

非线性不确定系统的鲁棒镇定与非线性 H^∞ 控制*

王连圭

(中山学院电子系, 广东 中山 528403)

摘要: 研究一类非线性不确定系统的局部鲁棒镇定, 提出了不确定系统的 Lyapunov 型可镇定的鲁棒性概念. 在不确定项满足模有界结构条件下, 对控制矩阵的不确定性分2种情况, 分别从 H^∞ 控制和微分几何角度, 给出了非线性 H^∞ 控制与非线性系统 Lyapunov 型可镇定的充分条件.

关键词: 非线性系统; 不确定性; 模有界条件; Lyapunov 型可镇定; 鲁棒性

中图分类号: TP271; TP273 **文献标识码:** A **文章编号:** 0529-6579 (2001) 05-0016-05

非线性不确定系统的鲁棒镇定, 在过去的十多年里得到了极大的发展, 并且一直是控制理论界和实际工程界深受重视的研究问题之一^[1~7]. 对于线性系统, 文 [7] 提出了二次型可镇定性, 将带有时变线性不确定系统的鲁棒性与代数 Riccati 方程的正解存在性联系在一起. 从而在时变线性不确定系统的鲁棒性与线性时不变系统的最优控制理论之间建立了联系. 在线性有界模条件下, 文 [8] 进一步讨论了线性系统的鲁棒 H^∞ 控制问题. 对于非线性系统, 在匹配条件 (或广义匹配条件) 之下, 非线性系统的鲁棒控制设计一般只得到连续的控制规律. 鲁棒镇定的含义只是使闭环系统达到实际稳定 (practical stability) 和最终有界 (ultimate boundedness)^[1~3,5]. 在非线性模有界条件下, 文 [6] 将非线性 H^∞ 控制方法引入到非线性不确定系统的鲁棒性讨论中, 这时的鲁棒镇定含义尽管只是局部的但可使闭环系统渐近趋于平衡点. 本文将在非线性模有界条件下, 提出非线性不确定系统的 Lyapunov 型可镇定性概念, 并在此鲁棒镇定意义下, 对控制矩阵中的不确定性分二种情形给出了系统 Lyapunov 型可镇定的充分条件.

1 非线性不确定动态系统

考虑如下非线性不确定动态系统:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= f(x) + g(x)u + \\ &\Delta f(x, t) + \Delta g(x, t)u \end{aligned} \quad (1)$$

其中, $x \in \mathbf{R}^n$ 为系统状态, $u \in \mathbf{R}^m$ 为系统控制输入, $f: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^n$, $g: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^{n \times m}$ 为 Lipschitz 连续

的向量或矩阵函数;

$$\Delta f: \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}^n, \Delta g: \mathbf{R}^n \times \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}^{n \times m}$$

为关于 t 是 Lebesgue 可测的关于 x 为 Lipschitz 连续的向量或矩阵函数.

$$\mathbf{R}^+ \triangleq [0, +\infty)$$

不失一般性可设原点为系统 (1) 的一个孤立平衡点, 即

$$f(0) = 0, \Delta f(0, t) \equiv 0, \forall t \in \mathbf{R}^+$$

且存在原点的邻域 W 使 $f(x) \neq 0$, $\Delta f(x, t) \neq 0$, $\forall 0 \neq x \in W, t \in \mathbf{R}^+$.

