带有不确定参数的线性时滞系统的强鲁棒 H_∞ -控制: LMI 方法*

陆国平

(南通工学院自动化系·江苏南通, 226007)

郑毓蕃

(华东师范大学系统科学研究所·上海, 200062) (香港城市大学电子工程系·香港)

杨林发

TP13

0231

摘要: 利用线性矩阵不等式(LMI)方法讨论了带有不确定参数,而且被调输出含时滞状态和干扰输入的线性时滞系统的强鲁棒 H_∞ -控制问题,得到了这类系统强鲁棒 H_∞ -控制问题有解的充分必要条件,并且相应给出所有可参数化无记忆强鲁棒 H_∞ -控制器的设计。

关键词: 线性时滞系统; 线性矩阵不等式; 不确定参数; 强鲁棒控制; H_∞ -控制

文献标识码: A

LMI方法

Strong Robust H_∞ -Control for Linear Systems with Time-Delay and Uncertainties: LMI Approach

LU Guoping

(Department of Automatic Control, Nantong Institute of Technology, Jiangsu Nantong, 226007, P. R. China)

ZHENG Yufan

(Institute of Systems Science, East-China Normal University, Shanghai, 200062, P. R. China)

L. F. Yeung

(Department of Electronic Engineering, City University of Hong Kong, Kowloon, Hong Kong)

Abstract: This paper focuses on the problem of strong robust H_∞ -control design for linear systems with time-delay and uncertainties. The necessary and sufficient conditions for the existence of the state feedback robust H_∞ -controllers such that the closed-loop systems have strong H_∞ -performance are obtained in terms of linear matrix inequalities (LMIs). The results can be regarded as extensions of existing results on (or robust) H_∞ control of linear (or time-delay) systems.

Key words: linear time-delay system; uncertainty; linear matrix inequality; strong robust control; H_∞ -control

1 引言(Introduction)

随着线性系统 H_∞ -控制问题的研究已日益完善,人们对线性时滞系统 H_∞ -控制问题的讨论已愈感兴趣,参见文献[1~4]等,这主要是在工业过程控制中一般的系统都含有时滞,并且其研究方法与线性系统不完全相同.文献[4]利用代数 Riccati 不等式方法刻画了线性单时滞系统的具有 H_∞ - (准优化)特性(简记为 H_∞ -SP)的状态空间特征.在文献[4]的基础上,文献[1~3]等分别讨论了线性时滞系统的 H_∞ -控制问题,但所有讨论的系统中被调输出(controlled output)不含有时滞状态以及干扰输入,这在实际控制系统中不具有一般性,并且所有的讨论方法最终都归结到代数 Riccati 方程(或不等式)的求

解问题,这样,对于系统带有某些约束条件的情形,给控制器的设计带来了困难.

本文利用 LMI 方法(参见文献[5])讨论了含有不确定参数的线性时滞系统的 H_∞ -控制问题,其中被调输出含有时滞状态以及干扰输入.利用 LMI 方法给出了这类系统具有 H_∞ -特性的充分条件,并且说明了文献[4]的主要结果可以看作本文的一个特例.其次讨论了带有匹配条件的不确定线性时滞系统的鲁棒 H_∞ -控制问题,通过引入强鲁棒 H_∞ -特性(H_∞ -SSRP)这一概念,进一步得到了这类系统存在无记忆强鲁棒 H_∞ -状态反馈控制律的充分必要条件,并且相应给出控制器的设计方法.

本文采用以下记号: $A \geq B (A > B)$ 表示 $A-B$ 为半正定矩阵(正定阵),其中 A 和 B 为同阶对称矩

* 基金项目:国家自然科学基金(69674007)和江苏省教委高校科研基金(99KJB510001)资助项目.

收稿日期:1997-10-3;收修改稿日期:1999-3-23.

阵; 矩阵 C' 表示矩阵 C 的转置; $\lambda_{\max} D$ 表示方阵 D 的最大特征值; $^+ = |\omega; 0 \leq \omega < \infty$; $x; = x(t)$, $x_{\tau}; = x(t - \tau)$.

