

文章编号: 1001-0920(2002)04-0391-06

# 基于观测器非线性不确定系统的自适应模糊控制

佟绍成

(辽宁工学院 基础部, 辽宁 锦州 121001)

**摘 要:** 针对一类单输入单输出不确定非线性系统, 提出一种稳定的自适应模糊控制方法。该方法不需要系统状态可测的条件, 而是通过设计模糊状态观测器来估计系统的状态。证明了所提出的控制方法不但能使闭环系统稳定, 而且输出误差可取得  $H$  跟踪控制性能。仿真结果进一步验证了该控制算法的实用性和有效性。

**关键词:** 非线性系统; 模糊自适应控制; 观测器; 稳定性分析

**中图分类号:** TP 273      **文献标识码:** A

## Adaptive fuzzy control based on observer for a class of uncertain nonlinear systems

TONG Shao-cheng

(Department of Basic Science, Liaoning Institute of Technology, Jinzhou 121001, China)

**Abstract:** A stable adaptive fuzzy control method is proposed for single input and single output nonlinear systems. This method does not need the assumption that the state variables are measurable. And the state variables can be estimated by designing fuzzy observer. It is proved that the proposed control algorithm guarantees the system stability and maintains a good tracking performance as well.

**Key words:** nonlinear systems; fuzzy adaptive control; observer; stability

## 1 引 言

王立新针对单输入单输出不确定非线性系统提出了自适应模糊控制算法<sup>[1,2]</sup>, 并基于李亚普诺夫方法给出了闭环系统的稳定性分析, 从而为研究非线性系统的模糊控制问题开辟了新的途径。此后, 国内外许多学者在这方面做了大量研究工作, 并提出了许多非线性自适应模糊控制方法<sup>[3~6]</sup>。在这些控制方法中, 控制器一般由两部分组成: 一是作为粗调的自适应模糊逻辑系统; 二是作为微调的鲁棒补偿器, 如监督控制器<sup>[1]</sup>、 $H$  控制器<sup>[3]</sup>、滑模糊控制器<sup>[4~6]</sup>

或后二者的结合。然而, 现有的自适应模糊控制算法都利用了系统的状态是完全可测的条件, 因此这些控制算法对于状态不完全可测的非线性系统的控制并不适用, 必须设计输出或基于观测器的自适应模糊反馈控制。

本文对于状态变量不完全可测的不确定非线性系统, 提出一种基于观测器的自适应模糊控制器。这种控制器由以下两部分构成: 一是由自适应模糊系统构成的等价控制器, 起着基本控制系统和保证系统稳定的作用; 二是由  $H$  控制所构成的补偿项, 起着抑制和消除外界干扰及其模糊逼近误差, 改进控

收稿日期: 2001-04-27; 修回日期: 2001-06-26

基金项目: 辽宁省自然科学基金项目(2001101061)

作者简介: 佟绍成(1960—), 男(满族), 辽宁锦州人, 副校长, 教授, 博士, 从事模糊控制、自适应控制等研究。

制系统性能的作用。因此,所提出的模糊控制算法不但能保证闭环系统稳定,而且可取得在系统状态可测条件下的控制性能。仿真结果进一步验证了所提出方法的有效性。

## 2 模糊描述与控制问题

考虑如下单输入单输出非线性系统

$$\begin{cases} \dot{x}^{(n)} = f(x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)}) + \\ \quad g(x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})u + d \\ y = x \end{cases} \quad (1)$$

其中,  $x = (x, \dot{x}, \dots, x^{(n-1)})^T \in R^n$  是系统的状态向量,  $u \in R$  和  $y \in R$  分别是系统的输入和输出,  $f$  和  $g$  是未知的有界连续函数,  $d$  是未知但有界的外界干扰。

假设对于  $x \in U_x \subset R^n, g(x) > 0$ , 其中  $U_x$  是一个有界闭集。为简单起见, 可设  $g(x) > 0$ 。

