

基于单神经元自适应 PSD 算法 用于混沌镇定控制

李 擎¹⁾ 郑德玲¹⁾ 杨林浩²⁾ 鲁亿方¹⁾

1)北京科技大学信息工程学院,北京 100083 2)邯钢钢铁集团公司,邯郸 056000

摘 要 为了镇定混沌系统的不稳定周期轨道,提出了一种基于单神经元自适应 PSD 算法的状态延迟反馈法用于混沌的镇定控制.仿真结果表明,该算法不仅能够自适应地完成控制参数的整定过程,而且具有适用范围广、镇定时间短、抗干扰能力强等优点.

关键词 混沌;镇定;自适应;神经元

分类号 TP 273; TN 918

混沌是非线性动力学系统中随机性的一种表现,它可能导致系统的振荡或不规则运行,甚至造成系统的彻底崩溃^[1].因而有必要对不期望的混沌现象进行控制或消除,使系统稳定在不动点或某个周期轨道上.

1 基于状态延迟反馈 PID 控制算法

文献[2]提出了一种基于状态延迟的PID控制算法对混沌系统进行镇定控制.该算法的原理如图1所示(为方便起见,以离散混沌系统为例加以说明).

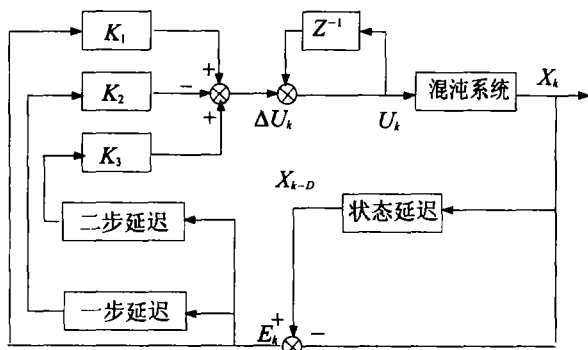


图1 状态延迟PID控制算法的原理图

Fig.1 Schematic diagram of state-delayed PID algorithm

在图1中: $\Delta U_k = K_1 \cdot E_k - K_2 \cdot E_{k-1} + K_3 \cdot E_{k-2}$ (1)
式中, $E_k = X_{i-d} - X_i$, v 为期望周期轨道的周期;
 $K_1 = K_p(1 + \frac{1}{T_i} + T_D)$, $K_2 = K_p(1 + 2T_D)$, $K_3 = K_p T_D$; K_p 为

收稿日期 2000-11-12 李擎 男, 28岁, 博士

* 国家自然科学基金资助课题(No.69772014)

比例增益, T_i 为积分时间常数, T_D 为微分时间常数。

采用式(1)作为控制信号时,只要适当地选择 K_1, K_2, K_3 (即 K_p, T_i, T_D) 3个参数的值,就可以实现对不同周期轨道的镇定控制。

状态延迟PID控制算法具有结构简单、抗干扰能力强等优点,但其自身也存在着如下两方面问题:

(1)PID控制算法中3个参数 K_1, K_2, K_3 (即 K_p, T_i, T_D) 的调整过程需要一个具有一定经验的操作者参与进行,它不能自适应地完成整定过程。

(2)3个参数一经确定,在以后的控制过程中便不再发生变化,也就是说,状态延迟PID算法的控制参数不能根据实际情况进行实时的在线调整.这对于一些过程复杂且参数慢时变的系统而言非常不利^[2].

为了更好地利用状态延迟PID控制算法,改进该算法自身存在的不足,经过分析和研究,本文提出了一种基于单神经元自适应PSD算法的状态延迟反馈法。

2 基于单神经元自适应 PSD 算法的状态延迟反馈法

这里提出将状态延迟PID控制算法改为基于单神经元的自适应PSD算法的状态延迟反馈法,主要原因就是想充分利用神经元所具有的自组织、自适应能力,以便当被控对象的内部参

数和外部环境发生变化时,能够通过神经元的自学习功能进行PID算法控制参数的修正,进一步提高控制算法的鲁棒性和抗干扰能力.

