

不确定时滞广义系统的鲁棒 H_∞ 控制

范永青, 金朝永, 胡南辉

(广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 讨论一类含有参数不确定性和外部干扰的线性广义时滞系统的鲁棒 H_∞ 控制问题. 假设不确定性是范数有界且所考虑的系统事先没有假设是正则和无脉冲, 采用线性矩阵不等式处理方法, 经状态反馈控制器, 得到了闭环系统是正则、无脉冲和稳定的时滞相关充分性条件, 并且满足一定的 H_∞ 性能指标, 所得的结论可由线性矩阵不等式 (LM I) 问题求解. 最后给出的实际算例验证了该设计方法的有效性.

关键词: 不确定广义系统; 时滞; 状态反馈; 线性矩阵不等式; 鲁棒 H_∞ 控制

中图分类号: TP13

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2008)04-0032-05

时滞现象普遍存在于许多实际问题中 (如飞行器镇定、电子网络、经济和控制系统等), 因而应用十分广泛^[1]. 另外在实际的工程控制问题中, 受控系统本身的不确定性 (可由建模误差、降维误差、运行误差等因素引起) 及外界不确定性 (如不可知干扰输入、环境噪声等) 经常是不可避免的^[2]. 不确定性和时滞的存在, 造成了系统控制无论在理论分析上还是工程实际中都有极大的困难, 所以对不确定性时滞系统的研究引起了很多学者的关注. 由于广义系统是能较好地描述与刻画许多实际系统的有力工具, 并且 H_∞ 优化控制是为处理不确定性提出的行之有效的方法, 因此, 讨论含不确定参数的时滞广义系统的鲁棒 H_∞ 控制^[3-7], 对广义系统的实际应用是极为重要的. 就最近的文献来看, 对时滞无关稳定条件的研究较多, 如文献 [5], 而对时滞相关稳定条件的研究甚少. 由于在时滞较小的情况下, 显然时滞相关的条件比时滞无关的条件优越, 所以对时滞相关条件的不确定广义系统鲁棒 H_∞ 控制的研究具有重要的意义.

本文考虑时滞相关性条件, 利用 Lyapunov 稳定性理论和 LM I 方法, 给出了广义不确定时滞系统的鲁棒 H_∞ 控制的时滞相关稳定性充分条件, 并设计状态反馈控制器, 使得闭环系统是允许的并满足给定的 H_∞ 性能指标. 同时, 鲁棒 H_∞ 的控制器设计可以通过求解一给定的线性矩阵不等式而得到.

1 问题的描述和预备知识

考虑如下不确定时滞广义系统

$$\begin{cases} E\dot{x}(t) = (A + \Delta A)x(t) + (A_d + \Delta A_d)x(t-h) + \\ \quad (B + \Delta B)u(t) + Gw(t), \\ z(t) = Cx(t), \\ x(t) = \phi(t), \quad t \in [-h, 0], \end{cases} \quad (1)$$

式中, $x(t) \in R^n$ 为状态向量; $u(t) \in R^m$ 是控制输入; $w(t) \in R^q$ 是扰动输入且 $w(t) \in L_2[0, \infty)$; $z(t) \in R^p$ 是测量输出; h 为定常不确定但有界的正数, 满足 $0 \leq h \leq \bar{h}$, $\bar{h}$ 为已知常数; $\phi(t)$ 是相容的矢量值连续函数; $E \in R^{n \times n}$ 是奇异矩阵, 假设 $\text{rank} E = r < n$; A, A_d, B, G, C 为已知的具有适当维数的常数矩阵; $\Delta A, \Delta A_d, \Delta B$ 是描述参数有界不确定性时的不变矩阵. 并假设具有形式

$$[\Delta A \quad \Delta A_d \quad \Delta B] = M F(\sigma) [E_1 \quad E_2 \quad E_3], \quad (2)$$

式中, M, E_1, E_2, E_3 是已知的具有适当维数的常数实矩阵; $F(\sigma)$ 为不确定矩阵且满足

$$F(\sigma) F(\sigma)^T \leq I \quad (3)$$

设计无记忆状态反馈控制器

$$u(t) = Kx(t), \quad (4)$$

其中 $K \in R^{n \times n}$, 系统 (1) 与状态反馈控制器 (4) 构成的闭环系统为

$$E\dot{x}(t) = \bar{A}x(t) + \bar{A}_d x(t-h) + Gw(t), \quad (5)$$

其中 $\bar{A} = A + BK + \Delta A + \Delta BK$, $\bar{A}_d = A_d + \Delta A_d$, 当 $w(t) = 0$ 时, 式 (5) 称为无扰动标称形式.