方程(1)等价于

$$\begin{cases} \dot{x} = Ax + B(f(x) + g(x)u + d) \\ y = C^T x \end{cases} \quad (2)$$

其中

$$A = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 & \dots & 0 \\ 0 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & \dots & 0 \end{bmatrix}, \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad C = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \\ \vdots \\ 0 \\ 0 \end{bmatrix}$$

设  $y_m$  是给定的有界参考信号, 且有  $1 \sim n$  阶有界导数; 设  $\hat{x}$  是状态向量  $x$  的估计,  $e_1 = y_m - y$  是系统的输出跟踪误差。引入如下记号

$$\begin{aligned} \underline{y}_m &= [y_m, \dot{y}_m, \dots, y_m^{(n-1)}]^T \\ e &= \underline{y}_m - x = [e, \dot{e}, \dots, e^{(n-1)}]^T \\ \hat{e} &= \underline{y}_m - \hat{x} = [\hat{e}, \hat{\dot{e}}, \dots, \hat{e}^{(n-1)}]^T \end{aligned}$$

控制任务是设计输出反馈控制器  $u = u(x, e_1 | \theta)$  和参数向量  $\theta$  的自适应调节律, 使得下列条件成立:

- 1) 闭环系统中所涉及的变量有界, 且  $\lim_{t \rightarrow \infty} e_1 = 0$ ;
- 2) 对于预先给定的抑制水平  $\rho > 0$ , 取得如下

$H_\infty$  跟踪性能

$$\int_0^T E^T Q E dt + E^T(0) P E(0) + \frac{1}{r} \tilde{\theta}^T(0) \tilde{\theta}(0) + \rho^2 \int_0^T w^2 dt \quad (3)$$

其中,  $E^T = [\hat{e}^T, \tilde{e}^T], Q = Q^T > 0, P = P^T > 0, r > 0$ 。

本文对模糊自适应控制进行分类, 将给出取得上述跟踪性能指标的自适应模糊间接控制算法<sup>[1]</sup>。

## 3 基于观测器的间接自适应模糊控制设计

如果系统(1)的状态可测, 按照文献[1, 3]的方法, 则间接自适应模糊控制设计为

$$u = \frac{1}{g(\hat{x} | \hat{\theta}_k)} [-\hat{f}(\hat{x} | \hat{\theta}_k) + \dot{y}_m^{(n)} + K_c^T e - u_a] \quad (4)$$

其中,  $\hat{f}(\hat{x} | \hat{\theta}_k)$  和  $\hat{g}(\hat{x} | \hat{\theta}_k)$  是用于逼近未知函数  $f(\bullet)$  和  $g(\bullet)$  的模糊逻辑系统,  $K_c^T = [k_n^c, k_{n-1}^c, \dots, k_1^c]^T$  是保证矩阵  $A - B K_c^T$  稳定的反馈增益向量,  $u_a$  是用于补偿外界干扰和模糊逼近误差的  $H_\infty$  鲁棒控制。

如果系统(1)的状态不可测, 则不能利用控制器(4)控制系统(1)。在这种情况下, 间接自适应模糊控制设计为

$$u = \frac{1}{g(\hat{x} | \hat{\theta}_k)} [-\hat{f}(\hat{x} | \hat{\theta}_k) + \dot{y}_m^{(n)} + K_c^T \hat{e} - u_a - u_s] \quad (5)$$

其中,  $\hat{x}$  和  $\hat{e}$  分别为  $x$  和  $e$  的估计,  $u_a$  是  $H_\infty$  鲁棒控制,  $u_s$  是误差估计的反馈控制, 它们的设计将在后面给出。

由式(2)和(5)得

$$\begin{cases} \dot{\hat{e}} = A \hat{e} - B K_c^T \hat{e} + B u_a + B u_s + \\ \quad B [(\hat{f}(\hat{x} | \hat{\theta}_k) - \hat{f}(\underline{y}_m - \hat{e} | \hat{\theta}_k)) - \hat{f}(\underline{y}_m - \hat{e}) + \\ \quad \hat{g}(\hat{x} | \hat{\theta}_k) - \hat{g}(\underline{y}_m - \hat{e})] u - d \\ e_1 = C^T \hat{e} \end{cases} \quad (6)$$

