文章编号: 1001-0920 (2012) 04-0623-04

不确定时滞双线性广义系统的鲁棒耗散控制

苏晓明, 肖梅娥
(沈阳工业大学 理学院，沈阳 110870)

摘 要: 针对带有耗散不确定性的时滞双线性广义系统的鲁棒耗散控制问题, 首先将耗散不确定性引入双线性广义系统, 利用线性矩阵不等式方法给出系统鲁棒稳定且严格耗散的充分条件; 然后利用线性矩阵不等式的解, 构造出闭环系统鲁棒耗散的状态反馈控制器; 最后通过数值算例验证了所得结论的可行性.

关键词: 耗散不确定性；鲁棒稳定；严格耗散；线性矩阵不等式
中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Robust dissipative control for time-delay bilinear singular systems with uncertainties

SU Xiao-ming, XIAO Mei-e
(School of Science，Shenyang University of Technology，Shenyang 110870，China．Correspondent：XIAO Mei-e, E-mail：xiaomeiyan19870430@126.com)

Abstract: The problem of robust dissipative control for time-delay bilinear singular systems with dissipative uncertainties is studied. Firstly, the conception of dissipative uncertainties is introduced into bilinear singular systems. The sufficient condition of robust stable and strict dissipativity for singular systems is obtained by means of linear matrix inequalities(LMI). Then the robust dissipative state feedback controller which guarantees robust stable and strict dissipativity for the closed-loop systems is constructed by using the solutions of LMI. Finally, a numerical example is provided to illustrate the feasibility of the proposed conclusion.

Key words: dissipative uncertainties；robust stability；strict dissipative；linear matrix inequalities

1 引 言

近年来, 不确定时滞系统受到了人们的广泛重视, 并取得了很多有价值的成果[1-2]. 耗散不确定性是范数有界不确定性和正实不确定性的广义化[3]. 文献 [4] 利用线性矩阵不等式的方法考虑了耗散不确定性, 研究了线性离散系统的鲁棒严格耗散控制问题. [1] 和 [5] 对广义系统的鲁棒耗散控制问题进行了较为系统的研究. 目前, 有关时滞双线性广义系统的稳定性和无源性问题的研究已经取得了许多成果[6-7], 但对于双线性系统的耗散性研究却很少涉猎. 因此, 研究不确定时滞双线性广义系统的耗散控制具有重要意义.

本文在状态空间下将耗散不确定性引入双线性系统, 讨论了具有状态时滞的不确定双线性广义系统的严格耗散控制问题, 并给出了鲁棒耗散控制器的设计方法.

2 系统描述与预备知识

考虑如下不确定时滞双线性广义系统:

$$\begin{aligned}
&E\dot{x}(t) = \\
&Ax(t) + A_d x(t-d) + Bw(t) + \\
&\sum_{i=1}^{n} N_i x_i(t) u(t) + B_1 u(t) + \sum_{i=1}^{L} H_i p_i(t), \\
&z(t) = Cx(t) + Dw(t) + D_1 u(t) + \sum_{i=1}^{L} H_{zi} p_i(t), \\
&q_i(t) = F_i x(t) + F_{di} x(t-d) + F_{wi} w(t) + \\
&\qquad F_{ui} u(t) + \sum_{j=1}^{L} F_{pi,j} p_j(t), \\
&x(t) = \phi(t),\ t \in [-d, 0].
\end{aligned} \tag{1}$$

收稿日期: 2011-04-20；**修回日期:** 2011-07-15.
基金项目: 国家自然科学基金项目(61074005).
作者简介: 苏晓明(1964−), 男, 教授, 从事系统的结构分析及其控制等研究；肖梅娥(1987−), 女, 硕士生, 从事非线性系统的耗散控制研究.

其中: $\sum_{i=1}^{n} N_i x_i(t)u(t)$ 为系统的双线性部分, $p_i(t)\in R^{k_i}$ 和 $q_i(t)\in R^{h_i}$ 为不确定向量.

对系统 (1) 选取如下二次能量函数:

$$r(w,z)=\langle z,Qz\rangle_T+2\langle z,Sw\rangle_T+\langle w,Rw\rangle_T. \quad (2)$$

其中: $\langle u,v\rangle_T=\int_0^T u^{\mathrm{T}}v\mathrm{d}t, \forall T\geqslant 0$; Q,S,R 为适当维数的权矩阵, 且 Q,R 为对称矩阵.