2 预备知识(Preliminaries)

在证明主要结果时将引用下列引理.

引理 2.1 设 $A = A' \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 且 $M = M' \in \mathbb{R}^{(m+n) \times (m+n)}$ 为

$$M = \begin{pmatrix} A & B \\ B' & C \end{pmatrix}.$$

1) $M < 0$ 的充要条件为 $C < 0$ 以及 $A - BC^{-1}B' < 0$. (参见文献[6]).

2) 若 $D \in \mathbb{R}^{n \times m}$ 以及单位阵 $I \in \mathbb{R}^{m \times m}$, 则

$$\begin{pmatrix} D' & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} M \begin{pmatrix} D & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} < 0$$

的充要条件为 $C < 0$ 以及 $D'(A - BC^{-1}B')D < 0$.

引理 2.2 (参见文献[7]) 对于任意的 $\lambda \in \mathbb{R}^+$, 皆有

$$\max\{(x'PGHx)^2 \mid G \in \mathcal{S}\} = x'P'Px x'H'Hx,$$

其中 P, H 以及 G 为适当维数的常数矩阵, $G \in \mathcal{S} = \{G; G'G \leq I\}$.

引理 2.3 (参见文献[7]) 设对称常数矩阵 $X, Y, Z \in \mathbb{R}^{n \times n}$ 满足 $X \geq 0, Y < 0$ 以及 $Z \geq 0$ 并且对所有的非零 $\zeta \in \mathbb{R}^n$ 皆有

$$(\zeta'Y\zeta)^2 - 4(\zeta'X\zeta\zeta'Z\zeta) > 0.$$

则存在一个正常数 λ 使得

$$\lambda^2 X + \lambda Y + Z < 0.$$

给定 $B \in \mathbb{R}^{m \times n}$, 其中 $m \leq n$, 且 $\text{rank} B = m$, 则存在零化 B 中的行向量的 $n - m$ 维向量空间 $J(B)$, 即存在 $B_{\perp} \in \mathbb{R}^{n \times (n-m)}$ 使得其列向量张成 $J(B)$, 即 $J(B) = \text{span}(B_{\perp})$.

引理 2.4 (参见文献[5]) 设 $Q = Q' \in \mathbb{R}^{m \times m}$, $U \in \mathbb{R}^{r \times m}$, 且 $\text{rank} U = r < m$, $V \in \mathbb{R}^{s \times m}$, 且 $\text{rank} V = s < m$. 则存在 $K \in \mathbb{R}^{r \times s}$ 使得

$$Q + U'K'V + V'KU < 0$$

的充要条件为

$$U'_{\perp} Q U_{\perp} < 0, V'_{\perp} Q V_{\perp} < 0,$$

其中

$$U_{\perp} \in \mathbb{R}^{m \times (m-r)}, \text{span} U_{\perp} = J(U),$$

$$V_{\perp} \in \mathbb{R}^{m \times (m-s)}, \text{span}(V_{\perp}) = J(V).$$

3 主要结果(Main results)

考虑下列线性时滞自治系统

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = A x(t) + A_{c1} x(t - t) + D w(t), \\ z(t) = C x(t) + C_{c1} x(t - t) + F w(t), \\ x(t) = \phi(t) t \in [-t, 0]. \end{cases} \quad (1)$$

其中 $x(t), z(t), w(t)$ 分别表示状态分量, 被调输出向量以及外部干扰信号, 维数分别为 n, q, p . 时滞常数 $T > 0, \phi(\cdot)$ 为连续向量函数, $A_c, A_{c1}, D, C_c, C_{c1}$ 以及 F 为适当维数的常数矩阵.