关于系统 (1) 的控制 H_∞ , 本文引进下面的定义 1

定义 1 闭环系统 (4) 称为鲁棒稳定的, 且具有 H_∞ 范数界 γ , 如果对任意不确定性 (2), 闭环系统 (5) 是正则、无脉冲且稳定的, 同时, 满足 $\|T_w(s)\|_\infty$

$\leq \gamma$, 其中 $\gamma > 0$ 是预先给定的常数, $T_{zw}(s)$ 为从干扰输入 $w(t)$ 到控制输出 $z(t)$ 的传递函数.

本文的目的是设计系统 (1) 的形如 (4) 的状态反馈控制器, 使得闭环系统 (5) 是鲁棒稳定的且满足给定的 H_∞ 性能 γ , 即给定常数 $\gamma > 0$ 在零初始条件下, 对所有的不确定性有: $\|z(t)\|_2 \leq \gamma \|w(t)\|_2$, $\forall w(t) \in L_2[0, \infty)$.

在给出结论前, 先引入一些相关的定义和引理.

定义 2^[8] 广义系统 (E, A) 称为正则的, 如果存在标量 s 使得 $\det(sE - A) \neq 0$.

广义系统 (E, A) 称为无脉冲的, 如果 $\deg(\det(sE - A)) = \text{rank} E$;

定义 3^[9] 无扰动标称系统 (5) 是正则、无脉冲的, 如果 (E, A) 是正则、无脉冲的.

引理 1^[9] 给定适当维数的矩阵 Ω, Γ, X , 其中 Ω 是对称的, 则对所有 $F(\sigma)F(\sigma)^T \leq I$, $\Omega + \Gamma F(\sigma)X + (\Gamma F(\sigma)X)^T < 0$ 成立的充分必要条件是存在标量 $\varepsilon > 0$ $\Omega + \varepsilon \Gamma \Gamma^T + \varepsilon^{-1} X^T X < 0$.

引理 2^[10] 设 $a \in R^{n_1}$, $b \in R^{n_2}$ 以及 $N \in R^{n_1 \times n_2}$, 则对任意正定矩阵 $X \in R^{n_1 \times n_1}$, 对任意矩阵 $Y \in R^{n_1 \times n_2}$, $Z \in R^{n_2 \times n_2}$, 并且满足 $X = X^T$, $Z = Z^T$, 则有不等式成立:

$$-2b^T N^T a \leq \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} X & Y - N \\ Y^T - N^T & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a \\ b \end{bmatrix},$$

这里 $\begin{bmatrix} X & Y \\ Y^T & Z \end{bmatrix} \geq 0$

引理 3 如果存在对称正定矩阵 $X, Z_{11} > 0$, $Z_{22} = Z_{22}^T$ 和适当维数的矩阵 E, Y_1, Y_2, Z_{12} 满足

$$\begin{bmatrix} X & Y_1 & Y_2 \\ * & Z_{11} & Z_{12} \\ * & * & Z_{22} \end{bmatrix} > 0$$

则有下列的不等式成立:

$$\begin{aligned} & - \int_0^t (x(s))^T E^T X E x(s) ds \leq \\ & \xi^T(t) \begin{bmatrix} Y_1^T E + E^T Y_1 & E^T Y_2 - Y_1^T E \\ * & -Y_2^T E - E^T Y_2 \end{bmatrix} \xi(t) + \\ & h \xi^T(t) \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ * & Z_{22} \end{bmatrix} \xi(t), \end{aligned}$$

其中: $\xi^T(t) = [x^T(t) \quad x^T(t-h)]$.

证明: 对于适当维数的矩阵 N_1, N_2 有关系式

$$\begin{aligned} 0 = & 2[x^T(t)N_1^T + x^T(t-h)N_2^T] \begin{bmatrix} Ex(t) - \\ Ex(t-h) - \int_0^t Ex(s) ds \end{bmatrix} = \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & \xi^T(t) \begin{bmatrix} N_1^T E + E^T N_1 & -N_1^T E + E^T N_2 \\ * & -N_2^T E - E^T N_2 \end{bmatrix} \xi(t) - \\ & 2 \int_0^t \xi^T(t) \begin{bmatrix} N_1^T \\ N_2^T \end{bmatrix} Ex(s) ds \end{aligned} \quad (6)$$