定义 1[3] 对于系统 (1), 若各不确定性变量 $p_i(t)$ 和 $q_i(t)$ 分别满足下列二次型耗散不等式:

$$\langle p_i,Q_ip_i\rangle_T+2\langle p_i,S_iq_i\rangle_T+\langle q_i,R_iq_i\rangle_T\leqslant 0,$$
$$i=1,2,\cdots,L, \quad (3)$$

则称系统具有耗散不确定性. 其中 Q_i,S_i,R_i 为适当维数的权矩阵, Q_i,R_i 对称且满足:

1) $R_i\leqslant 0$, $i=1,2,\cdots,L$;

2) $Q_i+S_iF_{pi}+F_{pi}^{\mathrm{T}}S_i^{\mathrm{T}}+F_{pi}^{\mathrm{T}}R_iF_{pi}>0$.

定义 2 系统 (1) 称为严格 (Q,S,R)-耗散的, 如果对于任何 $T\geqslant 0$ 存在某一常数 $\alpha>0$, 在零初始状态下满足 $r(w,z)\leqslant -\alpha\langle w,w\rangle_T$. 其中 Q,S,R 满足:

1) $Q\geqslant 0$;

2) $R+D^{\mathrm{T}}S+S^{\mathrm{T}}D+D^{\mathrm{T}}QD<0$.

定义 3[2] 设系统 (1) 的 Lyapunov 函数为

$$L(x,t)=x^{\mathrm{T}}E^{\mathrm{T}}Px+\int_{t-d}^{t}x(\tau)^{\mathrm{T}}Vx(\tau)\mathrm{d}\tau. \quad (4)$$

其中: $P\in R^{n\times n}$, $V\in R^{n\times n}$, 且 $E^{\mathrm{T}}P=P^{\mathrm{T}}E$, $V>0$. 如果存在一个常数 $\varepsilon>0$, 使得 Lyapunov 函数 (4) 对时间 t 的导数 $(w=0)$ 满足 $\dot{L}(x,t)\leqslant -\varepsilon\|x\|^2$, 则称系统 (1) 为鲁棒稳定的.

引理 1 (S-Procesure)[8] 令 F_i 为关于 $\xi(\xi\in R^n)$ 的二次型函数, $F_i(\xi)=\xi^{\mathrm{T}}T_i\xi+2u_i^{\mathrm{T}}\xi+v_i, i=0,1,\cdots,N$, 这里 $T_i=T_i^{\mathrm{T}}, u_i\in R^n, v_i\in R$, 则对于满足 $F_i(\xi)\geqslant 0$ $(i=0,1,\cdots,N)$ 的 ξ, $F_0(\xi)\geqslant 0$ 成立的一个充分条件是: 存在 $\tau_0\geqslant 0,\cdots,\tau_N\geqslant 0$ 对于任意的 ξ 都有

$$F_0(\xi)-\sum_{i=1}^{N}\tau_iF_i(\xi)\geqslant 0.$$

3 鲁棒耗散控制

3.1 鲁棒耗散性分析 $(\boldsymbol{u(t)=0})$

为了叙述简洁, 引入如下简写符号:

$H=[\,H_1,\cdots,H_L\,]$; $H_z=[\,H_{z1},\cdots,H_{zL}\,]$;

$F=[\,F_1^{\mathrm{T}},\cdots,F_L^{\mathrm{T}}\,]^{\mathrm{T}}$; $F_d=[\,F_{d1}^{\mathrm{T}},\cdots,F_{dL}^{\mathrm{T}}\,]^{\mathrm{T}}$;

$F_w=[\,F_{w1}^{\mathrm{T}},\cdots,F_{wL}^{\mathrm{T}}\,]^{\mathrm{T}}$; $F_p=[\,F_{p1}^{\mathrm{T}},\cdots,F_{pL}^{\mathrm{T}}\,]^{\mathrm{T}}$;

$F_{pi}=[\,F_{pi,1},\cdots,F_{pi,L}\,]$, $i=1,2,\cdots,L$;

$\zeta=[\,x^{\mathrm{T}}(t)\ \ x^{\mathrm{T}}(t-d)\ \ w^{\mathrm{T}}(t)\ \ p^{\mathrm{T}}(t)\,]^{\mathrm{T}}$.

