随机噪声时的跟踪曲线和误差信号曲线

图 4 给出了 $k = 40$ 时, 在 (2) 式中的参数 a 和 b 上加入 $\Delta a = -0.3, \Delta b = 0.2$ 的参数摄动, 得到的跟踪曲线和误差信号 $e(k) = x_3(k) - y_r(k)$ 曲线.

由图 3 可见, 采用本文提出的双模控制器 (24) 不但能够实现对给定参考信号 $y_r(k) = \sin(k/2)$ 的跟踪控制, 并且具有较好的抑制随机噪声能力. 通过大量的仿真研究表明, 当 $\sigma \leq 0.4$ 时, 系统抑制随机噪声的能力较强. 由图 4 可见, 采用本文提出的双模控制器 (24) 不但能够实现对给定参考信号 $y_r(k) =$

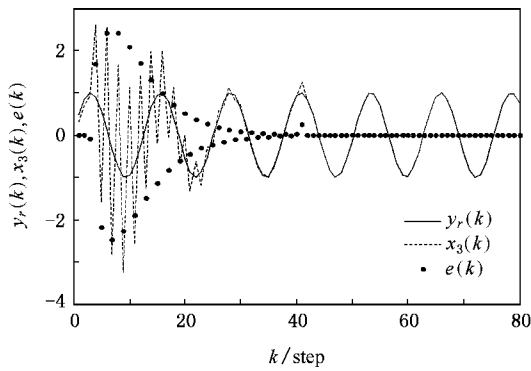


图 4 采用本文控制器具有参数摄动时的跟踪曲线和误差信号曲线

$\sin(k/2)$ 的跟踪控制, 并且具有较好的抑制系统参数摄动能力, 通过大量仿真发现, 误差 $e(k)$ 的跳动方向与 Δa 、 Δb 的符号有关, 当 $\Delta a \geq 0.8$ 或 $\Delta b \leq -0.5$ 时, 系统将不能够实现对给定信号的跟踪控制。

6.2. 广义 Hénon 映射的自同步

选择同步系统的驱动系统为

$$\begin{aligned} y_1(k+1) &= -b_1 y_3(k), \\ y_2(k+1) &= y_1(k) + b_1 y_3(k), \\ y_3(k+1) &= 1 + y_2(k) - a_1 y_3^2(k), \end{aligned} \quad (36)$$

式中 $y_1(k)$ 为驱动信号, 选系统参数 $a_1 = 1.09$, $b_1 = 0.3$, 此时系统 (36) 处于混沌状态^[7]。

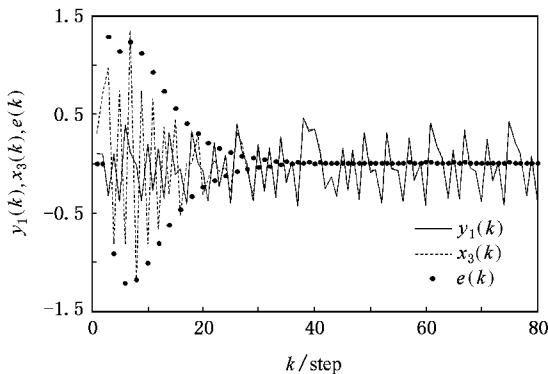


图 5 采用本文控制器有随机噪声时的自同步曲线和误差信号曲线

图 5 是当广义 Hénon 映射方程式 (2) 中有满足 (34) 式的随机噪声 $\xi(k)$ 时, 采用本文提出的双模控制器 (24) 得到的自同步曲线和误差信号 $e(k) = x_3(k) - y_1(k)$ 曲线。

在仿真中取 $\sigma = 0.1$, 最小预测时域 $N_0 = 1$, 最

大预测时域 $N = 3$, 控制时域 $N_u = 3$, 拉格朗日常数 $\lambda = 2$, 基函数取为阶跃、斜坡和指数函数, 取 $\gamma = 0.5$, $\delta = 0.4$, $\varepsilon = 0.6$, 系统的初始条件分别为 $x(0) = (0.4, -0.2, 0.3)^T$, $y(0) = (0.1, 0.2, -0.3)^T$, 折息辨识算法中 $\mu(0) = 0.98$, $\Lambda(k) = 0.95$, $\sigma_0^2 L = 100$, $\hat{\lambda}(0) = 0.001$, $P(0) = 10^6 I$ 。由图 5 可见, 采用本文提出的双模控制器 (24) 不但能够实现广义 Hénon 映射的自同步, 并且具有较好的抑制随机噪声能力, 跟踪效果较好, 跟踪误差小, 具有较好的鲁棒性。

6.3. 广义 Hénon 映射的异结构混沌同步

选择异步系统的驱动系统为

$$\begin{aligned} y_1(k+1) &= -k \sin(y_2(k)) + y_1(k), \\ y_2(k+1) &= y_2(k) + y_1(k+1), \end{aligned} \quad (37)$$

式中 $y_1(k)$ 为驱动信号, 取 $k = 1.16$, 系统 (37) 处于混沌状态^[8]。

图 6 是当广义 Hénon 映射方程式 (2) 中有满足 (34) 式的随机噪声 $\xi(k)$ 时, 采用本文提出的双模控制器 (24) 得到的异步曲线和误差信号 $e(k) = x_3(k) - y_1(k)$ 曲线。

