文章编号:1671-6833(2010)05-0111-05

基于观测器的时变时滞广义系统的鲁棒无源控制

马跃超[1],范桂英[1],张庆灵[2]

(1. 燕山大学 理学院,河北 秦皇岛 066004;2. 东北大学 系统科学研究所,辽宁 沈阳 110004)

摘 要:对一类含有参数不确定性的状态、控制输入和输出都含有时变时滞的广义系统,研究其基于观测器的鲁棒无源控制问题.假定其中的时变不确定项是范数有界的,但不需要满足匹配条件,利用Lyapunov函数方法和线性矩阵不等式法,给出了闭环系统广义二次稳定和鲁棒严格无源的充分条件,构造出期望的观测器和控制器,最后举例说明了所提出方法的可行性.

关键词:广义系统;无源控制;时滞系统;观测器;线性矩阵不等式;广义二次稳定

中图分类号:TP13 **文献标识码**:A

0 引言

广义系统是一类在电力系统、经济系统、网络系统等诸多方面有着广泛应用背景的动力系统.在最近的20年里,广义系统理论的研究取得了蓬勃的发展.无源性概念产生于电路理论中,最终形成系统的无源性理论,并在控制理论研究以及工程系统设计中起着很重要的作用.近年来,无源性分析和基于观测器的控制器设计出现了许多有价值的成果,初步研究了广义系统的无源控制和不确定广义系统的鲁棒无源控制[1-2],对于正常系统基于观测器的控制也已经有一些结果[3-4].但对不确定时滞广义系统,基于观测器控制方面的研究成果还不多.文献[5-8]研究了基于观测器的不确定广义时滞系统的控制,但状态、输入和输出都不含时滞,并且观测器和控制器的状态矩阵、控制输入矩阵与原广义系统的状态矩阵、控制输入矩阵都一致.文献[5-8]的不确定项都必须满足严格的匹配条件,在实际系统中很难满足这样的条件.

笔者针对一类带有参数不确定性以及状态、控制输入和输出都含有时变时滞的广义系统,研究其基于观测器的鲁棒无源控制问题,其中的时变不确定项是范数有界的,但不需要满足匹配条件,文中观测器的状态矩阵、控制输入矩阵,与原广义系统的状态矩阵、控制输入矩阵都不一致并且是未知的,比文献[5-8]的适用范围更广,更有实际意义.通过构造Lyapunov函数,利用线性矩阵不等式法,给出了闭环系统广义二次稳定且鲁棒严格无源的条件,并构造出期望的观测器和控制器.

1 预备知识及系统描述

考虑如下带有时变不确定广义系统:

$$\begin{cases} E\dot{x}(t)=(A+\Delta A)x(t)+(A_1+\Delta A_1)x(t-d_1(t))+ \\ \qquad (B+\Delta B)u(t)+(B_1+\Delta B_1)u(t-d_2(t))+ \\ \qquad (B_w+\Delta B_w)w(t) \\ z(t)=(C+\Delta C)x(t)+(C_1+\Delta C_1)x(t-d_1(t))+ \\ \qquad (D+\Delta D)u(t)+(D_1+\Delta D_1)u(t-d_2(t))+ \\ \qquad (D_w+\Delta D_w)w(t) \\ y(t)=C_2x(t)+D_2u(t) \end{cases} \tag{1}$$

式中:$x(t)\in\mathbf{R}^n$是状态变量;$u(t)\in\mathbf{R}^n$是控制输入;$w(t)\in\mathbf{R}^n$是属于$L_2[0,\infty)$空间的干扰输入;$z(t)\in\mathbf{R}^n$是被调输出;$A,A_1,B,B_1,C,C_1,D,D_1,C_2,B_w$和$D_w$分别是适当维数的常数矩阵;$\Delta A,\Delta A_1,\Delta B,\Delta B_1,\Delta C,\Delta C_1,\Delta D,\Delta D_1,\Delta B_w$和$\Delta D_w$分别是不确定时值函数,它们表示了系统中随时间变化的参数不确定性;$d_1(t),d_2(t)$是时变的,分别表示系统的状态滞后和控制滞后,并满足$0\leqslant d_1(t)<\infty$,$0\leqslant d_2(t)<\infty$,$\dot{d}_1(t)\leqslant\alpha<1$,$\dot{d}_2(t)$

收稿日期:2010-03-01;修订日期:2010-06-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(60974004)

作者简介:马跃超(1963-),男,辽宁铁岭人,燕山大学教授,博士,主要研究方向为鲁棒控制、广义系统、复杂系统,E-mail:myc6363@126.com

$\leqslant \beta < 1$,假定所有状态是可测的.