在定理证明过程中, 为避免繁琐的细节推导过程, 进一步引入下列简写符号:

$$\varXi=\begin{bmatrix}\varXi_{11} & P^{\mathrm{T}}A_d & P^{\mathrm{T}}B & P^{\mathrm{T}}H\\ A_d^{\mathrm{T}}P & -V & 0 & 0\\ B^{\mathrm{T}}P & 0 & 0 & 0\\ H^{\mathrm{T}}P & 0 & 0 & 0\end{bmatrix},$$

$$\varXi_{11}=A^{\mathrm{T}}P+P^{\mathrm{T}}A+V+P^{\mathrm{T}}P+E^{\mathrm{T}}\rho^2IE,$$

$$\varGamma=\begin{bmatrix}C^{\mathrm{T}}QC & C^{\mathrm{T}}QC_d & C^{\mathrm{T}}QD+C^{\mathrm{T}}S & C^{\mathrm{T}}QH_z\\ 0 & 0 & 0 & 0\\ \varGamma_{31} & 0 & \varGamma_{33} & \varGamma_{34}\\ H_z^{\mathrm{T}}QC & 0 & H_z^{\mathrm{T}}QD+H_z^{\mathrm{T}}S & H_z^{\mathrm{T}}QH_z\end{bmatrix},$$

$\varGamma_{31}=D^{\mathrm{T}}QC+S^{\mathrm{T}}C$,

$\varGamma_{33}=D^{\mathrm{T}}QD+S^{\mathrm{T}}D+D^{\mathrm{T}}S+R$,

$\varGamma_{34}=D^{\mathrm{T}}QH_z+S^{\mathrm{T}}H_z$,

$$\varOmega(Q_i,S_i,R_i,F_i,F_{di},F_{wi},F_{pi})=$$
$$\begin{bmatrix}F_i^{\mathrm{T}}R_iF_i & F_i^{\mathrm{T}}R_iF_{di} & F_i^{\mathrm{T}}R_iF_{wi} & \varOmega_{14}\\ F_{di}^{\mathrm{T}}R_iF_i & F_{di}^{\mathrm{T}}R_iF_{di} & F_{di}^{\mathrm{T}}R_iF_{wi} & \varOmega_{24}\\ F_{wi}^{\mathrm{T}}R_iF_i & F_{wi}^{\mathrm{T}}R_iF_{di} & F_{wi}^{\mathrm{T}}R_iF_{wi} & \varOmega_{34}\\ \varOmega_{41} & \varOmega_{42} & \varOmega_{43} & \varOmega_{44}\end{bmatrix}.$$

其中

$\varOmega_{14}=F_i^{\mathrm{T}}S_{ii}^{\mathrm{T}}+F_i^{\mathrm{T}}R_iF_{pi}$,

$\varOmega_{24}=F_{di}^{\mathrm{T}}S_{ii}^{\mathrm{T}}+F_{di}^{\mathrm{T}}R_iF_{pi}$,

$\varOmega_{34}=F_{wi}^{\mathrm{T}}S_{ii}^{\mathrm{T}}+F_{wi}^{\mathrm{T}}R_iF_{pi}$,

$\varOmega_{41}=S_{ii}F_i+F_{pi}^{\mathrm{T}}R_iF_i$,

$\varOmega_{42}=S_{ii}F_{di}+F_{pi}^{\mathrm{T}}R_iF_{di}$,

$\varOmega_{43}=S_{ii}F_{wi}+F_{pi}^{\mathrm{T}}R_iF_{wi}$,

$\varOmega_{44}=Q_{ii}+S_{ii}F_{pi}+F_{pi}^{\mathrm{T}}S_{ii}^{\mathrm{T}}+F_{pi}^{\mathrm{T}}R_iF_{pi}$,

且

$Q_{ii}=\mathrm{diag}\{\,0_1\ \ \cdots\ \ 0_{i-1}\ \ Q_i\ \ 0_{i+1}\ \ \cdots\ \ 0_L\,\}$,

$S_{ii}^{\mathrm{T}}=\mathrm{diag}\{\,0_1\ \ \cdots\ \ 0_{i-1}\ \ S_i^{\mathrm{T}}\ \ 0_{i+1}\ \ \cdots\ \ 0_L\,\}$.