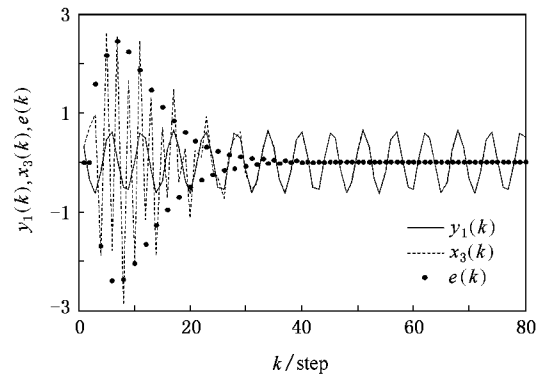


图 6 采用本文控制器有随机噪声时异步曲线和误差信号曲线

在仿真中取 $\sigma = 0.1$, 最小预测时域 $N_0 = 1$, 最大预测时域 $N = 3$, 控制时域 $N_u = 3$, 拉格朗日常数 $\lambda = 2$, 基函数取为阶跃、斜坡和指数函数, 取 $\gamma = 0.5$, $\delta = 0.4$, $\varepsilon = 0.6$, 系统的初始条件分别为 $x(0) = (0.4, -0.2, 0.3)^T$, $y(0) = (0.3, 0.6)^T$, 折息辨识算法中 $\mu(0) = 0.98$, $\Lambda(k) = 0.95$, $\sigma_0^2 L = 100$, $\hat{\beta}(0) = 0.001$, $P(0) = 10^6 I$ 。由图 6 可见, 采用本文提出的双模控制器 (24) 不但能够实现广义 Hénon 映射的异步, 并且具有较好的抑制随机噪声能力, 跟踪效果较好, 跟踪误差小, 具有鲁棒性。

7. 结 论

本文提出的广义 Hénon 映射自适应双模控制与同步算法, 根据混沌系统的动力学行为特点, 采用改进的折息法在线估计模型参数, 对被控混沌系统的先验知识要求较少, 无需知道被控系统的精确模型, 然后将预测函数控制与离散滑模控制相结合, 在终

端区外采用预测函数控制, 当系统达到终端区后采用离线设计好的滑模变结构控制, 所提出的方法既具有预测函数控制可以克服其他模型预测控制可能出现规律不明的控制输入问题, 并具有良好的跟踪能力和鲁棒性和滑模控制中滑动模态对干扰的不变性的优点. 仿真结果表明, 本文提出的双模控制器不但能够很好地跟踪正弦信号实现自同步与异同步, 并且具有一定的抑制参数摄动和随机噪声的能力.

-
- [1] Liu F , Qiu Z L 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 2318 (in Chinese) [刘锋、邱祖廉 2001 物理学报 **50** 2318]
- [2] Chen S H , Xie J , Lu J A , Liu J 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 749 (in Chinese) [陈士华、谢进、陆军安、刘杰 2002 物理学报 **51** 749]
- [3] Lai J W , Zhou S P , Li G H , Xu D M 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 21 (in Chinese) [赖建文、周世平、李国辉、徐得名 2001 物理学报 **50** 21]
- [4] Li L X , Peng H P , Lu H B , Guan X P 2001 *Acta Phys. Sin.* **50** 629 (in Chinese) [李丽香、彭海鹏、卢辉斌、关新平 2001 物理学报 **50** 629]
- [5] Jiang C S , Lin C S , Liu Y Z 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 707 (in Chinese) [姜长生、林长圣、刘扬正 2007 物理学报 **56** 707]
- [6] Chen L , Wang D S 2007 *Acta Phys. Sin.* **56** 91 (in Chinese) [谯龙、王德石 2007 物理学报 **56** 91]
- [7] Yin X H , Ren Y , Shan X M 2002 *Acta Phys. Sin.* **51** 1949 (in Chinese) [尹逊和、任勇、山秀明 2002 物理学报 **51** 1949]
- [8] Liu F C , Liang X M 2005 *Acta Phys. Sin.* **54** 4584 (in Chinese) [刘福才、梁晓明 2005 物理学报 **54** 4584]
- [9] Fang C Z , Xiao D Y 2002 *Process identification* (Beijing : Tsinghua University Press) p463 (in Chinese) [方崇智、萧得云 2002 过程辨识 (北京 清华大学出版社) 第 463 页]
- [10] Chen S H , Lu J S 1998 *Principium of Chaotic Dynamics* (Wuhan : Wuhan Water Conservancy and Electric Power University Press) p62 (in Chinese) [陈士华、陆君实 1998 混沌动力学初步 (武汉 : 武汉水利电力大学出版社) 第 62 页]

Adaptive dual-model control and synchronization of generalized Hénon chaotic systems^{*}

Liu Fu-Cai[†] Liang Xiao-Ming Song Jia-Qiu

(*Department of Automation, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China*)

(Received 6 June 2007 ; revised manuscript received 18 June 2007)

Abstract

A kind of adaptive dual-model control and synchronization algorithm for generalized Hénon chaotic system was proposed. Chaos attractor of generalized Hénon map is much more complicated than that of Hénon chaotic systems. It is more difficult to control and synchronize. The generalized Hénon chaotic systems under consideration makes the communications system more secure. This algorithm adopts adaptive dual-model control, which realizes the tracking control and synchronization of generalized Hénon chaotic systems, and meanwhile advances the ability of restraining the parameter perturbation and stochastic disturbance. The robustness performance of controlled system is improved. Theoretical analysis and simulation results proved the effectiveness of this method.

Keywords : generalized Hénon chaotic system, adaptive, dual-model control, chaotic synchronization

PACC : 0545

^{*} Project supported by the Doctor Foundation of Yanshan University (Grant No. B111).

[†] E-mail : lfc_xb@263.net