假定系统的不确定性参数具有如下形式:

$$\begin{cases} \Delta A = E_1F_1(t)H_1, \Delta B = E_2F_2(t)H_2 \\ \Delta A_1 = E_3F_3(t)H_3, \Delta B_1 = E_4F_4(t)H_4 \\ \Delta B_w = E_5F_5(t)H_5, \Delta C = E_6F_6(t)H_6 \\ \Delta D = E_7F_7(t)H_7, \Delta C_1 = E_8F_8(t)H_8 \\ \Delta D_1 = E_9F_9(t)H_9, \Delta D_w = E_{10}F_{10}(t)H_{10} \end{cases} \tag{2}$$

式中:$E_i, H_i (i = 1, 2, \cdots, 10)$是已知的适当维数的常数矩阵;$F_i^{\mathrm{T}}(t)F_i(t) \leqslant I_{gi}, i = 1, 2, \cdots, 10, F_i(t)$的每个元素是 Lebesgue 可测的,$i = 1, 2, \cdots, 10$.

定义 1[1] 当干扰 $w(t) = 0$ 时,若存在可逆矩阵 P,及对称矩阵 S,对所有容许的不确定性成立,则系统(1)的自治系统是广义二次稳定的充分条件是满足下面矩阵不等式

$$E^{\mathrm{T}}P = P^{\mathrm{T}}E \geqslant 0, \tag{3}$$

$$\begin{bmatrix} (A + \Delta A)^{\mathrm{T}}P + P^{\mathrm{T}}(A + \Delta A) & P^{\mathrm{T}}(A_1 + \Delta A_1) \\ * & -(1-\alpha)S \end{bmatrix} < 0.$$

定义 2[1] 对于系统(1)的自治系统,如果存在一个非负定函数 $V(x(t))$,使得无源不等式 $\dot{V}(x(t)) \leqslant w^{\mathrm{T}}(t)z(t)$, $\forall t \geqslant 0$ 对于任意的输入信号 $w(t) \in L_2[0, \infty)$ 和所有容许的不确定性成立,则称系统(1)的自治系统是鲁棒无源的,当不等式严格成立时,系统称为鲁棒严格无源的.

引理 1(Schur 补) 对于给定的对称矩阵 $\Phi = \begin{bmatrix} \Phi_{11} & \Phi_{12} \\ \Phi_{21} & \Phi_{22} \end{bmatrix}$,其中 Φ_{11}, Φ_{22} 是对称负定矩阵,则以下3个条件是等价的:①$\Phi < 0$;②$\Phi_{11} < 0, \Phi_{22} - \Phi_{21}\Phi_{11}^{-1}\Phi_{12} < 0$;③$\Phi_{22} < 0, \Phi_{11} - \Phi_{12}\Phi_{22}^{-1}\Phi_{21} < 0$.

引理 2[9] 给定适当维数的矩阵 Q、H、M,其中 Q 对称,则

$$Q + HFM + M^{\mathrm{T}}F^{\mathrm{T}}H^{\mathrm{T}} < 0$$

对所有满足 $F^{\mathrm{T}}F \leqslant I$ 的 F 成立,当且仅当存在一个常量 $\varepsilon > 0$,满足:

$$Q + \varepsilon HH^{\mathrm{T}} + \varepsilon^{-1}M^{\mathrm{T}}M < 0.$$

考虑如下观测器与控制器:

$$\begin{cases} E\dot{\xi}(t) = A_C\xi(t) + A_D\xi(t - d_1(t)) + B_Cu(t) + \\ \qquad B_Du(t - d_2(t)) + L[y(t) - \hat{y}(t)] \\ u(t) = -K\xi(t) \\ \hat{y}(t) = C_2\xi(t) + D_2u(t) \end{cases} \tag{4}$$

式中:$\xi(t) \in \mathbf{R}^n$ 是状态 $x(t)$ 的估计;$K \in \mathbf{R}^{m \times n}$ 是控制增益矩阵;$L \in \mathbf{R}^{n \times q}$ 是观测器增益矩阵.