对式(1)进行整理,可以得到控制信号的另外一种表达方式:

$$\Delta U_k = K_I \cdot E_k + K_P \cdot \Delta E_k + K_D \cdot \Delta^2 E_k \quad (2)$$

其中: $K_I = K_P / T_I$, 称为积分比例系数矩阵,它是一个对角阵;

$K_D = K_P \cdot T_D$, 称为微分比例系数矩阵,它也是一个对角阵;

$$\Delta E_k = E_k - E_{k-1};$$

$$\Delta^2 E_k = E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2}.$$

基于单神经元的自适应PSD算法的原理如图2所示.图中,转换器的输出 $X_i(k) (i=1,2,3)$ 作为神经元学习控制所需的输入量,它们分别为:

$$\begin{cases} X_1(k) = E_k \\ X_2(k) = X_1(k) - X_1(k-1) = E_k - E_{k-1} = \Delta E_k \\ X_3(k) = X_2(k) - X_2(k-1) = E_k - 2E_{k-1} + E_{k-2} = \Delta^2 E_k \end{cases} \quad (3)$$

神经元的输出为:

$$\Delta U_k = K(k) \cdot \sum_{k=1}^3 W_i(k) X_i(k) \quad (4)$$

其中, $W_i(k) = W_i(k) / \sum_{k=1}^3 |W_i(k)|$, $W_i(k) (i=1,2,3)$ 为对应于 $X_i(k) (i=1,2,3)$ 的权重系数, $K(k)$ 为神经元的比例系数, $K(k) > 0$.

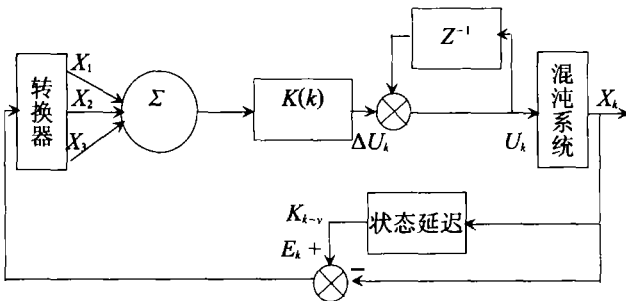


图2 基于单神经元的自适应PSD算法的状态延迟反馈法原理图

Fig.2 Schematic diagram of adaptive state-delayed feedback PSD algorithm based on single-neuron

神经元的权重系数 $W_i(k) (i=1,2,3)$ 采用有监督的Hebb规则进行调节,即:

$$\begin{cases} W_1(k+1) = W_1(k) + \eta_I \cdot E_k \cdot U_k \cdot X_1(k) \\ W_2(k+1) = W_2(k) + \eta_P \cdot E_k \cdot U_k \cdot X_2(k) \\ W_3(k+1) = W_3(k) + \eta_D \cdot E_k \cdot U_k \cdot X_3(k) \end{cases} \quad (5)$$

其中: η_I, η_P, η_D 分别为积分(I)、比例(P)、微分(D)的学习速率.若设

$$T_e(k) = \frac{|E_k|}{|\Delta E_k|} = R_0(k), T_c(k) = \frac{|\Delta E_k|}{|\Delta^2 E_k|} = R_0(k),$$

则 Marsik 和 Strejc 推导出 $K(k)$ 的迭代形式为^[3]:

$$K(k) = K(k-1) + C \cdot K(k-1) / T_c(k-1) \quad (6)$$

其中:

$$T_e(k) = T_e(k-1) + L \cdot \text{sign}[|E_k| - T_e(k-1)] \cdot |\Delta E_k| \quad (7)$$

$$T_c(k) = T_c(k-1) + L \cdot \text{sign}[|\Delta E_k| - T_c(k-1)] \cdot |\Delta^2 E_k| \quad (8)$$

$0.05 \leq L \leq 0.1, 0.025 \leq C \leq 0.05$. $\text{sign}(x)$ 为符号函数.

需要说明的是:式(6)是当 $\text{sign}(E_k) = \text{sign}(E_{k-1})$ 时 $K(k)$ 的迭代形式,可以看出 $K(k)$ 的增加速度与 $T_c(k)$ 成反比.当 $\text{sign}(E_k) \neq \text{sign}(E_{k-1})$ 时, $K(k)$ 按下式进行迭代:

$$K(k) = 0.75 \cdot K(k-1) \quad (9)$$

即当控制误差改变符号时, $K(k)$ 下降到上一时刻值的75%.