设计观测器

$$\begin{cases} \dot{\tilde{e}} = A \tilde{e} - B K_c^T \tilde{e} + K_0(e_1 - \hat{e}_1) \\ \hat{e}_1 = C^T \tilde{e} \end{cases} \quad (7)$$

其中  $K_0^T = [k_1^0, k_2^0, \dots, k_n^0]$  是保证矩阵  $A - K_0 C^T$  稳定的观测增益向量。设观测误差为  $\tilde{e} = e - \hat{e}$ , 式(7)

减式(6)得

$$\begin{cases} \dot{\tilde{e}} = (A - K_0 C^T)\tilde{e} + B u_a + B u_s + \\ B [f(\hat{x}_m - \hat{e} | \hat{\theta}) - f(\hat{x}_m - e) + \\ g(\hat{x}_m - \hat{e} | \hat{\theta}_g) - g(\hat{x}_m - e)u - d] \\ \tilde{e}_1 = C^T \tilde{e} \end{cases} \quad (8)$$

将  $\hat{x} = \hat{x}_m - \hat{e}$  作为模糊系统的输入, 模糊逻辑系统取如下形式

$$\begin{aligned} f(\hat{x}_m - \hat{e} | \hat{\theta}) &= \\ \hat{\theta}^T \Psi(\hat{x}_m - \hat{e}) &= \hat{\theta}^T \Psi(\hat{x}) \end{aligned} \quad (9)$$

$$\begin{aligned} g(\hat{x}_m - \hat{e} | \hat{\theta}_g) &= \\ \hat{\theta}_g^T \Psi(\hat{x}_m - \hat{e}) &= \hat{\theta}_g^T \Psi(\hat{x}) \end{aligned} \quad (10)$$

假设  $\hat{x}, \hat{x}, \hat{\theta}, \hat{\theta}_g$  分别属于有界闭集  $U_1, U_2, \Omega_1, \Omega_2$ , 具体定义如下

$$\begin{aligned} U_1 &= \{\hat{x} \in R^n: \hat{x} \in M_1\} \\ U_2 &= \{\hat{x} \in R^n: \hat{x} \in M_2\} \\ \Omega_1 &= \{\hat{\theta} \in R^N: \hat{\theta} \in M_f\} \\ \Omega_2 &= \{\hat{\theta}_g \in R^N: \hat{\theta}_g \in M_g\} \end{aligned}$$

其中,  $M_1, M_2, M_f, M_g$  是给定的设计参数,  $N$  是模糊推理规则数

定义最优参数估计值

$$\hat{\theta}^* = \arg \min_{\hat{\theta}} \{ \sup_{\hat{x} \in U_1, \hat{x} \in U_2} |f(\hat{x}) - f(\hat{x} | \hat{\theta})| \} \quad (11)$$

$$\hat{\theta}_g^* = \arg \min_{\hat{\theta}_g} \{ \sup_{\hat{x} \in U_1, \hat{x} \in U_2} |g(\hat{x}) - g(\hat{x} | \hat{\theta}_g)| \} \quad (12)$$

定义最小逼近误差

$$\begin{aligned} w = & \\ & (f(\hat{x} | \hat{\theta}^*) - f(\hat{x} | \hat{\theta}^*)) + \\ & (f(\hat{x} | \hat{\theta}^*) - f(\hat{x})) = \\ & (g(\hat{x} | \hat{\theta}_g^*) - g(\hat{x} | \hat{\theta}_g^*)) + (g(\hat{x} | \hat{\theta}_g^*) - g(\hat{x})) \end{aligned} \quad (13)$$

