

文章编号: 1001-0920(2004)07-0764-05

基于动态神经网络的非线性组合系统自适应观测器

刘恩东^{1,2}, 井元伟¹, 张嗣瀛¹

(1. 东北大学 信息科学与工程学院, 辽宁 沈阳 110004; 2 鞍钢集团新钢铁公司 热轧带钢厂, 辽宁 鞍山 114006)

摘要: 基于动态神经网络, 对一类非线性组合系统提出一种观测器设计方法。在观测器设计中, 充分考虑了神经网络逼近误差项对观测器性能的影响, 增加了鲁棒控制项, 并设计了相应的参数自适应律, 以保证良好的观测性能。神经网络的连接权值在线调整, 无需离线学习。仿真结果表明了该方法的有效性。

关键词: 非线性组合系统; 动态神经网络; 自适应控制; 观测器

中图分类号: TP13 **文献标识码:** A

Adaptive observer of nonlinear composite systems based on neural networks

L I U E n-dong^{1,2}, J I N G Y uan-w ei¹, Z H A N G S i-y i n g¹

(1. School of Information Sciences and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China; 2 The Hot Rolled Strip Plant, Angang New Iron and Steel Company, Anshan 114006, China Correspondent: L I U E n-dong, E-mail: Liuendong@etang.com)

Abstract: A new observer scheme is presented for a class of nonlinear composite systems using dynamic neural networks. The effects of neural network approximation error are well considered. A robust control term and weights are designed to guarantee the performance of adaptive observer. The weights of neural networks are updating on-line, and the off-line training phase is not required. Simulations performed on nonlinear composite systems of electromotors illustrate and clarify the approach.

Key words: nonlinear composite systems; dynamic neural networks; adaptive control; observer

1 引言

非线性系统观测器的设计一直是人们所关注的重要研究课题之一^[1,2]。系统的设计方法要求控制系统的动态完全已知,而在现代工业过程中,被控系统越来越复杂,其数学模型很难获得,同时系统的动态往往是未知的,或是部分未知的,这使得观测器的设计难以实现。神经网络具有大规模平行处理能力、快速自适应能力和固有的近似能力,因而在非线性系统控制中得到了广泛应用,基于神经网络的状态观测器设计引起了人们的兴趣^[3~6]。

文献[7]基于动态神经网络研究了一类非线性不确定系统的观测器设计问题,但目前对非线性组合系统应用动态神经网络进行观测器设计的研究却很少。组合系统是由若干个子系统以内联方式构成的大系统,具有很强的实际背景,在电力系统、机器人系统、计算机网络以及远程通信等领域普遍存在,因此关于组合系统的研究在近十几年得到广泛的重视^[8,9]。关于组合系统观测器设计的研究也引起了人们极大的兴趣。文献[10]将现代微分几何方法与分析法相结合,研究了一般非线性相似组合大系统,给

收稿日期: 2003-09-15; 修回日期: 2003-11-25

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60274009); 高等学校博士学科点专项科研基金资助项目(20020145007)。

作者简介: 刘恩东(1969—),男,辽宁灯塔人,博士生,从事非线性组合系统的研究; 张嗣瀛(1925—),男,山东章丘人,中国科学院院士,教授,博士生导师,从事微分对策、复杂系统结构和控制等研究。

出了渐近观测器的设计方案, 文献[11]针对一类具有不确定参数的非线性广义相似组合大系统, 设计出一种具有相似结构的鲁棒渐近状态观测器; 文献[12]基于状态观测器, 利用变结构原理研究了具有非理想输入不确定相似组合系统的鲁棒分散镇定问题

本文在文献[7]的基础上, 应用动态神经网络对非线性组合系统观测器进行研究, 提出一种非线性组合系统观测器的设计方法 在观测器设计中, 充分考虑了非线性组合系统中的互联项和动态神经网络逼近误差项对观测器性能的影响, 增加了鲁棒控制项, 并设计了相应的参数自适应律, 以保证良好的观测性能 最后以一个非线性电机组合系统的仿真结果说明了该方法的有效性