比较式(2)和(3)可以看出:神经元的3个权重系数 $W_i(k) (i=1,2,3)$ 分别对应于积分比例系数 K_I , 比例增益 K_P 和微分比例系数 K_D ; 式(5)所示权重系数的调节过程对应于PID算法控制参数的整定过程.但后者,即PID算法控制参数的整定过程是由操作者完成的;而基于单神经元的自适应PSD算法权重系数的调节过程则由神经元根据学习算法自适应地进行.基于单神经元自适应PSD算法的延迟反馈法,其完整的学习、控制步骤如下:

步骤1,随机设定初始值 $W_i(0) (i=1,2,3)$, $K(0)$ 以及 $T_i(0)$;

步骤2,根据式(3)计算 $X_i(k) (i=1,2,3)$ 的值;

步骤3,根据式(4)计算 ΔU_k 的值;

步骤4,根据加入 ΔU_k 后得到的新的系统变量值计算 E_k 的值;

步骤5,按式(5)修正权向量;

步骤6,根据式(6)或(9)修正 $K(k)$ 的值;

步骤7,根据式(7)和(8)修正 $T_c(k)$ 的值;

步骤8,重复执行步骤2至步骤7,直至 $W_i(k) (i=1,2,3)$ 的值不再发生变化为止.

3 应用实例

例1 Logistic系统的表达式如下

$$x(k+1) = A \cdot x(k) \cdot [1 - x(k)] \quad 0 \leq x(k) \leq 1 \quad (10)$$

当 $A=3.7$ 时,方程表示的是一个混沌过程.取 $x(0)=0.3$,方程迭代到第20步时加入基于单神经元自适应PSD算法的延迟反馈法进行控制,具体参数取法: $\eta_I=70, \eta_P=200, \eta_D=20, L=0.05, C=0.025, W_i(0)=0.5 (i=1,2,3), K(0)=1.0, T_i(0)=2.0$,对稳定点的镇定结果如图3所示.

例2 在控制条件和参数取法和例1完全相

同的情况下,基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法对周期四轨道的镇定结果如图 4 所示。

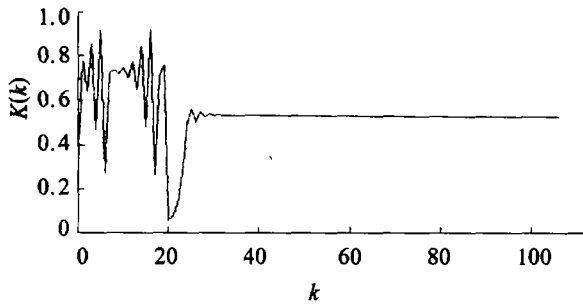


图3 基于单神经元自适应 PSD 控制算法的状态延迟法对 Logistic 系统稳定点的镇定结果

Fig.3 Stabilizing result of logistic system by adaptive state-delayed PSD algorithm based on single-neuron

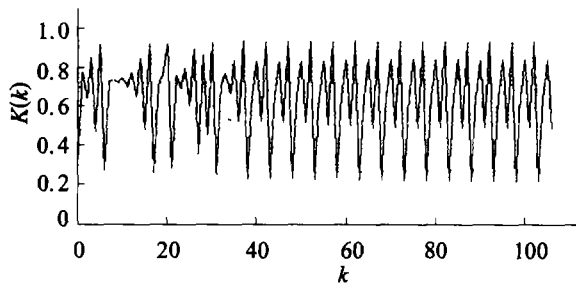


图4 基于单神经元自适应 PSD 控制算法的状态延迟法对 Logistic 系统周期四轨道的镇定结果

Fig.4 Stabilizing result of logistic system by adaptive state-delayed PSD algorithm based on single-neuron

同文献[4]进行比较后可以发现:在相同的控制条件下,基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法不仅能有效地实现对混沌系统稳定点和周期轨道的镇定控制,而且该算法所需的镇定时间远远小于状态延迟 PID 控制算法所需的镇定时间。

例 3 和例 4 说明基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法的抗干扰能力。

例 3 当例 1 控制到第 70 步时,将 Logistic 方程的参数由 3.7 变为 4.0,此时基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法的控制结果如图 5 所示(此时各控制参数的取值和例 1 中的情况相同)。

例 4 当例 1 控制到第 70 步时施加干扰信号,将 x 值增加 0.2,此时基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法的控制结果如图 6 所示(此时各控制参数的取值和例 1 中的情况相同)。