则式(8)可表示成

$$\begin{cases} \dot{\tilde{e}} = (A - K_0 C^T)\tilde{e} + B u_a + B u_s + \\ B [(f(\hat{x} | \hat{\theta}) - f(\hat{x} | \hat{\theta}^*)) + \\ (g(\hat{x} | \hat{\theta}_g) - g(\hat{x} | \hat{\theta}_g^*))u + w_1] \\ \tilde{e}_1 = C^T \tilde{e} \end{cases} \quad (14)$$

其中  $w_1 = w - d$ 。根据公式(8)~(10), 式(14)可以写成

$$\begin{cases} \dot{\tilde{e}} = (A - K_0 C^T)\tilde{e} + B [\hat{\theta}^T \Psi(\hat{x}) + \\ \hat{\theta}_g^T \Psi(\hat{x})u + u_a + u_s + w_1] \\ \tilde{e}_1 = C^T \tilde{e} \end{cases} \quad (15)$$

其中,  $\tilde{\theta} = \hat{\theta} - \theta, \tilde{\theta}_g = \hat{\theta}_g - \theta_g$  为参数估计误差。

**假设 1** 对于给定的正定矩阵  $Q_1$  和  $Q_2$  以及满足不等式  $r > 2\rho^2$  的  $r$  和  $\rho$ , 下面的矩阵方程存在正定解  $P_1$  和  $P_2$

$$(A - B K_c^T)^T P_1 + P_1 (A - B K_c^T) = -Q_1 \quad (16)$$

$$\begin{cases} (A - K_0 C^T)^T P_2 + P_2 (A - K_0 C^T) - \\ P_2 B \left( \frac{2}{r} - \frac{1}{\rho^2} \right) B^T P_2 + C C^T = -Q_2 \\ P_2 B = C \end{cases} \quad (17)$$

**假设 2**  $g(\hat{x} | \hat{\theta}_g) > 0, w_1 \in L_2, \int_0^+ w^2 dt < \infty$

设计  $H_\infty$  鲁棒控制, 误差估计反馈控制和参数自适应律为

$$\begin{cases} u_a = -\frac{1}{r} B^T P_2 \tilde{e} \\ u_s = -K_0^T P_1 \hat{e} \\ \dot{\hat{\theta}} = -r_1 \tilde{e}^T P_2 B \Psi(\hat{x}) \quad \dot{\hat{\theta}}_g = -r_2 \tilde{e}^T P_2 B \Psi(\hat{x}) u \end{cases} \quad (18)$$

其中,  $B^T P_2 \tilde{e} = \tilde{e}_1, r_1 > 0$  和  $r_2 > 0$  为自适应增益, 而  $\hat{e}, \tilde{e}, \hat{x}$  可用于反馈控制。因此所设计的模糊间接自适应控制器是可实施的。

**定理 1** 对于非线性系统(1), 在假设 1 和假设 2 成立的条件下, 如果采用自适应模糊控制律(5)和(18), 则整个控制方案保证具有如下性质:

- 1)  $\hat{x}, \hat{x}, \hat{e}, \hat{e} \in L_\infty, \lim_{t \rightarrow \infty} e_1 = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{e} = 0$ ;
- 2) 对于给定的抑制水平  $\rho$ , 可获得  $H_\infty$  跟踪性能指标(3)。

证明 取李亚普诺夫函数



$$V = \frac{1}{2} \hat{e}^T P_1 \hat{e} + \frac{1}{2} \tilde{e}^T P_2 \tilde{e} + \frac{1}{2r_1} \hat{\theta}_f^T \hat{\theta}_f + \frac{1}{2r_2} \hat{\theta}_g^T \hat{\theta}_g \quad (19)$$

对V求导得

$$\dot{V} = \frac{1}{2} \dot{\hat{e}}^T P_1 \hat{e} + \frac{1}{2} \hat{e}^T P_1 \dot{\hat{e}} + \frac{1}{2} \dot{\tilde{e}}^T P_2 \tilde{e} + \frac{1}{2} \tilde{e}^T P_2 \dot{\tilde{e}} + \frac{1}{r_1} \hat{\theta}_f^T \dot{\theta}_f + \frac{1}{r_2} \hat{\theta}_g^T \dot{\theta}_g \quad (20)$$