2 问题阐述

为讨论方便, 首先给出一些符号的定义: 设 $x_i = (x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{in_i})^T \in R^{n_i}$, $|x_i|$ 表示向量的 Euclidean 范数, 如果 x_i 是一个标量, 则 $|x_i|$ 表示其绝对值 设 $|x_i|_1 = \sum_{j=1}^n |x_{ij}|$, 如果 A 是一个矩阵, 则用 $\|A\|$ 表示矩阵范数, $\text{tr}\{\cdot\}$ 表示矩阵的迹 定义

$$\|A\|^2 = \sum_{i,j} |a_{ij}|^2 = \text{tr}\{A^T A\}.$$

考虑如下非线性组合大系统:

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= f_i(x_i) + g_i(x_i)u_i + h_i(x), \\ y_i &= C_i x_i, \quad i = 1, 2, \dots, N. \end{aligned} \quad (1)$$

这是一个由 N 个子系统组成的非线性大系统, $x_i \in R^{n_i}$ 为状态变量, $u_i \in R^{m_i}$ 为输入, $y_i \in R^{q_i}$ 为系统输出, C_i 为 $q_i \times n_i$ 矩阵, $f_i(x_i)$ 为未知光滑向量函数, $g_i(x_i)$ 为未知矩阵函数, $h_i(x)$ 为互联项, 只有输出 y_i 可以测量

上述问题可转化为针对非线性组合系统(1), 基于动态神经网络设计相应的观测器, 并保证观测器具有良好的性能

3 观测器设计

文献[13, 14] 利用动态神经网络对非线性仿射系统进行描述 在此基础上, 系统(1) 可由动态神经网络表示为

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= A_i x_i + B W_1 S_1(x_i) + B W_2 S_2(x_i) u_i + \\ &B W_N S_N(x) + B_i \epsilon(x_i, u_i, x), \\ y_i &= C_i x_i \end{aligned} \quad (2)$$

其中: A_i 为 $n_i \times n_i$ 矩阵; B_i 为 $n_i \times r_i$ 矩阵; W_1, W_2, W_N 分别为 $r_i \times L_1, r_i \times L_2, r_i \times L_N$ 连接权矩阵; $S_1(x_i)$ 为 L_1 维向量, $S_2(x_i)$ 为 $L_2 \times m_i$ 矩阵, $S_N(x)$

为 L_N 维向量, 它们是光滑单调函数, 选用 Sigmoid 函数; $\epsilon(x_i, u_i, x)$ 为模型误差项, 满足以下假设:

假设 1 在紧集 $\Omega \subset R^{r_i}$ 中, 有 $|\epsilon(x_i, u_i, x)| \leq \theta$, θ 为未知常数

对于系统(2), 相应的观测器为

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_i &= A_i \hat{x}_i + B \hat{W}_1 S_1(\hat{x}_i) + B \hat{W}_2 S_2(\hat{x}_i) u_i + \\ &B \hat{W}_N S_N(\hat{x}) + K_i (y_i - \hat{y}_i) + B_i v_i, \\ \hat{y}_i &= C_i \hat{x}_i \end{aligned} \quad (3)$$

其中: \hat{x}_i 为观测器的状态; K_i 为观测器增益矩阵; $\hat{W}_1, \hat{W}_2, \hat{W}_N$ 分别为 W_1, W_2, W_N 的估计值, 定义参数估计误差 $\tilde{W}_1 = \hat{W}_1 - W_1, \tilde{W}_2 = \hat{W}_2 - W_2, \tilde{W}_N = \hat{W}_N - W_N$; v_i 为观测器的鲁棒控制项