令 w 到 z 的传递函数为 $T_{zw}(s)$, 则

$$z(s) = T_{zw}(s)w(s).$$

其中

$$\begin{cases} T_{zw}(s) = Y(s)X(s)D + F, \\ X(s) = (sI - A_c - A_{c1}e^{-sT})^{-1}, \\ Y(s) = C_c + C_{c1}e^{-sT}. \end{cases} \quad (2)$$

对于给定稳定且正则的传递函数矩阵 $T_{zw}(s)$, 其 H_{∞} -范数通常定义为

$$\|X\|_{\infty} = \sup_{0 \leq \omega < \infty} \sigma_{\max}[X(j\omega)]. \quad (3)$$

其中 $\sigma_{\max}(E)$ 表示 E 的最大奇异值, 即 $\sigma_{\max} = \lambda_{\max}(E^*E)^{\frac{1}{2}}$, 其中 E^* 表示 E 的共轭转置.

首先给出系统(1)具有 H_{∞} -特性的定义.

定义 3.1 若系统(1)内稳定, 并且对于给定的常数 $\gamma > 0$ 满足

$$\|T_{zw}\|_{\infty} < \gamma, \quad (4)$$

则称系统(1)具有指数为 $\gamma > 0$ 的 H_{∞} -特性, 简记为 H_{∞} - γ -SP.

下列定理给出系统(1)具有 H_{∞} - γ -SP 的充分条件, 其为本文的主要结果之一.

定理 3.1 若存在正定常数矩阵 $P, Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$, 使得下列关于 P, Q 的线性矩阵不等式(LMI)成立:

$$\begin{pmatrix} PA_c + A'_{c1}P + C'_c C_c + Q & PA_{c1} + C'_c C_{c1} & PD + C'_c F \\ A'_{c1}P + C'_{c1} C_c & -Q + C'_{c1} C_{c1} & C'_{c1} F \\ D'P + F' C_c & F' C_{c1} & -\gamma^2 I + F' F \end{pmatrix} < 0, \quad (5)$$

则系统(1)具有 H_{∞} - γ -SP.

证 1) 首先证明当 $\omega = 0$ 时, 系统(1)内稳定. 为此, 取 Lyapunov 泛函如下:

$$V = x'(t)Px(t) + \int_{t-T}^t x'(s)Qx(s)ds. \quad (6)$$

则易证系统(1)内稳定.

2) 证明

$$\|T_{zw}\|_{\infty} \leq \gamma. \quad (7)$$

为此令

$$X_1 = A'_{c1}P + C'_{c1} C_c,$$

$$M = \begin{pmatrix} Q - C'_{c1} C_{c1} & -C'_{c1} F \\ -F' C_{c1} & \gamma^2 I - F' F \end{pmatrix}.$$

则由式(5)以及引理 2.1 可得

$$PA_c + A'_c P + C'_c C_c + Q + \\ (X'_1 \quad PD + C'_c F)M^{-1} \begin{pmatrix} X_1 \\ D'P + F'C_c \end{pmatrix} < 0.$$

令上式左端等于 $-\Omega$, 则 $\Omega > 0$, 且对所有 $\omega \in \mathbb{R}^+$, 皆有

$$P(j\omega I - A_c - e^{-j\omega\tau} A_{c1}) + (-j\omega I - \\ A'_c - e^{j\omega\tau} A'_{c1})P - C'_c C_c - Q - \Omega - \\ (X'_1 \quad PD + C'_c F)M^{-1} \begin{pmatrix} X_1 \\ D'P + F'C_c \end{pmatrix} = \\ -e^{-j\omega\tau} PA_{c1} - e^{j\omega\tau} A'_{c1} P \quad (8)$$

若进一步令

$$W := (X'_1 \quad PD + C'_c F)M^{-1} \begin{pmatrix} X_1 \\ D'P + F'C_c \end{pmatrix} - \\ (e^{-j\omega\tau} PA_{c1} + e^{j\omega\tau} A'_{c1} P) - Y'(-j\omega)Y(j\omega) + \\ C'_c C_c + \Omega + Q. \quad (9)$$

则由式(8), (9)可得

$$PX^{-1}(j\omega) + [X'(-j\omega)]^{-1}P - Y'(-j\omega)Y(j\omega) = W.$$

即

$$X'(-j\omega)Y'(-j\omega)Y(j\omega)X(j\omega) = \\ X'(-j\omega)P + PX(j\omega) - X'(-j\omega)WX(j\omega). \quad (10)$$