本文假设 Δf , Δg 满足如下非线性模有界结构条件:

$$\begin{aligned} (\Delta f \Delta g)(x, t) &= \\ L(x)F(x, t)(E_1 E_2)(x) \end{aligned} \quad (2)$$

其中, $L(x)$, $E_1(x)$, $E_2(x)$ 分别为具有适当维数的 Lipschitz 连续的已知向量或矩阵函数且 $E_1(0) = 0$. $F(\cdot)$ 为具有适当维数的未知矩阵函数, 满足:

$$F(\cdot) \in M = \{F(\cdot) : F(\cdot)F^T \leq I,$$

$$F \text{ 的每个元素均是 Lebesgue 可测的}\} \quad (3)$$

定义 1 系统 (1) 的自由动态 ($u = 0$) 称为 Lyapunov 型稳定的, 如果存在可微的正定函数 $V(x)$, 使得对任意允许的 Δf 有:

$$\frac{\partial V}{\partial x}(f + \Delta f) \leq -c(|x|)$$

成立. 其中 $c \in \kappa$, 即 $c(0) = 0$, $c(s)$ 为 $\mathbf{R}^+$ 上严格单调增加的连续函数.

系统 (1) 称为是 Lyapunov 型状态反馈可镇定

* 基金项目: 国家自然科学基金资助项目 (6904003); 国家攀登计划资助项目 (970211017)

收稿日期: 2000-09-20; 作者简介: 王连圭 (1953-), 男, 副教授.

的, 如果存在 $\alpha: \mathbf{R}^n \rightarrow \mathbf{R}^m$, 使当 $u = \alpha$ 时, 闭环系统(1) 是 Lyapunov 型稳定的.

注 1 由于一般来说 $\Delta f, \Delta g$ 是时变的, 作为时变系统, 这里定义的 Lyapunov 型稳定的概念强于 Lyapunov 意义下的一致渐近稳定或一致渐近可镇定概念. 对线性系统而言, Lyapunov 型可镇定性就是文[7] 中提出的二次型可镇定性.

本文的目的就是在条件(2) 之下寻求合适的条件, 使系统(1) 是 Lyapunov 型状态反馈可镇定的.

2 鲁棒镇定

以下将对控制矩阵中的不确定性分 2 种情况对系统进行鲁棒性分析:

记 $\epsilon = \text{Span}\{E_2(x)\}$, 即 ϵ 为由 E_2 的列向量张成的分布.

情形 1 存在原点的邻域 W 使 ϵ 在 W 上是非奇的对合分布.

情形 2 情形 1 不成立.

注 2 情形 1 代表了不确定结构中, 控制矩阵的正则性质. 正则性条件在非线形控制系统中起着重要的作用, 参见文[9]. 在线性系统的几何理论中, 正则性条件是自然满足的.

2.1 情形 1

设 $\forall x \in W, \dim(E_2(x)) = d = \text{const.}$ 显然, $d \leq m$. 根据 ϵ 的非奇对合性知, 可选取 $\Sigma_2(x) \in \mathbf{R}^{d \times m}$ 使 $\dim(\Sigma_2(x)) = d$, 分布 $\text{Span}\{\Sigma_2(x)\}$ 是非奇对合的且 $E_2^T \Sigma_2 = E_2^T E_2$.

根据 Frobenius 定理, 存在

$$\phi = (\phi_1^T \cdots \phi_{m-d}^T)^T \in \mathbf{R}^{(m-d) \times m}$$

使 $\phi \Sigma_2^T = 0, \phi \phi^T = I_{m-d}$ (如果 $d = m$, 则 $\phi = 0$). 记 $\Sigma = \Sigma_2^T (\Sigma_2 \Sigma_2^T)^{-1} \Sigma_2(x)$. 显然, 如果 $d = 0$, 即 $E_2 = 0$, 则有 $\Sigma_2 = 0, \phi = I_m$ 且 $\Sigma = 0$; 如果 $d = m$, 即 $E_2^T E_2$ 可逆, Σ_2 为可逆方阵, 则 $\Sigma = (\Sigma_2^T \Sigma_2)^{-1} = (E_2^T E_2)^{-1}, \phi = 0$. 于是有:

定理 1 如果存在 $\epsilon > 0, \sigma > 0$, 以及连续可微的正定函数 $V(x)$, 当 $x \neq 0$ 使

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\epsilon^2}{4} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial V}{\partial x} + \epsilon^{-2} E_1^T E_1 - \\ \frac{1}{4} h^T \Sigma h - \sigma \frac{\partial V}{\partial x} g \phi^T \phi g^T \frac{\partial V}{\partial x} < 0 \end{aligned} \quad (4)$$