假设 2 对于控制输入 u_i , 有 $|u_i| < U_m$, 其中 U_m 为一常数

定义观测误差 $e_i = \hat{x}_i - x_i$, 由式(1) 和(2), 经过一定的运算可得

$$\begin{aligned} \dot{e}_i &= A_{ie} e_i + B \tilde{W}_1 S_1(\hat{x}_i) + B \tilde{W}_2 S_2(\hat{x}_i) u_i + \\ &B \tilde{W}_N S_N(\hat{x}) + B W_1 \tilde{S}_1 + B W_2 \tilde{S}_2 u_i + \\ &B W_N \tilde{S}_N + B_i v_i - B_i \epsilon(x_i, u_i, x), \\ \tilde{y}_i &= C_i e_i \end{aligned} \quad (4)$$

其中: $\tilde{S}_1 = S_1(\hat{x}_i) - S_1(x_i), \tilde{S}_2 = S_2(\hat{x}_i) - S_2(x_i), \tilde{S}_N = S_N(\hat{x}) - S_N(x), \tilde{y}_i = y_i - \hat{y}_i, A_{ie} = A_i + K_i C_i$

假设 3 $|\tilde{S}_1| < M_1, |\tilde{S}_2| < M_2, |\tilde{S}_N| < M_N$, 其中 M_1, M_2, M_N 为未知常数

定理 1 考虑组合系统(2), 相应的观测器为式

(3). $\hat{W}_1, \hat{W}_2, \hat{W}_N, \hat{\theta}$ 的自适应律分别为

$$\dot{\hat{W}}_1 = -\gamma_1 \hat{W}_1 - F_1^T \tilde{y}_1 S_1^T(\hat{x}_i), \quad (5)$$

$$\dot{\hat{W}}_2 = -\gamma_2 \hat{W}_2 - F_2^T \tilde{y}_2 u_i S_2^T(\hat{x}_i), \quad (6)$$

$$\dot{\hat{W}}_N = -\gamma_3 \hat{W}_N - F_N^T \tilde{y}_N S_N^T(\hat{x}), \quad (7)$$

$$\dot{\hat{\theta}} = -\gamma_4 \hat{\theta} + |\tilde{y}_i^T F_i|; \quad (8)$$

观测器的鲁棒控制项为

$$v_i = -\hat{\theta} \text{sign}(\tilde{y}_i^T F_i),$$

$$\text{sign}(\tilde{y}_i^T F_i) =$$

$$[\text{sign}(\tilde{y}_i^T F_i)_1, \dots, \text{sign}(\tilde{y}_i^T F_i)_{r_i}]^T \in R^{r_i};$$

其中 $\gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4$ 均为大于零的常数 则 $e_i, \tilde{W}_1, \tilde{W}_2, \tilde{W}_N, \hat{\theta}$ 是最终一致有界的

注 1 这里 $F_i \in R^{q_i \times r_i}$ 是一矩阵, 具有如下性质: 存在一个对称正定矩阵 $Q_i \in R^{n_i}$, 满足 $C_i^T F_i = P B_i$, 其中 P_i 是 Lyapunov 方程 $A_{ie}^T P_i + P A_{ie} = -Q_i$ 的正定解

证明 首先考虑第*i*个子系统,构造Lyapunov函数如下:

$$V_i = \frac{1}{2} e_i^T P_i e_i + \frac{1}{2} \text{tr}\{\tilde{W}_1^T \tilde{W}_1\} + \frac{1}{2} \text{tr}\{\tilde{W}_2^T \tilde{W}_2\} + \frac{1}{2} \text{tr}\{\tilde{W}_N^T \tilde{W}_N\} + \frac{1}{2} \tilde{\theta}_i \quad (9)$$

对式(9)求导并代入(4),经过一定的运算可得

$$\begin{aligned} \dot{V}_i = & \frac{1}{8} \lambda_{\min}(Q_i) |e_i|^2 + e_i^T P B \tilde{W}_1 S_1(\hat{x}) + \\ & e_i^T P B \tilde{W}_2 S_2(\hat{x}) u_i + e_i^T P B \tilde{W}_N S_N(\hat{x}) + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_1 \tilde{S}_1)^T (P B W_1 \tilde{S}_1) + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_2 \tilde{S}_2 u_i)^T (P B W_2 \tilde{S}_2 u_i) + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_N \tilde{S}_N)^T (P B W_N \tilde{S}_N) - \\ & |y_i^T F_i| \tilde{\theta}_i + \text{tr}\{\dot{\tilde{W}}_1^T \tilde{W}_1\} + \text{tr}\{\dot{\tilde{W}}_2^T \tilde{W}_2\} + \\ & \text{tr}\{\dot{\tilde{W}}_N^T \tilde{W}_N\} + \tilde{\theta}_i \dot{\theta}_i, \end{aligned} \quad (10)$$