令 $e(t) = x(t) - \xi(t)$,则由系统(1)与控制器(4)可组成如下增广闭环系统(5):

$$\begin{cases} \begin{bmatrix} E & 0 \\ 0 & E \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}(t) \\ \dot{e}(t) \end{bmatrix} = \\ \begin{bmatrix} A + \Delta A - BK - \Delta BK & (B + \Delta B)K \\ (A + \Delta A - BK - \Delta BK & (A_C + \Delta BK + BK \\ \quad -A_C + B_CK) & \quad -B_CK + LC_2) \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t) \\ e(t) \end{bmatrix} + \\ \begin{bmatrix} A_1 + \Delta A_1 & 0 \\ A_1 - A_D + \Delta A_1 & A_D \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t - d_1(t)) \\ e(t - d_1(t)) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} B_w + \Delta B_w \\ B_w + \Delta B_w \end{bmatrix} w(t) + \\ \begin{bmatrix} -(B_1 + \Delta B_1)K & (B_1 + \Delta B_1)K \\ -(B_1 - B_D + \Delta B_1)K & (B_1 - B_D + \Delta B_1)K \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x(t - d_2(t)) \\ e(t - d_2(t)) \end{bmatrix}, \\ z(t) = (C + \Delta C - DK - \Delta DK)x(t) + (C_1 + \Delta C_1) \\ \qquad x(t - d_1(t)) - (D_1 + \Delta D_1)Kx(t - d_2(t)) + \\ \qquad (D + \Delta D)Ke(t) + (D_1 + \Delta D_1)Ke(t - \\ \qquad d_2(t)) + (D_w + \Delta D_w)w(t) \end{cases} \tag{5}$$

2 主要结果

定理 1 对带有时变不确定广义系统(1),若存在可逆矩阵 P_1、P_2、S_1、S_2、R_1、R_2,矩阵 K、L 以及常数 $\varepsilon > 0$,满足 $E^{\mathrm{T}}P = P^{\mathrm{T}}E \geqslant 0, E^{\mathrm{T}}R = R^{\mathrm{T}}E \geqslant 0$,以及

$$\begin{bmatrix} N_1 & N_2^{\mathrm{T}} \\ N_2 & -\varepsilon I \end{bmatrix} < 0 \tag{6}$$

其中,

$$N_1 = \begin{bmatrix} \sum_{11} & P_1^{\mathrm{T}}A_1 & -P_1^{\mathrm{T}}B_1 & \sum_{14} \\ * & -(1-\alpha)S_1 & 0 & (A_1 - A_D)^{\mathrm{T}}P_2 \\ * & * & -(1-\beta)R_1 & -(B_1 - B_D)^{\mathrm{T}}P_2 \\ * & * & * & \sum_{44} \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \end{bmatrix} \rightarrow$$

$$\begin{bmatrix} 0 & P_1^{\mathrm{T}}B & P_1^{\mathrm{T}}B_w + (C - DK)^{\mathrm{T}} \\ 0 & 0 & C_1^{\mathrm{T}} \\ 0 & 0 & -D_1^{\mathrm{T}} \\ P_2^{\mathrm{T}}A_D & P_2^{\mathrm{T}}(B_1 - B_D) & P_2^{\mathrm{T}}B_w + K^{\mathrm{T}}D^{\mathrm{T}} \\ -(1-\alpha)S_2 & 0 & 0 \\ * & -(1-\beta)R_2 & D_1^{\mathrm{T}} \\ * & * & 2D_w + \varepsilon\sum_{i=6}^{10}E_iE_i^{\mathrm{T}} \end{bmatrix},$$