其中, $h^T = \frac{\partial V}{\partial x} g + 2\epsilon^{-2} E_1^T E_2$, 则(1) 是 Lyapunov 型状态反馈可镇定的. 如果(4) 成立, 则状态反馈

$$\text{控制规律可取为 } u = \alpha = -\frac{\epsilon^2}{2} \Sigma h - \sigma \phi^T \phi g^T \frac{\partial V}{\partial x}.$$

为证明定理需要如下引理:

引理 1 设 $a: \mathbf{R}^+ \rightarrow \mathbf{R}^+, a(0) = 0, a(s) > 0, s > 0$, 任意单调非减的连续函数, 则存在 $c \in \kappa$ 使 $a(s) \geq c(s), s \geq 0$.

证明 取 $\bar{c}(s) = \frac{sa(s)}{s+a(s)}, s > 0$, 则因为 $a(s) > 0, s > 0$, 故 $\bar{c}(s) \leq a(s), s > 0$. 从而

$$0 \leq \lim_{s \rightarrow 0^+} \frac{sa(s)}{s+a(s)} \leq \lim_{s \rightarrow 0^+} a(s) = 0$$

又 $\forall s_1 > s_2 > 0$, 有

$$\begin{aligned} \bar{c}(s_1) - \bar{c}(s_2) &= \\ \frac{s_1 a(s_1)(s_2 + a(s_2)) - s_2 a(s_2)(s_1 + a(s_1))}{(s_1 + a(s_1))(s_2 + a(s_2))} &= \\ \frac{s_1 s_2 (a(s_1) - a(s_2)) + a(s_1) a(s_2) (s_1 - s_2)}{(s_1 + a(s_1))(s_2 + a(s_2))} &\geq \\ \frac{a(s_1) a(s_2) (s_1 - s_2)}{(s_1 + a(s_1))(s_2 + a(s_2))} &> 0 \end{aligned}$$

所以, 若令

$$c(s) = \begin{cases} \bar{c}(s) & s > 0 \\ 0 & s = 0 \end{cases}$$

则 c 为严格递增的非负连续函数, 即 $c \in \kappa$ 且 $c(s) \leq a(s), \forall s \in \mathbf{R}^+$.

引理 2 $\forall X, Y \in \mathbf{R}^p$ 以及常数 $\epsilon > 0$, 则

$$X^T \leq \frac{\epsilon^2}{4} X^T X + \frac{1}{\epsilon^2} Y^T Y$$

证明 令 $Z = \frac{\epsilon}{2} X - \frac{1}{\epsilon} Y$, 则

$$\begin{aligned} 0 \leq Z^T Z &= \left(\frac{\epsilon}{2} X - \frac{1}{\epsilon} Y\right)^T \left(\frac{\epsilon}{2} X - \frac{1}{\epsilon} Y\right) = \\ \frac{\epsilon^2}{4} X^T X - X^T Y + \frac{Y^T Y}{\epsilon^2} \end{aligned}$$

从而引理成立.

定理 2 的证明 在状态反馈 $u = \alpha(x)$ 之下, 取 $V(x)$ 为闭环(1) 的 Lyapunov 函数, 因 $F \in M$ 结合引理 2 则 V 沿闭环(1) 的导数

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\partial V}{\partial x} g \alpha + \frac{\partial V}{\partial x} (\Delta f + \Delta g \alpha) = \\ \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\partial V}{\partial x} g \alpha + \frac{\partial V}{\partial x} L F (E_1 + E_2 \alpha) &\leq \\ \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\epsilon^2}{4} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial V}{\partial x} + \epsilon^{-2} E_1^T E_1 + \\ \alpha^T E_2^T E_2 \alpha + \left(\frac{\partial V}{\partial x} g + 2\epsilon^{-2} E_1^T E_2\right) \alpha \end{aligned}$$