令

$$G(\omega) := T'_{zw}(-j\omega)T_{zw}(j\omega) - \gamma^2 I, \\ \Gamma(j\omega) := (\gamma^2 I - F'F)^{\frac{1}{2}} - (\gamma^2 I - \\ F'F)^{-\frac{1}{2}}[D'P + F'Y(j\omega)]X(j\omega)D.$$

于是由式(2)和式(10)可得

$$G(\omega) = \\ D'X'(-j\omega)Y'(-j\omega)Y(j\omega)X(j\omega)D + \\ D'X'(-j\omega)Y'(-j\omega)F + \\ F'Y(j\omega)X(j\omega)D + F'F - \gamma^2 I = \\ -\Gamma'(-j\omega)\Gamma(j\omega) + D'X'(-j\omega)[PD + \\ Y'(-j\omega)F](\gamma^2 I - F'F)^{-1}[D'P + \\ F'Y(j\omega)] - W]X(j\omega)D. \quad (11)$$

为了证明对所有 $\omega \in \mathbb{R}^+$, 皆有

$$G(\omega) < 0, \quad (12)$$

只要证得对所有 $\omega \in \mathbb{R}^+$, 皆有

$$[PD + Y'(-j\omega)F](\gamma^2 I - F'F)^{-1}[D'P + \\ F'Y(j\omega)] - W < 0 \quad (13)$$

即可.

为此, 为了方便起见, 令式(13)左端为 $\Pi(\omega)$.

且令

$$Z(j\omega) := (\gamma^2 I - F'F)^{-1}[D'P + F'Y(j\omega)],$$

$$\Phi(j\omega) := M^{-\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} X_1 \\ D'P + F'C_c \end{pmatrix} - M^{\frac{1}{2}} \begin{pmatrix} e^{-j\omega\tau} I \\ Z(j\omega) \end{pmatrix}.$$

于是利用式(9)可得

$$\Pi(\omega) = -\Phi'(-j\omega)\Phi(j\omega) - (e^{j\omega\tau} I \quad Z'(-j\omega)) \cdot \\ \begin{pmatrix} X_1 \\ D'P + F'C_c \end{pmatrix} - (X'_1 \quad PD + C'_c F) \begin{pmatrix} e^{-j\omega\tau} I \\ Z(j\omega) \end{pmatrix} + \\ (e^{j\omega\tau} I \quad Z'(-j\omega))M \begin{pmatrix} e^{-j\omega\tau} I \\ Z(j\omega) \end{pmatrix} + \\ [PD + Y'(-j\omega)F](\gamma^2 I - F'F)^{-1}[D'P + \\ F'Y(j\omega)] + e^{-j\omega\tau} PA_{c1} + e^{j\omega\tau} A'_{c1} P + \\ Y'(-j\omega)Y(j\omega) - C'_c C_c - \Omega - Q.$$

经过计算整理, $\Pi(\omega) = -\Phi'(-j\omega)\Phi(j\omega) - \Omega < 0, \forall \omega \in \mathbb{R}^+$, 从而式(12)成立, 于是

$$\sup_{0 \leq \omega < \infty} \lambda_{\max}[G(\omega)] \leq 0.$$

即式(7)成立.

3) 可以证明式(4)成立, 由于篇幅有限, 故从略, 从而定理证毕.

注 3.1 若系统(1)中 $C_{c1} = 0$ 以及 $F = 0$, 则系统(1)具有 H_∞ - γ -SP 的充分条件为

$$\begin{pmatrix} PA_c + A'_c P + C'_c C_c + Q & PA_{c1} & PD \\ A'_{c1} P & -Q & 0 \\ D'P & 0 & -\gamma^2 I \end{pmatrix} < 0. \quad (14)$$

利用引理 2.1 可得式(14)等价于文献[4]中的公式(8). 但本文的充分条件式(14)可得式(4)而文献[4]仅得 $\|T_{zw}\|_\infty \leq \gamma$. 故对于这一特殊情形, 本文所得的结果强于文献[4]的主要结果.