$$N_2=\begin{bmatrix} H_1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -H_2K & 0 & 0 & H_2K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & H_3 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -H_4 & 0 & 0 & H_4 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_5 \\ H_6 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ -H_7K & 0 & 0 & H_7K & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -H_9 & 0 & 0 & H_9 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{10} \end{bmatrix},$$

$$\sum\nolimits_{11}=(A-BK)^{\mathrm T}P_1+P_1^{\mathrm T}(A-BK)+S_1+K^{\mathrm T}R_1K+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}P_1^{\mathrm T}E_iE_i^{\mathrm T}P_2;$$

$$\sum\nolimits_{14}=P_1^{\mathrm T}BK+(A-A_C-BK+B_CK)^{\mathrm T}P_2+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}P_1^{\mathrm T}E_iE_i^{\mathrm T}P_2;$$

$$\sum\nolimits_{44}=2(A_C+BK-B_CK+LC_2)^{\mathrm T}P_2+S_2+K^{\mathrm T}R_2K+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}P_2^{\mathrm T}E_iE_i^{\mathrm T}P_2.$$

则闭环系统(5)对所有容许的不确定性(2)是广义二次稳定且鲁棒严格无源的.

证明　首先构造如下的 Lyapunov 函数：

$$V(x(t),e(t))=\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}^{\mathrm T}\begin{bmatrix}E^{\mathrm T}P_1 & 0\\ 0 & E^{\mathrm T}P_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}+\int_{t-d_2(t)}^{t}\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}^{\mathrm T}\begin{bmatrix}K^{\mathrm T}R_1K & 0\\ 0 & K^{\mathrm T}R_2K\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}\mathrm dt+\int_{t-d_1(t)}^{t}\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}^{\mathrm T}\begin{bmatrix}S_1 & 0\\ 0 & S_2\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x(t)\\e(t)\end{bmatrix}\mathrm dt.$$

则 $V(x(t),e(t))$ 是正定的，$V(x(t),e(t))$ 对时间求导数并得到：

$$\dot V-z^{\mathrm T}(t)w(t)-w^{\mathrm T}(t)z(t)\leqslant\eta^{\mathrm T}(t)\Omega\eta(t).$$

其中，

$$\eta^{\mathrm T}(t)=[x^{\mathrm T}(t)\quad x^{\mathrm T}(t-d_1(t))\quad x^{\mathrm T}(t-d_2(t))K^{\mathrm T}\quad e^{\mathrm T}(t)\quad e^{\mathrm T}(t-d_1(t))\quad e^{\mathrm T}(t-d_2(t))K^{\mathrm T}\quad w^{\mathrm T}(t)].$$

$$\Omega=\begin{bmatrix} \Phi_{11} & P_1^{\mathrm T}A_1 & -P_1^{\mathrm T}B_1 & \Phi_{14} & 0 & P_1^{\mathrm T}B_1 & P_1^{\mathrm T}B_w+(C-DK)^{\mathrm T} \\ * & -(1-\alpha)S_1 & 0 & (A_1-A_D)^{\mathrm T}P_2 & 0 & 0 & C_1^{\mathrm T} \\ * & * & -(1-\beta)R_1 & -(B_1-B_D)^{\mathrm T}P_2 & 0 & 0 & -D_1^{\mathrm T} \\ * & * & * & \Phi_{44} & P_2^{\mathrm T}A_D & P_2^{\mathrm T}(B_1-B_D) & P_2^{\mathrm T}B_w+K^{\mathrm T}D^{\mathrm T} \\ * & * & * & * & -(1-\alpha)S_2 & 0 & 0 \\ * & * & * & * & * & -(1-\beta)R_2 & D_1^{\mathrm T} \\ * & * & * & * & * & * & 2D_w \end{bmatrix}+O_1O_2O_3+(O_1O_2O_3)^{\mathrm T}.$$