由 Σ_2 及 ϕ 的定义知:

$$\epsilon^{-2} \alpha^T E_2^T E_2 \alpha + \left(\frac{\partial V}{\partial x} g + 2\epsilon^{-2} E_1^T E_2\right) \alpha =$$

$$\begin{aligned} & \frac{\varepsilon^2}{4} h^T \Sigma (\Sigma_2^T \Sigma_2) \Sigma h - \frac{\varepsilon^2}{2} h^T \Sigma h - \\ & \sigma \frac{\partial^T V}{\partial x} g \phi^T g^T \frac{\partial^T V}{\partial x} = \\ & \frac{\varepsilon^2}{4} h^T \Sigma h - \sigma \frac{\partial^T V}{\partial x} g \phi^T g^T \frac{\partial^T V}{\partial x} \end{aligned}$$

故根据(4)得,当 $x \neq 0$ 时,有

$$\begin{aligned} \dot{V} & \leq \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\varepsilon^2}{4} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial^T V}{\partial x} + \varepsilon^{-2} E_1^T E_1 - \\ & \frac{\varepsilon^2}{4} h^T \Sigma h - \sigma \frac{\partial V}{\partial x} g \phi^T g^T \frac{\partial^T V}{\partial x} < 0 \quad (5) \end{aligned}$$

以下证明存在 $c \in \kappa$ 使 $\dot{V} \leq -c(|x|)$.

令(5)式的严格不等式左端为 $a(x)$,即 $\dot{V} \leq a(x) < 0$,当 $x \neq 0$.显然, $a(0) = 0$,取 $b(s) = \inf\{-a(x) : |x| \geq s\}$,则 b 为单调非减的连续函数且 $b(0) = 0$,根据引理2知,存在 $c \in \kappa$ 使 $b(s) \geq c(s)$,故 $-a(x) \geq b(|x|) \geq c(|x|)$,于是有 $\dot{V} \leq a(x) \leq -c(|x|)$.这就证明了系统(1)是Lyapunov型状态反馈可镇定的.

2.2 情形2

因为情形1不成立,这时 $E_2^T E_2(0)$ 可能奇异,甚至可能为零.于是本文建立方程(1)的带干扰的形式系统如下模型

$$\dot{x} = f(x) + g(x)u + \varepsilon L(x)\omega \quad (6)$$

其中, ω 为辅助的干扰输入, $\varepsilon > 0$ 为设计参数.现考虑模型(6)在指标

$$\begin{aligned} I & = \int_0^{+\infty} [\varepsilon^{-2}(E_1^T E_1 + 2E_1^T E_2 u) + \\ & u^T(I_m + \varepsilon^{-2}E_2^T E_2)u - \gamma^2 \omega^T \omega] dt \end{aligned}$$

下的最优控制,同时又要求其能抑制干扰信号 ω ,这里 $\gamma > 0$ 为干扰抑制常数.若取系统(6)的Hamilton函数为

$$\begin{aligned} H(x, u, \omega, \lambda) & = \varepsilon^{-2}(E_1^T E_1 + 2E_1^T E_2 u) + \\ & u^T(I_m + \varepsilon^{-2}E_2^T E_2)u - \gamma^2 \omega^T \omega + \\ & \lambda^T(f + gu + \varepsilon L\omega) \end{aligned}$$