定理 1 给定对称矩阵 Q,R 和矩阵 S, 且 $Q=Q^{\mathrm{T}}>0$, 如果存在矩阵 $P>0,V>0$ 和标量 $\lambda_i>0, i=1,2,\cdots,L$, 满足

$$E^{\mathrm{T}}P=P^{\mathrm{T}}E\geqslant 0; \quad (5)$$

$$\Big\|\sum_{i=1}^{n}N_ix_i(t)u(t)\Big\|\leqslant\rho\|Ex(t)\|,\ \rho>0\ \text{为常数}; \quad (6)$$

$$\varPi=\begin{bmatrix}\varPi_{11} & \varPi_{12}\\ \varPi_{12}^{\mathrm{T}} & \varPi_{22}\end{bmatrix}<0. \quad (7)$$

其中

$$\varPi_{12}^{\mathrm{T}}=\begin{bmatrix}Q^{1/2}C & Q^{1/2}C_d & Q^{1/2}D & Q^{1/2}H_z\\ \hat{R}_-^{1/2}F & \hat{R}_-^{1/2}F_d & \hat{R}_-^{1/2}F_w & \hat{R}_-^{1/2}F_p\end{bmatrix};$$

$\varPi_{11}=$

$$\varXi+\begin{bmatrix}0 & 0 & C^{\mathrm T}S & -F^{\mathrm T}\hat S^{\mathrm T}\lambda_s\\ 0 & 0 & 0 & -F_d^{\mathrm T}\hat S^{\mathrm T}\lambda_s\\ S^{\mathrm T}C & 0 & \mathcal A_1 & \mathcal A_2\\ -\lambda_s\hat SF & -\lambda_s\hat SF_d & \mathcal A_3 & \mathcal A_4\end{bmatrix},$$

$\mathcal A_1=D^{\mathrm T}S+S^{\mathrm T}D+R,\ \mathcal A_2=S^{\mathrm T}H_z-F_w^{\mathrm T}\hat S^{\mathrm T}\lambda_s,$

$\mathcal A_3=H_z^{\mathrm T}S-\lambda_s\hat SF_w,\ \mathcal A_4=-\lambda_Q\hat Q-\lambda_s\hat SF_p-F_p^{\mathrm T}\hat S^{\mathrm T}\lambda_s;$

$$\varPi_{22}=\begin{bmatrix}-I & 0\\ 0 & -\lambda_R^{-1}\end{bmatrix};$$

$\hat R_-=-\hat R;$

$\lambda_Q,\lambda_S,\lambda_R$ 分别为关于 λ_i 的适当维数的块对角矩阵. 则系统 (1) 对于容许的不确定性是鲁棒稳定且严格 (Q,S,R)-耗散的.

证明　取系统 (1) 的 Lyapunov 函数为

$$L(x,t)=x^{\mathrm T}E^{\mathrm T}Px+\int_{t-d}^{t}x(\tau)^{\mathrm T}Vx(\tau)\mathrm d\tau,\tag{8}$$

记 $\sum\limits_{i=1}^{n}N_ix_i(t)u(t)=Z$, 则其沿系统 (1) 的导数 $\dot L(x,t)\leqslant\varsigma^{\mathrm T}\varXi\varsigma$. 不妨假设

$$\varsigma^{\mathrm T}(\varXi+\varGamma)\varsigma<0.\tag{9}$$

由式 (1) 中的第 3 个式子, 当 $i=1,2,\cdots,L$ 时, 对于所有的 $\varsigma\neq0$, 下面的不等式对式 (3) 是充分的:

$$\varsigma^{\mathrm T}\varOmega\varsigma\leqslant0.\tag{10}$$

因此, 应用引理 2, 若存在 $\lambda_1\geqslant0,\cdots,\lambda_L\geqslant0$, 使得

$$\varXi+\varGamma-\sum_{i=1}^{L}\lambda_i\varOmega<0,\tag{11}$$

则式 (9) 与 (10) 同时成立, 即系统 (1) 具有耗散的不确定性.

由式 (9), 存在一个常数 $\alpha>0$, 使得 $\varsigma^{\mathrm T}(\varXi+\varGamma)\varsigma\leqslant-\alpha w^{\mathrm T}w$, 而

$$\varsigma^{\mathrm T}(\varXi+\varGamma)\varsigma\geqslant\dot L(x,t)+\varsigma^{\mathrm T}\varGamma\varsigma.\tag{12}$$

两边积分, 有

$$L(x,t)+r(w,z)\leqslant-\alpha\langle w,w\rangle_T.$$

由定理 1 中条件可得 $L(x,t)\geqslant0$, 所以

$$r(w,z)\leqslant-\alpha\langle w,w\rangle_T.$$

因此, 系统 (1) 是鲁棒耗散的.