其中，

$$O_1=\begin{bmatrix} P_1^{\mathrm T}E_1 & P_1^{\mathrm T}E_2 & P_1^{\mathrm T}E_3 & P_1^{\mathrm T}E_4 & P_1^{\mathrm T}E_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ P_2^{\mathrm T}E_1 & P_2^{\mathrm T}E_2 & P_2^{\mathrm T}E_3 & P_2^{\mathrm T}E_4 & P_2^{\mathrm T}E_5 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & E_6 & E_7 & E_8 & E_9 & E_{10} \end{bmatrix},$$

$$\Phi_{11}=(A-BK)^{\mathrm T}P_1+P_1^{\mathrm T}(A-BK)+S_1+K^{\mathrm T}R_1K;$$

$$\Phi_{44}=2(A_C+BK-B_CK+LC_2)^{\mathrm T}P_2+S_2+K^{\mathrm T}R_2K;$$

$$\Phi_{14}=P_1^{\mathrm T}BK+(A-B_C-BK+B_CK)^{\mathrm T}P_2;$$

$$O_2=\mathrm{diag}(F_1(t),F_2(t),F_3(t),F_4(t),F_5(t),F_6(t),F_7(t),F_8(t),F_9(t),F_{10}(t));$$

$$O_3=N_2.$$

再根据引理 1 和引理 2，上式对所有允许的不确定性(2)成立，当且仅当存在标量 ε，使得式(6)成立，可知

$$\dot V-z^{\mathrm T}(t)w(t)-w^{\mathrm T}(t)z(t)\leqslant\eta^{\mathrm T}(t)\Omega\eta(t),$$

所以 $\dot V\leqslant 2w^{\mathrm T}(t)z(t)$，故取 $\tilde V(x(t))=1/2V(x(t))$，根据定义 1.2，定理条件和上面的证明过程，可得闭环系统是严格无源且广义二次稳定的. 证毕.

定理 2　对带有时变不确定广义系统(1)，若存在可逆矩阵 P_1,P_2,S_1,S_2,R_1,R_2，矩阵 K,L 以及常数 $\varepsilon>0,\varepsilon_i>0,i=1,2,\cdots,10$，使其满足：

$$\begin{bmatrix} T_1 & T_2 & T_3 & T_4 \\ * & -\varepsilon I & 0 & 0 \\ * & * & T_5 & 0 \\ * & * & * & T_6 \end{bmatrix}<0 \tag{7}$$

其中，

$$T_1=\begin{bmatrix}\prod_{11} & A_1M & -B_1T & \prod_{14} & 0 & B_1Q & B_w+X^TC-W^TD\\ * & -(1-\alpha)M^T & 0 & N^TA_1^T & 0 & 0 & M^TC_1^T\\ * & * & -(1-\beta)T^T & -T^TB_1^T & 0 & 0 & -T^TD_1^T\\ * & * & * & \prod_{44} & 0 & B_1Q & B_w+W^TD^T\\ * & * & * & * & -(1-\alpha)N^T & 0 & 0\\ * & * & * & * & * & -(1-\beta)Q^T & Q^TD_1^T\\ * & * & * & * & * & * & 2D_w+\varepsilon\sum_{i=6}^{10}E_iE_i^T\end{bmatrix};$$

$$T_2=\begin{bmatrix}XH_1^T & -W^TH_2^T & 0 & 0 & 0 & XH_6^T & -W^TH_7^T & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & N^TH_3^T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & -T^TH_4^T & 0 & 0 & 0 & 0 & -T^TH_9^T & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & W^TH_2^T & 0 & 0 & 0 & 0 & W^TH_7^T & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & Q^TH_4^T & 0 & 0 & 0 & 0 & Q^TH_9^T & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & H_5^T & 0 & 0 & 0 & 0 & H_{10}^T\end{bmatrix};$$

$$T_3=\begin{bmatrix}X^T & W^T & X^T & W^T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & N^T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & T^T & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & X^T & W^T & X^T & W^T & 0 & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & N^T & 0\\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & Q^T\end{bmatrix};$$