将式(7)和(14)代入上式,得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \frac{1}{2} \dot{\hat{e}}^T [(A - BK_c^T)^T P_1 + P_1 (A - BK_c^T)] \hat{e} + \hat{e}^T P_1 K_0 C^T \tilde{e} + \tilde{e}^T P_2 B u_s + \\ & \frac{1}{2} \dot{\tilde{e}}^T [(A - K_0 C^T)^T P_2 + P_2 (A - K_0 C^T)] \tilde{e} + \tilde{e}^T P_2 B_c u_a + \tilde{e}^T P_2 B w_1 + \\ & \tilde{e}^T P_2 B \hat{\theta}_f^T \Psi(\hat{x}) + \tilde{e}^T P_2 B \hat{\theta}_g^T \Psi(\hat{x}) u + \\ & \frac{1}{r_1} \dot{\theta}_f^T \hat{\theta}_f + \frac{1}{r_2} \dot{\theta}_g^T \hat{\theta}_g \end{aligned} \quad (21)$$

将式(18)代入上式,得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \frac{1}{2} \dot{\hat{e}}^T [(A - BK_c^T)^T P_1 + P_1 (A - BK_c^T)] \hat{e} + \hat{e}^T P_1 K_0 C^T \tilde{e} - \tilde{e}^T P_2 B K_0^T P_1 \hat{e} + \\ & \frac{1}{2} \dot{\tilde{e}}^T [(A - K_0 C^T)^T P_2 + P_2 (A - K_0 C^T)] \tilde{e} - \frac{2}{r} P_2 B B^T P_2 + CC^T \tilde{e} + \\ & \tilde{e}^T P_2 B w_1 \end{aligned} \quad (22)$$

根据方程(21)和(22),进一步得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \frac{1}{2} \hat{e}^T Q_1 \hat{e} - \frac{1}{2} \tilde{e}^T Q_2 \tilde{e} + \frac{1}{2} \rho^2 w_1^2 - \\ & \frac{1}{2} (\frac{1}{\rho} B^T P_2 \tilde{e} - \beta w_1)^T (\frac{1}{\rho} B^T P_2 \tilde{e} - \beta w_1) \end{aligned} \quad (23)$$

令  $Q = \text{diag}[Q_1, Q_2]$ ,  $E^T = [\hat{e}^T, \tilde{e}^T]$ , 则上式可变为

$$\dot{V} = \frac{1}{2} E^T Q E + \frac{1}{2} \rho^2 w_1^2 \quad (24)$$

因为  $w_1 \in L_2$ , 与文献[1, 3]证明相类似, 可得出  $\hat{e}, \hat{x}, x, u \in L_2$ ,  $\lim_{t \rightarrow \infty} \hat{e} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{e} = 0$ , 进而推出  $\lim_{t \rightarrow \infty} \hat{e}_1 = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} \tilde{e} = 0$

由积分方程(24)得

$$V(T) - V(0)$$

$$- \frac{1}{2} \int_0^T E^T Q E dt + \frac{1}{2} \rho^2 \int_0^T w_1^2 dt \quad (25)$$

因为  $V(T) = 0$ , 上式等价于

$$\begin{aligned} & \frac{1}{2} \int_0^T E^T Q E dt \\ & \frac{1}{2} E^T(0) P E(0) + \frac{1}{2r_1} \hat{\theta}_f^T(0) \hat{\theta}_f(0) + \\ & \frac{1}{2r_2} \hat{\theta}_g^T(0) \hat{\theta}_g(0) + \frac{1}{2} \rho^2 \int_0^T w_1^2 dt \end{aligned} \quad (26)$$

因此, 系统获得H跟踪性能指标

$$\begin{aligned} \dot{\theta}_f = & \begin{cases} -r_1 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} \\ \theta_f & \Omega_1 \text{ or } \theta_f \in \Omega_1, \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} = 0 \\ P_1 [-r_1 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e}], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (27) \\ \dot{\theta}_g = & \begin{cases} -r_2 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} u \\ \theta_g & \Omega_2 \text{ or } \theta_g \in \Omega_2, \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} u = 0 \\ P_2 [-r_2 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} u], & \text{otherwise} \end{cases} \quad (28) \end{aligned}$$