下面利用定理 3.1 讨论下列含不确定参数的线性时滞系统

$$\begin{cases} \dot{x}(t) = (A + \Delta A)x(t) + \\ (A_1 + \Delta A_1)x(t - \tau) + \\ Dw + (B_0 + \Delta B_0)u(t), \\ z(t) = (C + \Delta C)x(t) + \\ (C_1 + \Delta C_1)x(t - \tau) + \\ Fw + (B_1 + \Delta B_1)u(t). \end{cases} \quad (15)$$

其中 $u(t) \in \mathbb{R}^m$ 为控制输入,

$$\begin{cases} \begin{pmatrix} \Delta A & \Delta A_1 & \Delta B_0 \\ \Delta C & \Delta C_1 & \Delta B_1 \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_0 \\ E_1 \end{pmatrix} G (H_0 \quad H_1 \quad H_b), \\ G \in \mathcal{S} = \{G; GG' \leq Z\}. \end{cases} \quad (16)$$

其中 E_0, E_1, H_0, H_1 以及 H_b 为已知适当维数的常数

矩阵, G 为已知适当维数的不确定参数矩阵, 系统(15)中其它项的含义与系统(1)相同. 为了下面讨论方便起见, 我们总是假设

$$\text{rank}(B'_0 \ B'_1 \ H'_b) = m. \quad (17)$$

考虑静态状态控制律

$$u(t) = Kx(t). \quad (18)$$

其中 K 为常数增益矩阵. 则相应闭环系统(15)和(18)为式(1), 其中

$$\begin{cases} A_c = \hat{A} + \Delta A_c, \hat{A} = A + B_0 K, A_{c_1} = A_1 + \Delta A_1, \\ C_c = \hat{C} + \Delta C_c, \hat{C} = C + B_1 K, C_{c_1} = C_1 + \Delta C_1, \\ \begin{pmatrix} \Delta A_c \\ \Delta C_c \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} E_0 \\ E_1 \end{pmatrix} GH, H = H_0 + H_b K. \end{cases} \quad (19)$$

为了下列讨论方便起见, 我们引入下列强鲁棒 H_∞ -特性的定义如下:

定义 3.2 称系统(1), (19)具有指标为 γ 的强

$$\begin{pmatrix} (B_\perp)' & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} \begin{bmatrix} AX + XA' & XC' & XH'_0 & X & A_1 Y & D & \lambda E_0 \\ CX & -I & 0 & 0 & C_1 Y & F & \lambda E_1 \\ H_0 X & 0 & -\lambda I & 0 & 0 & H_1 & 0 \\ X & 0 & 0 & -Y & 0 & 0 & 0 \\ YA'_1 & YC'_1 & 0 & 0 & -Y & 0 & 0 \\ D' & F' & H'_1 & 0 & 0 & -\gamma^2 I & 0 \\ \lambda E'_0 & \lambda E'_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda I \end{bmatrix} \begin{pmatrix} B_- & 0 \\ 0 & I \end{pmatrix} < 0. \quad (21)$$

其中 $B = (B'_0 \ B'_1 \ H'_b)$.

证 由于篇幅有限, 故从略.

注 3.2 系统(15)的所有可参数化静态反馈 H_∞ - γ -SSRP 控制器的设计步骤:

第一步 利用 MATLAB(参见文献[8])通过关于 λ, X 以及 Y 的线性矩阵不等式(20)和(21)确定一组 λ, X 和 Y .

第二步 计算 $P = X^{-1}, Q = Y^{-1}$, 然后计算

$$\Theta = \begin{pmatrix} PA + A'P & \hat{C}' & H'_0 & I & PA_1 & PD & \lambda PE_0 \\ C & -I & 0 & 0 & C_1 & F & \lambda E_1 \\ H_0 & 0 & -\lambda I & 0 & 0 & H_1 & 0 \\ I & 0 & 0 & -Q^{-1} & 0 & 0 & 0 \\ A'_1 P & C'_1 & 0 & 0 & -Q & 0 & 0 \\ D' P & F' & H'_1 & 0 & 0 & -\gamma^2 I & 0 \\ \lambda E'_0 P & \lambda E'_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & -\lambda I \end{pmatrix}. \quad (22)$$

鲁棒 H_∞ -特性, 记为 H_∞ - γ -SSRP. 若存在正定常数阵 $P, Q \in \mathbb{R}^{n \times n}$, 使得对于一切不确定参数皆有关于 P, Q 的线性矩阵不等式(5)成立.