进一步, 令 $w=0$, 由式 (11) 和 (12) 可得到 $\dot L(x,t)+(Cx+H_zp)^{\mathrm T}Q(Cx+H_zp)<0$, 则 $\dot L(x,t)<0$. 因此, 存在 $\varepsilon>0$ 使得 $\dot L(x,t)\leqslant-\varepsilon\|x\|^2$, 故系统 (1) 是鲁棒稳定的.

令 $\lambda_R=\mathrm{diag}\{\lambda_1I_{h1},\cdots,\lambda_LI_{hL}\},\lambda_Q=\lambda_S=\mathrm{diag}\{\lambda_1I_{k1},\cdots,\lambda_LI_{kL}\}$, 则式 (10) 可以表示为

$$\varXi+\varGamma-\varOmega(\lambda_Q\hat Q,\lambda_S\hat S,\lambda_R\hat R,F_i,F_d,F_w,F_p)<0.$$

又 $\hat R_-=-\hat R>0$, 再由 Schur 补引理, 即可得到式 (7). 由此定理 1 得证. □

3.2　鲁棒耗散控制器设计

设系统 (1) 的状态反馈控制器为

$$u(t)=Kx(t).\tag{13}$$

将 $u(t)=Kx(t)$ 代入, 则可得到闭环系统

$$\begin{cases}E\dot x(t)=\\ \tilde Ax(t)+A_dx(t-d)+\\ \sum\limits_{i=1}^{n}N_ix_i(t)Kx(t)+Bw(t)+\sum\limits_{i=1}^{L}H_ip_i(t),\\ z(t)=\tilde Cx(t)+Dw(t)+\sum\limits_{i=1}^{L}H_{zi}p_i(t),\\ q_i(t)=\tilde F_ix(t)+F_{di}x(t-d)+F_{wi}w(t)+\\ \qquad\sum\limits_{j=1}^{L}F_{pi,j}p_j(t),\\ x(t)=\phi(t),\ t\in[-d,0].\end{cases}\tag{14}$$

其中: $\tilde A=A+B_1K,\tilde C=C+D_1K,\tilde F_i=F_i+F_{ui}K.$

定理 2　给定对称矩阵 Q,R 和矩阵 S, 且 $Q=Q^{\mathrm T}>0$. 如果存在正定阵 U 和 T 以及可逆矩阵 $X>0$, $V>0,W,\alpha_s,\lambda_R$, 满足下列线性矩阵不等式:

$$\varPhi=\Big\{x:U\geqslant\Big(\sum_{i=1}^{n}x_i(t)N_i\Big)^{\mathrm T}T\Big(\sum_{i=1}^{n}x_i(t)N_i\Big)\Big\}\subset R^n,\tag{15}$$

$$EX=X^{\mathrm T}E^{\mathrm T}\geqslant0,\tag{16}$$

$$\begin{bmatrix}(AX+B_1W)^{\mathrm T}+(AX+B_1W)+T^{-1} & * & * & * & * & * & * & *\\ A_d^{\mathrm T} & -V & * & * & * & * & * & *\\ B^{\mathrm T}+S^{\mathrm T}(CX+D_1W) & 0 & D^{\mathrm T}S+S^{\mathrm T}D+R & * & * & * & * & *\\ \alpha_sH-\hat S(CX+D_1W) & -\hat SF_d & \alpha_sH_z^{\mathrm T}S-\hat SF_w & -\hat Q\alpha_s-\hat SF_p\alpha_s-\alpha_sF_p^{\mathrm T}\hat S^{\mathrm T} & * & * & * & *\\ Q^{1/2}(CX+D_1W) & 0 & Q^{1/2}D & Q^{1/2}H_z\alpha_s & -I & * & * & *\\ \hat R_-^{1/2}(FX+F_uW) & R_-^{1/2}F_d & R_-^{1/2}F_w & R_-^{1/2}F_p\alpha_s & 0 & -\lambda_R^{-1} & * & *\\ X & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -V^{-1} & *\\ W & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & -U^{-1}\end{bmatrix}<0,\tag{17}$$

其中 “$*$” 表示关于对角线的对称项, 则系统 (1) 在状

态反馈控制器 (13) 作用下的闭环系统 (14) 是鲁棒稳定且是严格 (Q,S,R)-耗散的.