令

$$N = \begin{bmatrix} N_1 & N_2 \end{bmatrix}, Y = \begin{bmatrix} Y_1 & Y_2 \end{bmatrix}, Z = \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ * & Z_{22} \end{bmatrix}, \quad (7)$$

由引理 2 可得

$$\begin{aligned} & -2 \int_0^t \xi^T(t) \begin{bmatrix} N_1^T & N_2^T \end{bmatrix} Ex(s) ds \leq \\ & \int_0^t \xi^T(t) \begin{bmatrix} X & Y - N \\ * & Z \end{bmatrix} \begin{bmatrix} Ex(s) \\ \xi(t) \end{bmatrix} ds \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{不等式 (8) 右边} = & \int_0^t (x(s))^T E^T X E x(s) ds + \\ & \xi^T(t) \Pi \xi(t) + h \xi^T(t) \begin{bmatrix} Z_{11} & Z_{12} \\ * & Z_{22} \end{bmatrix} \xi(t), \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$\Pi = \begin{bmatrix} Y_1^T E + E^T Y_1 - N_1^T E - E^T N_1 & E^T Y_2 - Y_1^T E - E^T N_2 + N_1^T E \\ * & -Y_2^T E - E^T Y_2 + N_2^T E + E^T N_2 \end{bmatrix},$$

故引理 3 成立.

2 主要结论

定理 1 给定 H_∞ 性能指标 $\gamma > 0$ 和任意时滞常数 $h > 0$ 如果存在对称正定矩阵 Q, X, Z_{11} 和适当维数的矩阵 $P, Y_1, Y_2, Z_{12}, Z_{22}$ 有下面的不等式成立

$$P^T E = E^T P \geq 0 \quad (10)$$

$$\begin{aligned} & \begin{bmatrix} \Lambda_{11} & \Lambda_{12} & P^T G & h \bar{A}^T X & C^T \\ * & \Lambda_{22} & 0 & h \bar{A}_d^T X & 0 \\ * & * & -\gamma^2 I & h G^T X & 0 \\ * & * & * & -h X & 0 \\ * & * & * & * & -I \end{bmatrix} < 0 \quad (11) \\ & \begin{bmatrix} X & Y_1 & Y_2 \\ * & Z_{11} & Z_{12} \\ * & * & Z_{22} \end{bmatrix} \geq 0 \end{aligned} \quad (12)$$

其中

$$\Lambda_{11} = \bar{A}^T P + P^T \bar{A} + Q + Y_1^T E + E^T Y_1 + h Z_{11},$$

$$\Lambda_{12} = P^T \bar{A}_d + E^T Y_2 - Y_1^T E + h Z_{12},$$

$$\Lambda_{22} = -Q - Y_2^T E - E^T Y_2 + h Z_{22},$$

则称系统 (5) 是正则、无脉冲和稳定的且满足 H_∞ 性能指标 γ

证明: $w(t) = 0$ 时, 由式 (11) 可知

$$P^T \bar{A} + \bar{A}^T P + Y_1^T E + E^T Y_1 < 0 \quad (13)$$

因为 $\text{rank} E = r$, 则存在可逆矩阵 S, L 使得 $\tilde{E} = SEL =$

$$\begin{bmatrix} I_r & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix},$$

令

$$\tilde{A} = \tilde{S} \bar{A} L = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ A_{21} & A_{22} \end{bmatrix}, \tilde{P} = S^{-T} P L = \begin{bmatrix} P_{11} & P_{12} \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}, \tilde{Y}_1 = S^{-T} Y_1 L = \begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix}, \quad (14)$$

则由式 (10) 可知 $\tilde{P} = \begin{bmatrix} P_{11} & 0 \\ P_{21} & P_{22} \end{bmatrix}$, 对式 (13) 左乘以

L^T 右乘 L , 可得 $P_{22}^T A_{22} + A_{22}^T P_{22} < 0$ 知 A_{22} 是可逆的, 所以 $(E, \tilde{A})$ 是正则、无脉冲的, 由定义 3 可得无

$$X = \begin{bmatrix} \bar{A}^T P + P^T \bar{A} + Q + h \bar{A}^T X \bar{A} + Y_1^T E + E^T Y_1 + h Z_{11} & P^T \bar{A}_d + h \bar{A} X \bar{A}_d + E^T Y_2 - Y_1^T E + h Z_{12} \\ * & h \bar{A}_d^T X \bar{A}_d - Q - Y_2^T E - E^T Y_2 + h Z_{22} \end{bmatrix}, \quad (17)$$

如果有式 (11) 成立, 则应用 schur 补引理有 $X < 0$ 成立, 所以 $V(x) < 0$ 即当 $w(t) = 0$ 时的无扰动标称系统 (5) 是稳定的.