其中, λ 为拉格朗日乘子.则显然,如果存在最优控制 u^* ,则应有 $\frac{\partial H}{\partial u} \Big|_{u=u^*} = 0$.由方程

$$\frac{\partial H}{\partial u} = 2\varepsilon^{-2}E_1^T E_1 +$$

$$2u^T(I_m + \varepsilon^{-2}E_2^T E_2) + \lambda^T g(x) = 0$$

知,惟一可能的最优控制为

$$u^* = -\frac{1}{2} R_\varepsilon^{-1} (2\varepsilon^{-2} E_1^T E_2 + \lambda^T g)^T(x),$$

$$R_\varepsilon = I_m + \varepsilon^{-2} E_2^T E_2$$

同时看到,若此控制能抑制干扰 ω ,则对“最

坏”可能的干扰 ω^* 也应能抑制,而 ω^* 应满足

$$\frac{\partial H}{\partial \omega} \Big|_{\omega=\omega^*} = 0. \text{ 于是由}$$

$$\frac{\partial H}{\partial \omega} = -2\gamma^2 \omega^T + \lambda^T L(x) \omega^* = \frac{\varepsilon}{\gamma^2} L^T(x) \lambda$$

由此得以下定理3.

定理3 设条件(2)成立.如果存在常数 $\varepsilon > 0, \gamma > 0$,原点的邻域 W 以及 W 上的连续可微正定函数 $V(x)$ 使

$$H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) < 0, \forall x \in W, x \neq 0$$

成立,则当 $\gamma \leq 1$ 时,系统(1)是状态反馈 Lyapunov 型可镇定的,这时状态反馈控制可取为

$$u = u^* = -\frac{1}{2} R_\varepsilon^{-1} (2\varepsilon^{-2} E_1^T E_2 + \frac{\partial V}{\partial x} g)^T(x)$$

证明 由 V 的正定性,在状态反馈 $u = u^*$ 之下,取 V 为闭环(1)的Lyapunov函数,则由 F 的性质知, V 沿闭环(1)的导数

$$\dot{V} = \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\partial V}{\partial x} g u^* + \frac{\partial V}{\partial x} (\Delta f + \Delta g u^*) =$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\partial V}{\partial x} g u^* + \frac{\partial V}{\partial x} L F(E_1 + E_2 u^*) \leq$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\partial V}{\partial x} g u^* + \frac{\varepsilon^2}{4\gamma^2} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial^T V}{\partial x} +$$

$$\gamma^2 \varepsilon^{-2} (E_1 + E_2 u^*)^T (E_1 + E_2 u^*) =$$

$$\frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\varepsilon^2}{4\gamma^2} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial^T V}{\partial x} +$$

$$\left(\frac{\partial V}{\partial x} g + 2\varepsilon^{-2} E_1^T E_2 \right) u^* +$$

$$u^{*T} (I_m + \varepsilon^{-2} E_2^T E_2) u^* +$$

$$\varepsilon^{-2} E_1^T E_1 - u^{*T} u^* + (\gamma^2 - 1) \eta^T \eta$$

其中, $\eta = \varepsilon^{-1} (E_1 + E_2 u^*)$

若记 $h^T = \frac{\partial V}{\partial x} g + 2\varepsilon^{-2} E_1^T E_2$,则由 $\gamma \leq 1$ 得

$$\dot{V} \leq \frac{\partial V}{\partial x} f + \varepsilon^{-2} E_1^T E_1 + \frac{\varepsilon^2}{4\gamma^2} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial^T V}{\partial x} -$$

$$\frac{\varepsilon^2}{4} h^T R_\varepsilon^{-1} h^T - u^{*T} u^* =$$

$$H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) - u^{*T} u^*$$

故由定理条件知,当 $x \neq 0$ 时有

$$\dot{V} \leq H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) - u^{*T} u^* \leq$$

$$H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) < 0$$

令

$$a(s) = \inf\{-H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) : |x| \geq s\}$$

则 $a(s)$ 为非负单调非减的连续函数且 $a(0) = 0$. 根据引理1知, 存在 $c \in \kappa$ 使 $c(s) \leq a(s)$, $\forall s \geq 0$, 即

$$\dot{V} \leq H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) \leq -a(|x|) \leq -c(|x|)$$

即闭环(1)为 Lyapunov 型状态反馈可镇定的.