其中

$$\begin{aligned} P_1 [-r_1 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e}] = & -r_1 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} + r_1 \frac{\tilde{e}^T P_2 B \Psi(\hat{x})}{\theta_f} \theta_f \\ P_2 [-r_2 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} u] = & -r_2 \Psi(\hat{x}) B^T P_2 \tilde{e} u + r_2 \frac{\tilde{e}^T P_2 B \Psi(\hat{x}) u}{\theta_g} \theta_g \end{aligned}$$

模糊间接自适应控制方案的总体框图如图1所示

示

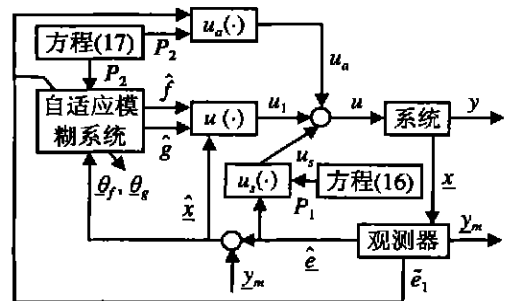


图1 模糊间接自适应控制方案

## 4 仿真研究

考虑倒立摆的平衡控制问题, 其动态方程如下<sup>[2]</sup>

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} (f + gu + d)$$

$$y = [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_1 \\ x_2 \end{bmatrix}$$

其中

$$f = \frac{m l x_2 \sin x_1 \cos x_1 - (M + m) g \sin x_1}{m l \cos^2 x_1 - \frac{4}{3} l (M + m)}$$

$$g = \frac{-\cos x_1}{m l \cos^2 x_1 - \frac{4}{3} l (M + m)}$$

$$l = 0.5 \text{ m}, \quad m = 0.1 \text{ kg}, \quad M = 1 \text{ kg}$$

$$g = 9.8 \text{ m/s}^2, \quad d(t) = 2 \sin(\pi t/3)$$

给定  $y_m = \frac{\pi}{30} \sin t$ ,  $K_c^T = [100, 10]$ ,  $K_0^T = [40, 700]$ 。选取隶属函数

$$\mu_{F_1^1}(x_i) = \frac{1}{1 + \exp[5(x_i + 0.6)]}$$

$$\mu_{F_1^2}(x_i) = \exp[-(x_i + 0.4)^2]$$

$$\mu_{F_1^3}(x_i) = \exp[-(x_i + 0.2)^2]$$

$$\mu_{F_1^4}(x_i) = \exp[-x_i^2]$$

$$\mu_{F_1^5}(x_i) = \exp[-(x_i - 0.2)^2]$$

$$\mu_{F_1^6}(x_i) = \exp[-(x_i + 0.4)^2]$$

$$\mu_{F_1^7}(x_i) = \frac{1}{1 + \exp[-5(x_i + 0.6)]}$$

定义模糊推理规则为

$$R^{(j)}: \text{If } x_1 \text{ is } F_1^j \text{ and } x_2 \text{ is } F_2^j$$

$$\text{Then } y \text{ is } G^j, \quad j = 1, 2, \dots, 7$$

则

$$D = \prod_{j=1}^7 \prod_{i=1}^2 \mu_{F_i^j}(x_i)$$

$$\Psi(x) = [(\mu_{F_1^1} \mu_{F_2^1})/D, \dots, (\mu_{F_1^7} \mu_{F_2^7})/D]^T$$

$$\Theta = [\theta_1, \dots, \theta_7]^T, \quad \Theta_0 = [\theta_{01}, \dots, \theta_{07}]^T$$

从而获得模糊逻辑系统

$$\hat{f}(x | \Theta) = \mathfrak{F} \Psi(x), \quad \hat{g}(x | \Theta) = \mathfrak{G} \Psi(x)$$