在零初始条件下, 对上述 Lyapunov 函数, 有

$$V(x)|_{t=0} = 0, \lim_{t \rightarrow \infty} V(x) \geq 0 \quad (18)$$

考虑 H_∞ 性能指标

$$J_{\infty} = \int_0^\infty [\bar{z}^T(t) \bar{z}(t) - \gamma^2 \bar{w}^T(t) \bar{w}(t)] dt$$

$$\Psi = \begin{bmatrix} \Lambda_{11} + h \bar{A}^T X \bar{A} + C^T C & \Lambda_{12} + h \bar{A}^T X \bar{A}_d & P^T G + h \bar{A}^T X G \\ * & \Lambda_{22} + h \bar{A}_d^T X \bar{A}_d & h \bar{A}_d^T X G \\ * & * & h G^T X G - \gamma^2 I \end{bmatrix}, \quad (20)$$

由式 (11) 和应用 schur 补引理可得 $J_{\infty} < 0$ 成立, 即满足 $\|\bar{z}(t)\|_2 \leq \gamma \|\bar{w}(t)\|_2$.

综上所述, 系统 (1) 是正则、无脉冲和稳定的且满足 H_∞ 性能指标 γ 证毕.

由于定理 1 中的不等式含有不确定矩阵, 不利于应用且难以计算. 下面, 利用引理 1 将定理 1 中的不确定性消去得到定理 2

$$\begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} & G & h V^T A^T + h W^T B^T & V^T C^T & \mathcal{M} & V^T E_1^T + W^T E_3^T \\ * & \Phi_{22} & 0 & h V^T A_d^T & 0 & 0 & V^T E_2^T \\ * & * & -\gamma^2 I & h G^T & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & -h \bar{X} & 0 & \mathcal{M} & 0 \\ * & * & * & * & -I & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & -\varepsilon I & 0 \\ * & * & * & * & * & * & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0 \quad (22)$$

扰动标称系统 (5) 是正则、无脉冲的. 下面再证明稳定性:

选取 Lyapunov 函数

$$V(x_t) = x^T(t) P^T E x(t) + \int_t^\infty x^T(s) Q x(s) ds + \int_{-h}^0 \int_t^\infty x^T(s) E^T X E x(s) ds d\theta \quad (15)$$

Lyapunov 函数 $V(x)$ 沿无扰动标称系统 (5) 解轨线导数为

$$\dot{V}(x_t) = 2x^T(t) P^T E x(t) + x^T(t) Q x(t) - x^T(t-h) Q x(t-h) + h x^T(t) E^T X E x(t) - \int_t^\infty (x^T(s))^T E^T X E x(s) ds \quad (16)$$

由引理 3 可得不等式 $\dot{V}(x_t) \leq \xi^T(t) X \xi(t)$ 成立.

其中:

$$J_{\infty} = \int_0^\infty [\bar{z}^T(t) \bar{z}(t) - \gamma^2 \bar{w}^T(t) \bar{w}(t) + \dot{V}(x_t)] dt + V(x_t)|_{t=0} - \lim_{t \rightarrow \infty} V(x_t) \leq \int_0^\infty [\bar{z}^T(t) \bar{z}(t) - \gamma^2 \bar{w}^T(t) \bar{w}(t) + \dot{V}(x_t)] dt \leq \int_0^\infty \eta^T(t) \Psi \eta(t) dt \quad (19)$$

$$\text{式中 } \eta^T(t) = [\bar{x}^T(t) \quad \bar{x}^T(t-h) \quad \bar{w}^T(t)],$$

定理 2 给定 H_∞ 性能指标 $\gamma > 0$ 任意时滞常数

$h > 0$ 存在对称正定矩阵 $\bar{Q}, \bar{X}, Z_{11}$ 和适当维数的矩阵 Y_1, Y_2, Z_{12}, Z_{22} , 对所有满足式 (2) 和式 (3) 的不确定性参数, 如果存在 $\varepsilon > 0$ 非奇异矩阵 V, W 满足

$$E V = V^T E^T \geq 0 \quad (21)$$

$$\begin{bmatrix} \bar{X} & \bar{X} \delta_1 & \bar{X} \delta_2 \\ * & M_{11} & M_{12} \\ * & * & M_{22} \end{bmatrix} \geq 0 \tag{23}$$