$$T_4=\begin{bmatrix}0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0\\A_C&B_C&A_D&B_D&A_D&B_D&A_C&B_C\\0&0&0&0&0&0&0&0\\0&0&0&0&0&0&0&0\end{bmatrix};$$

$$T_5=\mathrm{diag}(-M,-T,\varepsilon_1^{-1}I,-\varepsilon_2^{-1}I,\varepsilon_3^{-1}I,-\varepsilon_4^{-1}I,-N,-Q,-\varepsilon_7I,\varepsilon_8I,-\varepsilon_5I,\varepsilon_6^{-1}I);$$

$$T_6=\mathrm{diag}(\varepsilon_1I,-\varepsilon_2^{-1}I,\varepsilon_3I,-\varepsilon_4^{-1}I,-\varepsilon_5^{-1}I,\varepsilon_6^{-1}I,-\varepsilon_7^{-1}I,\varepsilon_8^{-1}I);$$

$$\prod_{11}=X^TA^T+AX-BW-W^TB^T+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}E_iE_i^T;$$

$$\prod_{14}=BW+X^TA^T-W^TB^T+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}E_iE_i^T;$$

$$\prod_{44}=2W^TB-Y-Y^T+\varepsilon\sum_{i=1}^{5}E_iE_i^T.$$

则闭环系统(5)对所有容许的不确定性(2)是广义二次稳定且鲁棒严格无源的.并且控制器增益和观测器增益分别为:

$$K=WX^{-1},L=YX^{-1}C_2^{-1}$$

证明:令 $P_1=P_2$ 并对式(5)右乘矩阵 $\mathrm{diag}(P^{-1},S_1^{-1},R_1^{-1},P^{-1},S_2^{-1},R_2^{-1},I)$,左乘其转置,令 $X=P^{-1},M=S_1^{-1},N=S_2^{-1},T=R_1^{-1},Q=R_2^{-1},K=WX^{-1},L=YX^{-1}C_2^{-1}$,并利用引理 1(Schur 补)即可得定理的不等式成立,证毕.

3 数值算例

系统(1)和各参数矩阵如下:

$$E=\begin{bmatrix}-1&0.2\\0.3&-0.4\end{bmatrix},A=\begin{bmatrix}0.09&-0.6\\-0.3&0.8\end{bmatrix},$$

$$A_1=\begin{bmatrix}0.6&0.12\\0.4&0.12\end{bmatrix},B_1=\begin{bmatrix}0.13&-0.21\\0.9&0.12\end{bmatrix},$$

$$B=\begin{bmatrix}-0.2&0.6\\-0.6&0.7\end{bmatrix},B_w=\begin{bmatrix}0.1&0\\0&0.1\end{bmatrix},$$

$$C=\begin{bmatrix}0.1&0.2\\-0.4&0.3\end{bmatrix},C_1=\begin{bmatrix}0.12&0\\0&-0.1\end{bmatrix},$$

$$C_2=\begin{bmatrix}0.14&0\\0&0.2\end{bmatrix},D=\begin{bmatrix}0.1&0.2\\0.3&0.2\end{bmatrix},$$

$$D_1=\begin{bmatrix}0.13&0.2\\0.13&0.11\end{bmatrix},D_2=\begin{bmatrix}0.1&0\\0&0.2\end{bmatrix},$$

$$D_w=\begin{bmatrix}0.1&0\\0&0.2\end{bmatrix},E_1=\begin{bmatrix}0.5\\-1000\end{bmatrix},E_2=\begin{bmatrix}0.5\\-2\end{bmatrix},$$

$$E_3=\begin{bmatrix}-0.3\\2\end{bmatrix},E_4=\begin{bmatrix}-0.3\\0.1\end{bmatrix},E_5=\begin{bmatrix}0.4\\-5\end{bmatrix},$$

$$E_6=\begin{bmatrix}0.4\\-5\end{bmatrix},E_7=\begin{bmatrix}0.5\\-5\end{bmatrix},E_8=\begin{bmatrix}0.1\\-1\end{bmatrix},$$