给定  $\rho = 0.1, r = 26$ , 解方程(16)和(17), 得

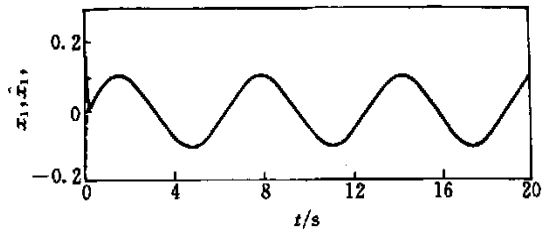
$$P_1 = \begin{bmatrix} 51 & 0.05 \\ 0.05 & 0.504 \end{bmatrix}, \quad P_2 = \begin{bmatrix} 74 & -5 \\ -5 & 0.46 \end{bmatrix}$$

选择自适应增益  $r_1 = 70, r_2 = 0.5$ 。初始条件为

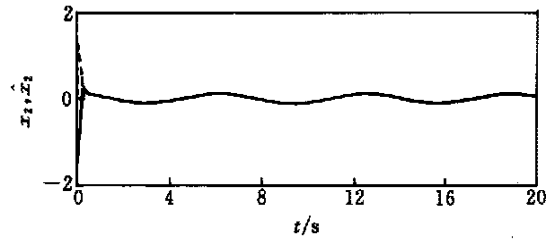
$$x_1(0) = x_2(0) = 0.2, \hat{x}_1(0) = \hat{x}_2(0) = 1.5, \Theta(0)$$

$$= 0, \Theta_0(0) = 0.2 I_{7 \times 6}$$

仿真结果分别如图 2~ 图 4 所示。

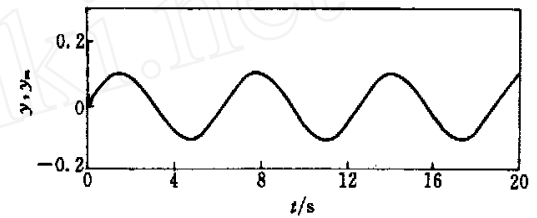


(a) 状态  $x_1$  及其估计  $\hat{x}_1$

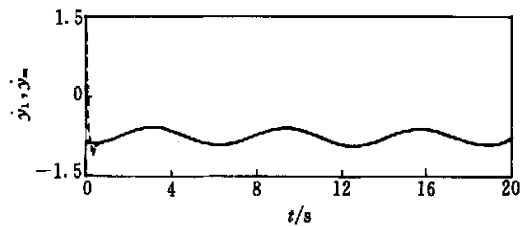


(b) 状态  $x_2$  及其估计  $\hat{x}_2$

图 2 系统状态及其估计



(a) 系统输出  $y$  及跟踪信号  $y_m$



(b) 系统输出的导数及  $y_1$  和  $y_m$

图 3 系统输出及跟踪信号

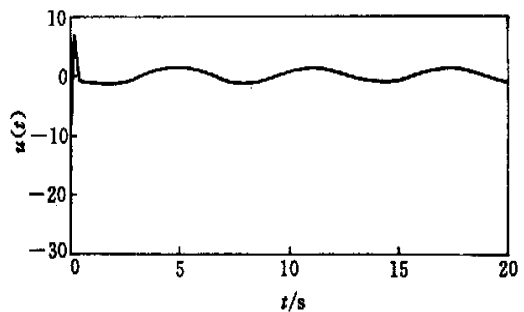


图 4 仿真控制曲线

## 5 结 论

本文针对一类单输入单输出不确定系统,提出一种基于观测器的模糊间接自适应控制算法。该算法不但能保证闭环系统的稳定性,而且可改进目前模糊自适应控制算法中需要系统的状态必须可测的条件。倒立摆平衡控制的仿真结果表明了所提出方法的实用性和有效性。