式 (21)、(22)、(23)成立, 则系统 (1)的 H_∞ 状态反
馈控制律为 $u(t) = W V^{-1} x(t)$, 其中

$$\Omega + \begin{bmatrix} (\Delta A + \Delta B K)^T P + P^T (\Delta A + \Delta B K) & P^T \Delta A_d & 0 & h(\Delta A + \Delta B K)^T X & 0 \\ * & 0 & 0 & h \Delta A_d^T X & 0 \\ * & 0 & 0 & 0 & 0 \\ * & * & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & 0 & 0 \end{bmatrix} < 0 \tag{24}$$
$$\Omega + \begin{bmatrix} P^T M \\ 0 \\ 0 \\ h X^T M \\ 0 \end{bmatrix} F(\sigma) \begin{bmatrix} E_1 + E_3 K & E_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} +$$
$$\begin{bmatrix} E_1 + E_3 K & E_2 & 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}^T F^T(\sigma) \begin{bmatrix} P^T M \\ 0 \\ 0 \\ h X^T M \\ 0 \end{bmatrix}^T < 0 \tag{25}$$

式中

$$\Omega = \begin{bmatrix} \Lambda_{11} + K^T B^T P + P^T B K & \Lambda_{12} & P^T G & h(A + B K)^T X & C^T \\ * & \Lambda_{22} & 0 & h A_d^T X & 0 \\ * & * & -\gamma^2 I & h G^T X & 0 \\ * & * & * & -h X & 0 \\ * & * & * & * & -I \end{bmatrix}$$

由引理 1 知, 上述不等式等价于

$$\begin{bmatrix} \Theta_{11} & \Theta_{12} & P^T G & h(A + B K)^T X & C^T & \mathfrak{P}^T M & (E_1 + E_3 K)^T \\ * & \Theta_{22} & 0 & h A_d^T X & 0 & 0 & E_2^T \\ * & * & -\gamma^2 I & h G^T X & 0 & 0 & 0 \\ * & * & * & -h X & 0 & \mathfrak{H} X^T M & 0 \\ * & * & * & * & -I & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & -\mathfrak{G} & 0 \\ * & * & * & * & * & * & -\mathfrak{G} \end{bmatrix} < 0 \tag{26}$$

其中

$$\Theta_{11} = (A + B K)^T P + P^T (A + B K) + Q + Y_1^T E + E^T Y_1 + h Z_{11},$$
$$\Theta_{12} = P^T A_d + E^T Y_2 - Y_1^T E + h Z_{12},$$
$$\Theta_{22} = Q - Y_2^T E - E^T Y_2 + h Z_{22},$$

在式 (26)左乘 $H = \text{diag}\{P^{-T}, P^{-T}, I, X^{-T}, I, I, I\}$,
右乘 H^T , 并令 $P^{-1} = V, K P^{-1} = W, X^{-1} = \bar{X}$, 可得到
式 (22)成立.

在式 (12)左乘 $R = \text{diag}\{X^{-T}, P^{-T}, P^{-T}\}$, 右乘 R^T , 并令

$$\Phi_{11} = V^T A^T + W^T B^T + A V + B W + \bar{Q} + \delta_1 E V + \delta_1 V^T E^T + h M_{11},$$
$$\Phi_{12} = A_d V + \delta_2 V^T E^T - \delta_1 E V + h M_{12},$$
$$\Phi_{22} = -\bar{Q} - \delta_2 E V - \delta_2 V^T E^T + h M_{22}$$

证明: 由定理 1 可知

$$Y_1 = \delta_1 P, Y_2 = \delta_1 P, \bar{Q} = V^T Q V, V^T Z_{11} V = M_{11}, V^T Z_{12} V = M_{12}, V^T Z_{22} V = M_{22}$$

可得式 (23)成立, 证毕.