其中 $\lambda_{\min}(Q_i)$ 为矩阵 Q_i 的最小特征值

将式(5)~(8)代入(10),得

$$\begin{aligned} \dot{V}_i = & \frac{1}{8} \lambda_{\min}(Q_i) |e_i|^2 + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_1 \tilde{S}_1)^T (P B W_1 \tilde{S}_1) + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_2 \tilde{S}_2 u_i)^T (P B W_2 \tilde{S}_2 u_i) + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} (P B W_N \tilde{S}_N)^T (P B W_N \tilde{S}_N) - \\ & \gamma_1 \text{tr}\{\hat{W}_1^T \tilde{W}_1\} - \gamma_2 \text{tr}\{\hat{W}_2^T \tilde{W}_2\} - \\ & \gamma_3 \text{tr}\{\hat{W}_N^T \tilde{W}_N\} - \gamma_4 \tilde{\theta}_i \dot{\theta}_i \end{aligned} \quad (11)$$

其中

$$\text{tr}\{\hat{W}_1^T \tilde{W}_1\} = \frac{1}{2} \hat{W}_1^2 + \frac{1}{2} \tilde{W}_1^2 - \frac{1}{2} W_1^2, \quad (12)$$

$$\text{tr}\{\hat{W}_2^T \tilde{W}_2\} = \frac{1}{2} \hat{W}_2^2 + \frac{1}{2} \tilde{W}_2^2 - \frac{1}{2} W_2^2, \quad (13)$$

$$\text{tr}\{\hat{W}_N^T \tilde{W}_N\} = \frac{1}{2} \hat{W}_N^2 + \frac{1}{2} \tilde{W}_N^2 - \frac{1}{2} W_N^2, \quad (14)$$

$$\tilde{\theta}_i \dot{\theta}_i = \frac{1}{2} \hat{\theta}_i^2 + \frac{1}{2} \tilde{\theta}_i^2 - \frac{1}{2} \theta_i^2 \quad (15)$$

将式(12)~(15)代入(11),得

$$\begin{aligned} \dot{V}_i = & \left[\frac{1}{8} \lambda_{\min}(Q_i) |e_i|^2 + \frac{\gamma_1}{2} \tilde{W}_1^2 + \right. \\ & \left. \frac{\gamma_2}{2} \tilde{W}_2^2 + \frac{\gamma_3}{2} \tilde{W}_N^2 + \frac{\gamma_4}{2} \tilde{\theta}_i^2 \right] + \\ & \left[2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} P B W_1^2 M_1^2 + \right. \\ & \left. \frac{\gamma_1}{2} W_1^2 + 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} \times \right. \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & P B W_2^2 M_2^2 U_m^2 + \frac{\gamma_2}{2} W_2^2 + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} P B W_N^2 M_N^2 + \\ & \left. \frac{\gamma_3}{2} W_N^2 + \frac{\gamma_4}{2} \theta_i^2 \right] \end{aligned} \quad (16)$$

由式(16)得

$$\dot{V}_i \leq -c_i V_i + k_i \quad (17)$$

其中

$$c_i = \min \left\{ \frac{1}{4} \frac{\lambda_{\min}(Q_i)}{\lambda_{\max}(P_i)}, \gamma_1, \gamma_2, \gamma_3, \gamma_4 \right\}, \quad (18)$$

$$\begin{aligned} k_i = & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} P B W_1^2 M_1^2 + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} P B W_2^2 M_2^2 U_m^2 + \\ & 2(\lambda_{\min}(Q_i))^{-1} P B W_N^2 M_N^2 + \\ & \frac{\gamma_1}{2} W_1^2 + \frac{\gamma_2}{2} W_2^2 + \\ & \frac{\gamma_3}{2} W_N^2 + \frac{\gamma_4}{2} \theta_i^2 \end{aligned} \quad (19)$$