此时我们称系统(15)的指标为 γ 的强鲁棒 H_∞ -特性问题(简记为 H_∞ - γ -SSRPP)有解.

下面的定理为本文的主要结果之一, 它给出了系统(15)的 H_∞ - γ -SSRPP 有解的充要条件

定理 3.2 存在静态状态反馈律(18)使得系统(15)的 H_∞ - γ -SSRPP 有解的充要条件为存在正定常数矩阵 X, Y 以及常数 $\lambda > 0$, 使得下列两个关于 λ, X 和 Y 的线性矩阵不等式成立:

$$1) \begin{pmatrix} \lambda E_1 E'_1 + C_1 Y C'_1 - I + \gamma^{-2} F F' & \gamma^{-2} F H'_1 \\ \gamma^{-2} H_1 F' & -\lambda I + \gamma^{-2} H_1 H'_1 \end{pmatrix} < 0. \quad (20)$$

2)

$$\begin{cases} \Pi; = (B'_0 \ B'_1 \ H'_b \ 0 \ \dots \ 0), \\ \Psi; = \text{blackdiag}\{P, I, \dots, I\}, \\ \Lambda; = (I \ 0 \ \dots \ 0). \end{cases} \quad (23)$$

第三步 对于给定的 λ, P 和 Q , 所有可参数化的静态反馈 H_∞ - γ -SSRP 控制器集合为

$$\mathcal{K} = \{K \in \mathbb{R}^{m \times n} \mid \Theta + \Psi \Pi' K \Lambda + \Lambda' K' \Pi \Psi < 0\}. \quad (24)$$

若令标量 ρ 和矩阵 F 为自由参数, 并且令 $\Gamma = \Psi \Pi'$,

$\Phi; = \left(\Gamma \Gamma' - \frac{1}{\rho} \Theta\right)^{-1}, M; = (\Lambda \Phi \Lambda')^{-1}$ 以及 $\Omega; = I - \Gamma'(\Phi - \Phi \Lambda' M \Lambda \Phi) \Gamma$, 则所有控制器为如下参数化形式(参见文献[9]):

$$\mathcal{K} = \{K = -\rho \Gamma' \Phi \Lambda' M + \Omega^{1/2} F M^{1/2}; \\ 0 < \|F\| < \rho, 0 < \Phi\}. \quad (25)$$

4 结论(Conclusion)

本文得到了两个主要结果, 即线性时滞自治系统具有 H_∞ -特性的充分条件以及带有不确定参数以及被调输出含状态时滞和干扰输入的线性时滞系统具有强鲁棒 H_∞ -特性的充分必要条件, 并且相应给

出所有可参数化无记忆强鲁棒 H_∞ -控制器的设计。本文所采用的工具——LMI 方法与以往讨论时滞线性系统 H_∞ -问题的方法不同,除此之外,带有不确定参数的线性(或时滞)系统的 H_∞ -控制问题的一些主要结果可以看作本文的一个特例,多时滞的情形可以得到类似结论,如何利用动态输出反馈解决带有不确定参数以及被调输出含时滞状态和干扰输入的线性时滞系统的强鲁棒 H_∞ -控制问题,这将在其它文章中讨论。

参考文献(References)

- [1] Chou H H and Chung M J. Memoryless H_∞ controller design for linear systems with delayed state and control[J]. Automatica, 1995, 31(4):917-919
- [2] Ge J H, Frank P M and Lin C F. H_∞ Control via output feedback for state delay systems[J]. Int J. Control, 1996, 64(1):1-7
- [3] Ge J H, Frank P M and Lin C F. Robust H_∞ state feedback control for linear systems with state delay and parameter uncertainty[J]. Automatica, 1996, 32(8):1183-1185
- [4] Lee J H, Kim S W and Kwon W H. Memoryless H_∞ controller for state delayed systems[J]. IEEE Trans. Automat. Contr., 1994, 39(1):784-788