$$E_9=\begin{bmatrix}0.1\\-5\end{bmatrix},E_{10}=\begin{bmatrix}-0.2\\-5\end{bmatrix}H_1=[0.1\quad 0.8],$$

$$H_2=[0.1\quad 0.1],H_3=[0.1\quad 0.3],$$

$$H_4=[0.1\quad 0.1],H_5=[0.1\quad 0.1],$$

$$H_6=[0.1\quad 0.2],H_7=[0.2\quad 0.1],$$

$$H_8=[0.2\quad -0.4],H_9=[0.1\quad 0.3],$$

$H_{10}=[0.1\quad -0.2]$,选择 $\varepsilon=0.1,\alpha=0.2,\beta=0.5$. 根据定理 2,利用 LMI 工具箱,最后可求得控制器增益矩阵和观测增益矩阵分别为

$$K=\begin{bmatrix}2.1564 & 1.4214\\1.5931 & -0.1023\end{bmatrix},$$

$$L=10^3\begin{bmatrix}-2.0187 & -0.5912\\-1.1632 & -0.5760\end{bmatrix}.$$

4 结束语

针对一类含有参数不确定性的状态、控制输入和输出都含有时变时滞的广义系统,利用线性矩阵不等式方法,设计了状态矩阵、控制输入矩阵和原广义系统的状态矩阵、控制输入矩阵都不一致并且是未知的观测器型控制器,得到了闭环系统广义二次稳定且鲁棒严格无源的充分条件,并进一步通过应用 LMI 工具箱的求解,得到控制器增益和观测器增益. 通过数值算例验证了所提出方法的可行性.

参考文献:

[1] 董心壮,张庆灵. 时变不确定广义系统的鲁棒无源控制[J]. 控制理论与应用,2004,21(4):517 - 520.

[2] 张秀华, 张庆灵. 线性广义系统无源控制[J]. 控制与决策,2006. 21(1):81 - 83.

[3] LIEN C H. Robust observer-based control of systems with sate perturbations via LMI approach [J]. IEEE transactions on Automatic control,2004,49(8)1365 - 1370.

[4] CUI B T, HUA M G. Observer-based passive control of linear time-delay systems with parameter uncertainty [J]. Chaos, Solitons and Fractals,2007,32(1):160 - 167.

[5] 杨帆,张庆灵. 基于观测器的不确定广义时滞系统保成本控制[J]. 控制与决策,2005,20(10):1177 - 1180.

[6] 张艳,张庆灵. 不确定 T - S 模糊广义系统基于观测器的无源控制[J]. 系统仿真学报,2009,21(8):6458 - 6461.

[7] 刘晓华,杨园华. 基于观测器晓的不确定广义时滞系统. 鲁棒控制与预测控制[J]. 控制与决策,2009,24(4):606 - 610.

[8] 李琴,张庆灵,张艳. 基于观测器的不确定广义系统的鲁棒无源控制[J]. 东北大学学报:自然科学版,2008,29(3):308 - 311.

[9] XIE L H. Output feedback control of systems with parameter uncertainty[J]. Int J Conrtrol,1996,63(4):741 - 751.

Observer-based Robust Passive Control of Descriptor Systems with Time-varying Delay

MA Yue - chao[1], FAN Gui - ying[1], ZHANG Qing - ling[2]

(1. School of Science, Yanshan University, Qinhuangdao 066004, China; 2. Institute of Science ,Northeastern University, Shenyang 110004, China)

Abstract: As for a class of parameter uncertain descriptor systems with time-varying delay in state equation, controlling input equation and output equation, the problem of observer-based robust passive control is discussed. Suppose that the time-varying uncertain parameters are norm-bounded, but the matched conditions are not required to satisfy. Utilizing the methods of Lyapunov function and the linear matrix inequality(LMI), the sufficient condition for the generalized quadratic stability and the robust strictly passive of the closed-loop system are given. Moreover, the observer gain and the controller gain are constructed . Finally, a numerical example is given to show the validity of the proposed approach.

Key words: descriptor systems; passive control; time-delayed systems; observer; linear matrix inequality (LMI); generalized quadratic stability