选取 $V_i > k_i/c_i$, 则得 $\dot{V}_i < 0$ 这样,关于集合 $U = \{V_i(t); V_i > k_i/c_i\}$,可以得到 V_i 是最终一致有界的

如果 V_i 在集合 U 外,则 $\dot{V}_i > 0$ 另一方面, V_i 在集合 U 内,通过 k_i/c_i 可知 V_i 是有界的 根据 V_i 的定义,可得信号 $|e_i|$, \hat{W}_1 , \hat{W}_2 , \hat{W}_N 和 $|\hat{\theta}_i|$ 同样具有最终一致有界的特性

对于整个组合系统,选取Lyapunov函数

$$V = \sum_{i=1}^N V_i \quad (20)$$

对式(20)求导,得

$$\dot{V} = \sum_{i=1}^N (-c_i V_i + k_i) \quad (21)$$

选取 $V_i > k_i/c_i$, 则 $\dot{V} < 0$ 所以非线性组合系统的 V 是最终一致有界的

4 仿真示例

考虑如下取自非线性电机模型^[15]的非线性系统:

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} \dot{x}_{11} \\ \dot{x}_{12} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -x_{11}^2 & -x_{11}x_{12} \\ 4x_{11}x_{12} & -x_{12}^2 \end{bmatrix} + \\ & \begin{bmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{11} \\ u_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin(3\pi t)x_{21} \\ \cos(3\pi t)x_{22} \end{bmatrix}, \\ y_1 &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix}, \\ \begin{bmatrix} \dot{x}_{21} \\ \dot{x}_{22} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} -x_{21}^2 & -x_{21}x_{22} \\ 4x_{21}x_{22} & -x_{22}^2 \end{bmatrix} + \\ & \begin{bmatrix} 1/4 & 0 \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} u_{21} \\ u_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \sin(3\pi t)x_{11} \\ \cos(3\pi t)x_{12} \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