3 数值算例

取系统 (1)中的参数值如下

$$E = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix}, A = \begin{bmatrix} -2 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, A_d = \begin{bmatrix} -1 & 0 \\ 1 & -1 \end{bmatrix},$$
$$B = \begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}, G = \begin{bmatrix} -0.2 \\ -0.1 \end{bmatrix}, C = \begin{bmatrix} 0.1 & 0.2 \end{bmatrix},$$
$$E_1 = \begin{bmatrix} 0.3 & 0 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix}, E_2 = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix},$$
$$E_3 = \begin{bmatrix} 0.2 \\ 0.1 \end{bmatrix}, M = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ 1 & 0.5 \end{bmatrix},$$
$$\delta_1 = 0.1, \delta_2 = 0.2, h = 2.7, \gamma = 0.2$$

利用 Matlab LM I Toolbox求得

$$\varepsilon = 1.0904, V = \begin{bmatrix} 0.4161 & -0.5322 \\ -0.5322 & -1.0585 \end{bmatrix},$$
$$W = [-5.3769 \quad -3.0885],$$

控制律为

$$u(t) = [-5.5934 \quad 5.7301]x(t).$$

4 结束语

本文基于线性矩阵不等式 (LMI)处理方法, 考
虑了参数不确定范数有界时滞广义系统鲁棒 H_∞ 控
制的状态反馈控制器设计问题, 给出了 H_∞ 状态反
馈控制器存在的条件和设计方法. 该方法无需对系统
作正则、无脉冲的假设和模型变换, 使得系统的实际
应用较简单易行, H_∞ 状态反馈控制器可以很容易地
通过 Matlab 中的 LMI 工具箱求得. 最后给出的数值
算例说明了所给方法是可行的.

参考文献:

[1] Rosenbrock H. H. Structural properties of linear dynamical systems[J]. Int J of control 1974, 20(2): 191-202

[2] 苏小明 张庆灵. 广义周期时变系统[M]. 北京: 科学出

版社, 2006

- [3] Lee JH, Kim SW, Kwon W H. Memoryless H_{∞} controllers for state delay systems [J]. IEEE Trans on Automatic Control 1994, 39(1): 159-162
- [4] Yang G H, Wang J L, Liu C. H_{∞} Control for linear systems with controller uncertainty [C]// American Control Conference Piscataway, NJ USA: IEEE, 1999, 5: 3377-3381.
- [5] Xu S Y, Dooren P V, Stefan R, et al Robust stability and stabilization for singular systems with state delay and parameter uncertainty [J]. IEEE Transactions on Automatic Control 2002, 47(7): 1122-1128
- [6] Shu W R, Zhang Q L. H_{∞} Control for singular systems with

time-delay [C]// Fifth world congress on intelligent Control and Automation Piscataway, NJ USA: IEEE, 2004 (1): 773-777

- [7] Dong X Z, Zhang Q L. Robust H_{∞} control for singular systems with state delay and parameter uncertainty [C]// Fifth world congress on intelligent Control and Automation Piscataway, NJ USA: IEEE, 2004, 2: 1035-1039.
- [8] Dsil Y. Singular control systems[M]. Berlin: Springer-Verlag, 1989
- [9] Xie Li. Output feedback H_{∞} control of systems with parameter uncertainty [J]. Int J Control 1996, 63(4): 741-750
- [10] 俞立. 鲁棒控制-线性矩阵不等式处理方法[M]. 北京: 清华大学出版社, 2002

Robust H_{∞} Control of Uncertain Singular Systems with Time-delay

Fan Yong-qing Jin Chao-yong Hu Nan-hui

(Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510006, China)

Abstract The problem of parametric uncertainty and external disturbance robust H_{∞} control of linear singular systems with time delay is discussed. Parametric uncertainty is assumed to be norm bounded. The considered systems are not assumed to be regular and impulse-free beforehand. By using linear matrix inequality method, Delay-dependent sufficient conditions were obtained so that the closed-loop system was not only regular, impulse-free and stable, but it also satisfied a prescribed H_{∞} performance condition with a state feedback controller. The result can be constructed in terms of the linear-matrix inequalities (LMI). Finally, a numerical example illustrates the effectiveness of the design method.

Key words uncertain singular systems; time-delay; feedback controller; linear matrix inequality; robust H_{∞} control

简讯

关于调整编委会组成人员的启事

为适应工作需要,经主办单位研究,已决定对本刊编辑委员会等组成人员调整如下:

主 任: 张湘伟

副主任: 张焜 章云

委 员 (按姓氏笔画为序):

王成勇 孙友松 孙水裕 余永权 余林
张毕西 张海燕 张湘伟 张焜 李丽娟
杨宜民 郑壮利 胡义华 骆少明 郭大昌
章云 阎秋生 戴青云 魏昕

主 编: 张湘伟

副主编: 郑壮利 (常务)

编辑部主任: 郑壮利

《广东工业大学学报》编辑部