### 参考文献(References):

- [1] L X Wang Stable adaptive fuzzy control of nonlinear systems[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 1993, 1: 146-155
- [2] L X Wang *Adaptive Fuzzy Systems and Control: Design and Stability Analysis* [M]. Englewood Cliffs: Prentice-Hall, 1994

- [3] B S Chen, C H Lee, Y C Chang H tracking design of uncertain nonlinear SISO system: A adaptive fuzzy approach[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 1996, 4(1): 32-43
- [4] J T Spooner, K M Passino Stable adaptive control of a class of nonlinear systems and neural network [J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 1996, 4(4): 339-359
- [5] C Y Sue, Y Stepanenko. Adaptive control of a class of nonlinear systems with fuzzy logic[J]. *IEEE Trans on Fuzzy Systems*, 1994, 2(2): 285-294
- [6] T Y Chai, S C Tong Fuzzy direct adaptive control for a class of nonlinear systems[J]. *Fuzzy Sets & Systems*, 1999, 103: 379-389

## 第 14 届中国控制与决策学术年会在郑州召开

本刊讯 2002 中国控制与决策学术年会(14 th CDC), 于 2002 年 5 月 13 日至 16 日在河南省郑州市召开。来自国内部分高等院校、科研机构和企事业单位的 120 多位专家和学者,参加了本届年会的交流与研讨。

5 月 13 日上午举行了大会开幕式。CDC 年会程序委员会主任委员、中国科学院院士张嗣瀛教授致开幕辞,他回顾了 CDC 年会创办 14 年来的发展历程和取得的成绩,并且分析了本届年会的几个突出特点。CDC 年会组织委员会主任委员、解放军信息工程大学信息工程学院芦康俊副院长致欢迎辞; CDC 年会组织委员会主任委员、河南省自动化学会凌德麟理事长讲话, CDC 年会程序委员会委员霍伟教授代表中国航空学会自动控制分会致贺辞。

开幕式后举行了大会学术报告会。本届年会邀请了 7 位著名专家学者做专题学术报告,报告人及报告题目分别是:南京理工大学郭治教授:泛论控制工程对控制理论的需求;上海交通大学王浣尘教授:枚系统与复杂性;国家自然科学基金委员会王成红副教授:我国工业过程中自动化领域里的若干基础问题;郑州工业高等专科学校校长张元教授:河南省自动控制研究发展状况;西安交通大学韩崇昭教授:多传感器信息融合与自动化;东北大学汪定伟教授:敏捷制造中的决策优化问题;中南大学文敦伟博士生代表蔡自兴教授:未知环境中移动机器人导航控制的若干问题。这些报告从不同方面分别介绍了新

的学科、最新研究成果和未来发展趋势,受到与会代表的普遍欢迎。

会议期间发行了《2002 中国控制与决策学术年会论文集》。本届年会论文集共收入各方面来稿 222 篇,由《控制与决策》编辑部编辑,东北大学出版社出版。在分组交流中,代表们宣读了各自的论文,介绍了具体工作情况,并且回答了其他代表提出的问题。对于不同的学术观点,大家也都开诚布公地发表了各自的见解。整个交流活动进行得热烈而有序,充满了浓厚的学术气氛。

在广泛交流和深入研讨的基础上,经过民主评选、专家评议和评优领导小组审核,本届年会共评选出 10 篇优秀学术论文。评选的优秀论文作者代表是:福州大学郑应文教授,青岛海洋大学高存臣教授,中原工学院王东云副教授,汕头大学李昇平副教授,沈阳大学赵中奇副教授,南京理工大学向峥嵘副教授,清华大学姜偕富博士后,中科院系统科学研究所宋金来博士,华东理工大学范文兵博士,河南大学闫丽萍硕士。

第 14 届中国控制与决策学术年会由《控制与决策》编委会、中国航空学会自动控制分会、中国自动化学会应用专业委员会、中国运筹学会决策理论及应用专业委员会、中国兵工学会自动控制专业委员会联合主办;解放军信息工程大学信息工程学院、中原工学院、郑州工业高等专科学校、郑州轻工业学院、郑州大学、河南省自动化学会联合承办。