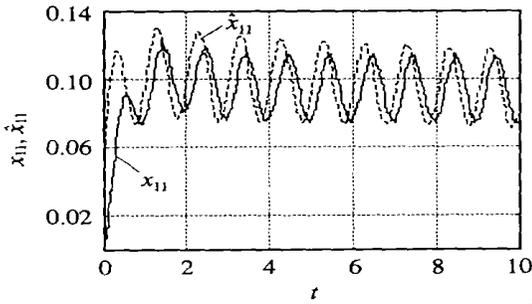


图 1 x_{11} 和 \hat{x}_{11} 的轨迹

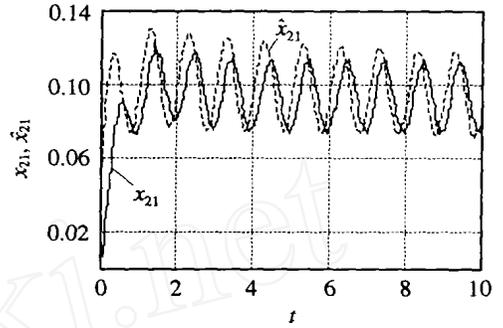


图 3 x_{21} 和 \hat{x}_{21} 的轨迹

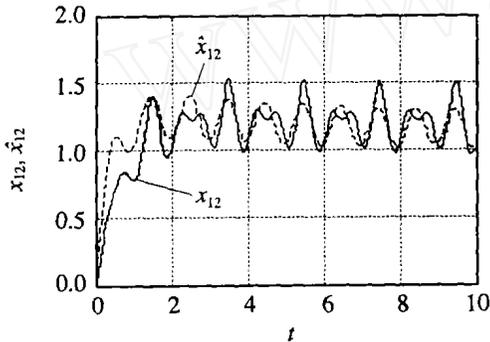


图 2 x_{12} 和 \hat{x}_{12} 的轨迹

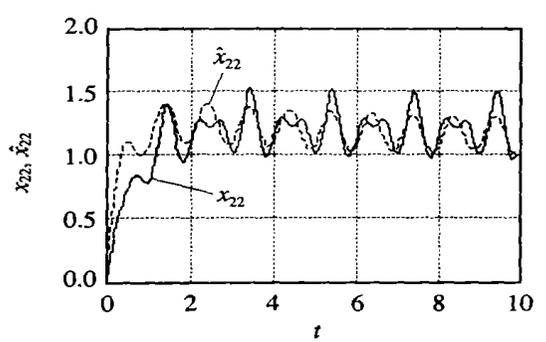


图 4 x_{22} 和 \hat{x}_{22} 的轨迹

$$y_2 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \end{bmatrix}$$

其中

$$A_1 = A_2 = \begin{bmatrix} -45 & -0.01 \\ 0 & -4 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = B_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix},$$

$$x_1(0) = \hat{x}_1(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$x_2(0) = \hat{x}_2(0) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}.$$

控制律为

$$u_{11} = u_{12} = u_{21} = u_{22} = 0.5 \sin(2\pi t) + 0.5 \cos(2\pi t/250).$$

自适应参数的初始值为

$$\hat{W}_{11}(0) = \hat{W}_{12}(0) = 0.3,$$

$$\hat{W}_{21}(0) = \hat{W}_{22}(0) = 0.3,$$

$$\hat{W}_{N1}(0) = \hat{W}_{N2}(0) = 0.3,$$

$$\hat{\theta}_1(0) = \hat{\theta}_2(0) = 1.$$

设计参数为

$$\gamma_{11} = \gamma_{12} = 0.06, \gamma_{21} = \gamma_{22} = 0.06,$$

$$\gamma_{31} = \gamma_{32} = 0.06, \gamma_{41} = \gamma_{42} = 0.06,$$

$$K_1 = K_2 = \begin{bmatrix} - & 10 \\ - & 6 \end{bmatrix}, F_1 = F_2 = 1.$$

仿真结果如图 1~ 图 4 所示。由图可以看出: 振幅误差较好; 相位误差稍差, 但满足实际需要; 观测误差 e_{11}, e_{12}, e_{21} 和 e_{22} 具有最终一致有界的特性, 表明了该观测器设计方法的有效性。

5 结 论

本文讨论一类非线性组合系统的观测器控制问题, 提出一种非线性组合系统观测器的设计方法, 以跟随实际系统状态。应用 Lyapunov 稳定性理论来保证观测误差和其他信号具有最终一致有界的特性。在观测器设计中, 充分考虑了神经网络逼近误差项对观测器性能的影响, 增加了鲁棒控制项, 并设计了相应的参数自适应律, 以保证良好的观测性能。神经网络的连接权值在线调整, 无需离线学习。仿真结果表明了该设计方法的有效性。

参考文献(References):

- [1] Xia Xiao-hua, Gao Wei-bing. Nonlinear observer design by observer error linearization[J]. *SIAM J Control & Optimization*, 1989, 27(2): 199-216
- [2] Zietz M. The extended Luenberger for nonlinear systems[J]. *Systems & control Letters*, 1987, 9: 156-194
- [3] Hunt K J, Sbarbaro D, Zbikowski R, et al. Neural networks for control systems - A survey[J]. *Automatica*