注2 由以上结果可以看出, 所给出的条件依赖于一定的 HJI 微分不等式正解的存在性. 但对给定的 $c \in \kappa$ 各定理的条件可认为需要分别求解如下 HJI 方程的正定解 $V(x)$

$$H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) + c(|x|) = 0 \quad (7)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial V}{\partial x} f + \frac{\epsilon^2}{4} \frac{\partial V}{\partial x} L L^T \frac{\partial V}{\partial x} + \epsilon^{-2} E_1^T E_1 - \\ \frac{1}{4} h^T \Sigma h - \sigma \frac{\partial V}{\partial x} g \phi^T \phi g^T \frac{\partial V}{\partial x} + c(|x|) = 0 \end{aligned} \quad (8)$$

因此, 本文的结果给出了 Lyapunov 型可镇定性 with HJI 方程正定解存在性的关系.

显然, 求解 HJI 微分不等式

$$H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) < 0, \forall x \in W, x \neq 0$$

或(4)的正解比求解上述 HJI 方程(7)或(8)正解的条件要宽松一些.

例1 考虑如下二维非线性不确定系统:

$$\begin{aligned} \dot{x} &= y - x^3 - \frac{1}{2} b(t) x^2 y + \\ &\quad \frac{1}{2} (-b(t) y + a(t) x) y u, \\ \dot{y} &= -x + \frac{1}{2} x^2 y + b(t) x^3 + \\ &\quad 2xu + (b(t) y - a(t) x) xu \end{aligned} \quad (9)$$

其中, $a^2(t) + b^2(t) \leq 1$, a, b 代表系统时变不确定因素, 对应于系统(1)有

$$\begin{aligned} f &= \begin{bmatrix} y - x^3 \\ -x + \frac{1}{2} x^2 y \end{bmatrix}, g = \begin{pmatrix} 0 \\ 2x \end{pmatrix}, \\ \Delta f &= \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} x^2 y \\ x^3 \end{bmatrix} b(t), \Delta g = \begin{bmatrix} \frac{1}{2} (axy - by^2) \\ bxy - ax^2 \end{bmatrix} \end{aligned}$$

对应于方程(2)有:

$$L_1 = \begin{bmatrix} -\frac{1}{2} y \\ x \end{bmatrix}, E_1 = \begin{pmatrix} 0 \\ x^2 \end{pmatrix},$$

$$E_2 = \begin{pmatrix} -x \\ y \end{pmatrix}, F = (a, b)$$

取 $\epsilon = 1, 3/4 \leq \gamma \leq 1, V = (x^2 + y^2)/2$, 那么对于 $0 < \sqrt{x^2 + y^2} \leq \gamma \leq 2/11$, 有 $H(x, u^*, \omega^*, \frac{\partial V}{\partial x}) < 0$. 由定理3可知, 系统(9)是状态 Lyapunov 型可镇定的.

3 结束语

本文考虑非线性不确定系统的 Lyapunov 型状态反馈可镇定性. 在模有界结构条件下, 对控制矩阵中的不确定性分2种情况进行了研究. 分别从非线性 H^∞ 控制的角度和微分几何方法, 给出了非线性 H^∞ 控制与非线性系统 Lyapunov 型状态反馈可镇定的充分条件. 最后用一个例子说明所得结果.

参考文献:

- [1] GUTMAN S. Uncertain dynamical systems — A Lyapunov min-max approach[J]. IEEE Trans, 1979, 24(2): 437 – 443.
- [2] CORLESS M J, LETTMANN G. Continuous state feedback guaranteeing uniform ultimate boundedness for uncertain dynamical systems[J]. IEEE Trans, 1981, 26(5): 1139 – 1144.
- [3] CHEN Y H. A new matching condition for robust control design[M]. San Francisco: Procol ACC, 1993. 122 – 126.
- [4] XIE L, de SOUZA C E. Robust control of a class of uncertain nonlinear systems[J]. Syst & Contr Lett, 1992, 19(1): 139 – 149.
- [5] FEI S, FENG C B. The robust stabilization for nonlinear uncertain systems and H-J-I differential inequality[J]. Proc of CDC, 2001, (5): 12 – 18.
- [6] 费树岷, 高为炳. 非线性不确定系统的鲁棒镇定[J]. 航空学报, 1996, 17(1): 107 – 111.
- [7] 费树岷. 非线性不确定系统鲁棒镇定的 H^∞ 方法[J]. 控制与决策, 1995, 10(5): 390 – 394.
- [8] KHARGONEGAR P P, PETERSENT I R, ZHOU K. Robust stabilization of uncertain linear systems: Quadratic stabilizability and H^∞ control theory[J]. IEEE Trans Auto Contr, 1990, 35(2): 356 – 361.
- [9] XIE L, de SOUZA C E. Robust H^∞ control for linear systems with norm-bounded time-varying uncertainty[J]. IEEE Trans 1992, 37: 1188 – 1191.

The Robust Stabilization of Nonlinear Uncertain Systems and Nonlinear H^∞ Control

WANG Lian-gui

(Department of Electronics, Zhongshan College, Zhongshan Guangdong 528403, China)

Abstract: The local robust stabilization for a class of nonlinear uncertain systems is considered. The robustness concept of Lyapunov-type stabilizability for Lyapunov-type is defined. Under the uncertainty satisfying structured condition of norm-bounded, two cases for uncertainty in control matrix are taken to discuss Lyapunov-type stabilizability of systems. The sufficient conditions of Lyapunov-type stabilizability are given respectively from points of view of nonlinear H^∞ control and from the differential geometry.

Keywords: nonlinear system; uncertainty; norm-bounded condition; Lyapunov-type stabilization; robustness

·简 讯·

内容更新、结构更完善、更具实用性 ——《生物无机化学导论》(第二版)评介

生物无机化学是介于生物化学与无机化学之间、正在蓬勃发展的年轻的边缘学科。

我国的生物无机化学研究虽然起步稍晚,但在研究人员的不懈努力下,正紧跟世界的先进水平,使该学科成为有我国自己特色和优势的学科。中山大学计亮年教授近 20 年来一直从事这个学科的研究,是我国生物无机化学研究领域较有影响的著名学者之一。1992 年由他主持编著的《生物无机化学导论》,是一本“有中国特色的、比较系统的”生物无机化学教材,它的出版,填补了当时生物无机化学教材的空白(参见中国科学院院士王夔为本书所写的序)。该书出版后受到同行专家学者的肯定和广大读者的好评。不少高校和科研单位把它选作本科生和研究生的教材或教学参考书,曾被众多同行的研究论文和著作所引用。1995 年,在国家教委组织的第三届全国高校优秀教材评奖中,本书荣获全国高校优秀教材二等奖。

在本书第一版出版以来的 9 年间,生物无机化学又取得了令人瞩目的发展。为了适应教学的要求和保持教材的先进性,作者最近对原书作了认真的修订。修订后的《生物无机化学导论》(第二版)由中山大学出版社出版,于 2001 年 9 月份与读者见面。作者除了对书中原来认识还不完全的内容,以目前正被普遍接受的研究新成果取代之外,着重把国内外在生物无机化学各研究领域的最新研究成果反映到书中的各章节之中,使教材更能体现该学科的时代发展的特点;此外,在修订时作者增加了“应用生物无机化学的若干研究领域”一章,着重介绍了无机药物化学等应用生物无机化学较活跃的研究领域,希望以此引起读者对应用生物无机化学的关注。《生物无机化学导论》(第二版)(定价:29.80 元),内容更加新颖,结构更加完善,且更具实用性。

本书适合作大学本科、研究生教材或教学参考书,也可供化学、生命科学等自然科学工作者学习、参考。

(徐镜昌)