同文献[4]进行比较后可以发现:当系统内部参数发生相同程度的变化时,基于单神经元

自适应 PSD 算法的延迟反馈法,其抗干扰能力远远强于状态延迟 PID 控制算法;当系统受相同程度的外部噪声信号干扰时,基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法,其抗干扰能力也远远强于状态延迟 PID 控制算法。

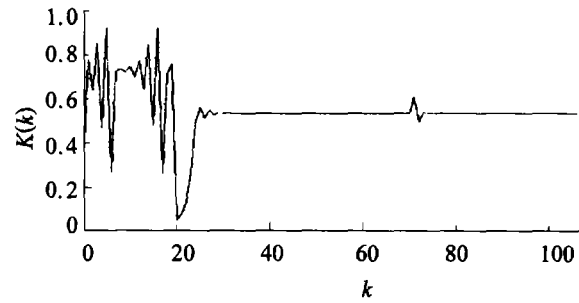


图5 系统内部参数发生变化时基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法的抗干扰能力

Fig.5 Anti-interference ability of adaptive PSD algorithm based on single-neuron(system parameter is changed)

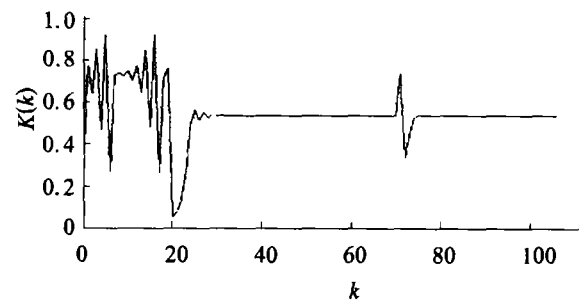


图6 系统受外部噪声信号干扰时基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法的抗干扰能力

Fig.6 Anti-interference ability of adaptive PSD algorithm based on single-neuron (noise is added)

4 结论

基于单神经元自适应 PSD 算法的延迟反馈法用于混沌系统的镇定控制时,具有以下特点:

(1)该算法能够自适应地完成控制参数的整定过程。

(2)和状态延迟 PID 控制算法相比,该算法具有镇定时间短、抗干扰能力强等优点。

参考文献

- 1 张怀宙,秦化淑,卞莉山.混沌系统控制初探.郑州轻工业学院学报,1996,11(2):11
- 2 刘向东.非线性临界系统反馈镇定与复杂系统分叉混沌控制:[博士学位论文].哈尔滨:哈尔滨工业大学,1998
- 3 王顺晃,舒迪前.智能控制系统及其应用.北京:机械工业出版社,1995
- 4 李攀.智能混沌信息处理系统的研究:[博士学位论文].北京:北京科技大学,1999

Stabilization of Chaos by Self-adaptive PSD State-delayed Feedback Algorithm Based on Single Neuron

LI Qing¹⁾, ZHENG Deling¹⁾, YANG Linhao²⁾, LU Yifang¹⁾

1)Information Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China 2)Handan Iron and steel Corporation, Handan 056000,China

ABSTRACT In order to stabilize the unstable orbits of chaotic systems, a new intelligent control method, which is combined the state-delayed feedback PID algorithm with the adaptive PSD algorithm based on single neuron, is presented. When this method is used for the stabilization of chaos, the parameters of the control system is governed adaptively by way of the self-learning function of the neuron. The simulation results demonstrate that this method has many strongpoints for its wide range of application, short transition time of stabilization and strong anti-inference ability.

KEY WORDS chaos; stabilization; self-adaptive; neuron

•••••
(上接 438 页)

Compound Artificial Synovia in Orthogonal Test

YU Luqing¹⁾, LI Jiuqing²⁾, GU Zhengqiu²⁾, ZHANG Bei²⁾

1) Applied Science School, UST Beijing, Beijing 100083, China 2) Material Science and Engineering School, UST Beijing, Beijing 100083, China

ABSTRACT The compound artificial synovia was prepared according to the table of orthogonal test design, which three factors—Hyaluronic Acid, γ -globulin and $L\alpha$ -DPPC and five levels were considered. A pendulum type friction test made by author was used to determine the friction coefficient of two kinds of tribology slide pairs—PVA-H/PVA-H and PVA-H/316L S S lubricated by the compound artificial synovia, the appropriate properties of three factors in the compound artificial synovia selected were ascertained finally.

KEY WORDS hyaluronic acid; compound artificial synovia; orthogonal test