- tica*, 1992, 28(6): 1083-1112
- [4] Yong H Kim, Frank L Lewis, Chaouki T Abdallah. Dynamic recurrent neural-network-based adaptive observer for a class of nonlinear systems[J]. *Automatica*, 1997, 33(8): 1539-1543
- [5] 朱瑞军, 柴天佑. 基于动态神经网络的非线性系统鲁棒观测器设计[J]. *信息与控制*, 1998, 27(6): 421-425
(Zhu R J, Chai T Y. Robust observer design for a class of nonlinear systems using current dynamic neural networks[J]. *Information and Control*, 1998, 27(6): 421-425)
- [6] 杨晋勇, 贾英民. 基于动态递归神经网络的一类非线性不确定系统的自适应观测器[J]. *控制与决策*, 2002, 17(1): 89-91
(Yang J Y, Jia Y M. Adaptive observer for a class of nonlinear uncertain systems based on dynamic recurrent neural network[J]. *Control and Decision*, 2002, 17(1): 89-91)
- [7] 杨晋勇, 贾英民. 基于动态神经网络的一类非线性不确定系统的自适应观测器[J]. *控制与决策*, 2002, 17(4): 447-449
(Yang J Y, Jia Y M. Adaptive observer for a class of nonlinear uncertain systems based on dynamical neural network[J]. *Control and Decision*, 2002, 17(4): 447-449)
- [8] 张嗣瀛. 复杂控制系统的对称性及相似结构[J]. *控制理论与应用*, 1994, 11(2): 231-237
(Zhang S Y. Study on symmetric and similar structures of complex control systems[J]. *Control Theory and Applications*, 1994, 11(2): 231-237)
- [9] 严星刚. 复杂非线性相似组合大系统的鲁棒控制与结构全息控制[D]. 沈阳: 东北大学, 1996
- [10] 严星刚, 戴冠中, 张嗣瀛. 一般非线性相似组合大系统的渐近观测器[J]. *自动化学报*, 1998, 24(6): 789-792
(Yan X G, Dai G Z, Zhang S Y. Robust asymptotic observer design for a class of generalized similar composite systems[J]. *Acta Automatica Sinica*, 1998, 24(6): 789-792)
- [11] 王银河, 黎阳生, 刘粉林, 等. 一类广义相似组合系统的鲁棒渐近观测器设计[J]. *控制与决策*, 1999, 14(6): 680-683
(Wang Y H, Li Y S, Liu F L, et al. Robust asymptotic observer design for a class of generalized similar composite systems[J]. *Control and Decision*, 1999, 14(6): 680-683)
- [12] 刘粉林, 刘媛, 王银河, 等. 基于状态观测器的非理想输入不确定组合大系统的输出反馈分散镇定[J]. *控制理论与应用*, 2001, 18(1): 21-25
(Liu F L, Liu Y, Wang Y H, et al. Based state observer decentralized output feedback stability of uncertainty composite systems with imperfect inputs[J]. *Control Theory and Applications*, 2001, 18(1): 21-25)
- [13] Rovithakis G A. Tracking control of multi-input affine nonlinear dynamical systems with unknown nonlinearities using dynamical neural networks[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, 1999, 29(2): 179-189
- [14] Rovithakis G A, Manolis A Christodoulou. Adaptive control of unknown plants using dynamical neural networks[J]. *IEEE Transactions on Systems, Man & Cybernetics*, 1994, 24(3): 400-411
- [15] Li Z H, Chai T Y, Wen C Y. Adaptive robust control of nonlinear uncertain systems[J]. *Int J of Control*, 1995, 26(11): 2159-2175

下 期 要 目

- 免疫算法研究的进展 蔡自兴, 龚涛
- 一种新的基于模糊控制的电梯群控策略 李中华, 等
- 基于改进聚类算法的分布式SVM 及其应用 桂卫华, 等
- 求解TSP 问题的模式学习并行蚁群算法 萧蕴诗, 等
- 基于进化规划的神经网络群的设计方法 刘芳, 等
- 一种时间序列相似匹配新算法 李秋丹, 等
- 数据挖掘的系统云灰色预测方法研究 陈德年, 等
- 复杂系统的质量生存交互决策的算法研究 叶明确, 王浣尘
- 一种快速的自适应频繁模式挖掘方法 叶飞跃, 等
- 一类具有时滞的广义hopfield 神经网络的全局稳定性 季策, 等