- [5] Iwasaki T and Skelton R E. All controllers for the general H_∞ control problem: LMI existence conditions and state space formulas[J]. Automatica, 1994, 30(12):1307-1317
- [6] Horn R A and Johnson C R. Matrix Analysis[M]. Cambridge, UK: Cambridge University, Press, 1985
- [7] Petersen I R. A stabilization algorithm for a class of uncertain linear systems[J]. Systems and Control Letters, 1987, 8(3):351-357
- [8] Gahinet P, Nemirovski A, Laub A and Chilali M. The LMI Control Toolbox[M]. USA: the Math Works, Inc., 1995
- [9] Skelton R E, Iwasaki T. Increased roles of linear algebra in control education[J]. IEEE Control Systems Magazine, 1995, 15(1):76-90

本文作者简介

陆国平. 1965年生,1998年6月在华东师范大学系统科学研究所获博士学位,现南通工学院自动化系任教,研究领域有非线性系统镇定问题,时滞系统和非线性系统鲁棒 H_∞ 控制

郑敏. 1941年生,华东师范大学系统科学研究所教授,博士生导师,澳大利亚墨尔本大学电气工程客座教授,目前研究领域为非线性控制。

杨林发. 香港城市大学电子工程系副教授,目前研究领域为线性系统

新书《现代鲁棒控制》出版

由吴敏教授和桂卫华教授编著的《现代鲁棒控制》一书,1998年10月已由中南工业大学出版社出版。这是一部鲁棒控制方面的专著,它综合了大量的国内外文献资料,并结合了作者多年来的研究成果和体会,从理论和应用两个角度系统地介绍了近十多年来鲁棒控制研究的最新成果,特别是在鲁棒稳定性理论,线性系统的 H_∞ 控制, μ 分析和 μ 综合,大系统分散优化控制的 H_∞ 方法,非线性系统鲁棒控制的 H_∞ 和 μ 方法等方面的论述具有重要意义,该书内容全面、新颖,涉及到鲁棒控制的前沿研究领域。

本书由12章构成,第1章是全书的绪论,考察了控制系统设计的基本要求,回顾了控制理论的发展历史,阐述了鲁棒控制研究的基本问题,第2章介绍了鲁棒控制研究所需要的基础知识和基本概念,第3章针对非结构的和结构的不确定性系统,给出了 H_∞ 控制问题的基本框架和一般鲁棒控制问题的结构,引出了结构奇异值 μ 方法,第4章论述了鲁棒稳定化控制,二次稳定化控制和参数空间稳定性分析的理论与方法,第5章研究了线性二次型鲁棒控制和 H_2 控制问题,第6章讨论了模型匹配问题,第7章介绍了状态空间 H_∞ 控制理论,包括基于状态反馈,输出反馈和状态观测器的控制方法, H_∞ 鲁棒伺服系统控制, H_2 和 H_∞ 混合控制,第8章叙述了结构不确定性系统控制的 μ 方法,给出了基于结构奇异值的鲁棒稳定性和鲁棒性能分析方法,以及基于 H_∞ 控制的 μ 综合方法,第9章讨论了大系统分散鲁棒控制问题,提出了分散 H_2 和 H_∞ 控制的参数化方法,以及分散 H_∞ 状态反馈控制的迭代算法,第10章探讨了非线性系统鲁棒控制的 H_∞ 和 μ 方法,提出了基于反馈线性化理论进行非线性鲁棒控制的 μ 分析与 μ 综合方法,第11章和第12章分别阐述了基于线性二次型控制, H_∞ 控制和 μ 方法的鲁棒控制应用。

该书为大32开本,569页,48.8万字,它不仅把最新的研究成果呈现出来,而且也展示了今后的发展趋势和研究课题,这部著作对从事自动控制的科技工作者,大专院校教师,研究生和高年级大学生,特别是从事鲁棒控制方面的读者有较大的参考价值。