证明 取系统 (14) 的 Lyapunov 函数为

$$L(x,t)=x^{\mathrm{T}}E^{\mathrm{T}}Px+\int_{t-d}^{t}x(\tau)^{\mathrm{T}}Vx(\tau)\mathrm{d}\tau.$$

由式 (15) 的集合, 有 $Z^{\mathrm{T}}TZ\leqslant x^{\mathrm{T}}(t)K^{\mathrm{T}}UKx$, 从而 $\dot{L}(x,t)\leqslant\varsigma^{\mathrm{T}}\tilde{\Xi}\varsigma$. 其中

$$\tilde{\Xi}=\begin{bmatrix}\tilde{\Xi}_{11} & P^{\mathrm{T}}A_d & P^{\mathrm{T}}B & P^{\mathrm{T}}H\\ A_d^{\mathrm{T}}P & -V & 0 & 0\\ B^{\mathrm{T}}P & 0 & 0 & 0\\ H^{\mathrm{T}}P & 0 & 0 & 0\end{bmatrix},$$

$$\tilde{\Xi}_{11}=\tilde{A}^{\mathrm{T}}P+P^{\mathrm{T}}\tilde{A}+V+P^{\mathrm{T}}T^{-1}P+K^{\mathrm{T}}UK.$$

由定理 1, 将 $\tilde{A}=A+B_1K,\tilde{C}=C+D_1K,\tilde{F}_i=F_i+F_{ui}K$ 代入不等式 (7), 然后将得到的不等式分别左乘

$$\mathrm{diag}\{\,(P^{-1})^{\mathrm{T}}\quad I\quad I\quad \lambda_s^{-1}\quad I\quad I\,\},$$

右乘

$$\mathrm{diag}\{\,P^{-1}\quad I\quad I\quad \lambda_s^{-1}\quad I\quad I\,\},$$

并令 $X=P^{-1},KX=W,\alpha_s=\lambda_s^{-1}$, 再利用 Schur 补引理, 即可得到式(17). □

4 数值算例

系统 (14) 的参数为

$$E=\begin{bmatrix}1&0\\0&0\end{bmatrix};\ A=\begin{bmatrix}-36&-13\\15&-52\end{bmatrix};$$

$$A_d=\begin{bmatrix}0&0.5\\0&1.5\end{bmatrix};\ B=\begin{bmatrix}0&2\\0.5&1\end{bmatrix};$$

$$B_1=\begin{bmatrix}10&0\\0&-5\end{bmatrix};\ C=\begin{bmatrix}0.5&1\\0&-1\end{bmatrix};$$

$$D=\begin{bmatrix}-1.5&0\\0&1\end{bmatrix};\ D_1=\begin{bmatrix}1&0\\1&1\end{bmatrix};$$

$$N_i=\begin{bmatrix}2&0\\1&3\end{bmatrix},\ i=1,2;\ F=\begin{bmatrix}-1&0\\1&2\\-2&1\\3&0\end{bmatrix};$$

$$F_d=\begin{bmatrix}0&3\\0&1\\2&1\\0&3\end{bmatrix};\ F_p=\begin{bmatrix}2&0&1&4\\0&3&-1&-2\\-1&0&5&1\\0&1&2&3\end{bmatrix};$$

$$F_w=\begin{bmatrix}1&2\\3&0\\-1&5\\3&1\end{bmatrix};\ F_u=\begin{bmatrix}0&2\\0&3\\2&1\\1&3\end{bmatrix};$$

$$S_1=\begin{bmatrix}-5&0\\0&-3\end{bmatrix};\ S_2=\begin{bmatrix}-2&0\\-1&-4\end{bmatrix};$$

$$Q_1=Q_2=\begin{bmatrix}50.5&0\\0&50.5\end{bmatrix};$$

$$R_1=R_2=\begin{bmatrix}-0.5&0\\0&-0.5\end{bmatrix};$$

$$H=\begin{bmatrix}2&1&0&1\\0&-1&4&5\end{bmatrix};$$

$$H_z=\begin{bmatrix}5&0&6&2.5\\0&0.5&2.5&-3\end{bmatrix};$$

$$Q=\begin{bmatrix}1&0\\0&1\end{bmatrix};\ S=\begin{bmatrix}0&-10\\5&-1\end{bmatrix};$$

$$R=\begin{bmatrix}-60&0\\0&-90\end{bmatrix}.$$

则利用 Matlab 中的 LMI 工具箱, 可以解得线性矩阵不等式 (16) 和 (17) 有如下可行解:

$$X=\begin{bmatrix}4.2799&0\\1.5916&5.2873\end{bmatrix},$$

$$W=\begin{bmatrix}-1.5319&-2.0934\\-0.7742&-0.3695\end{bmatrix}.$$

进而, 可求得系统 (14) 的耗散状态反馈控制器为

$$u(t)=\begin{bmatrix}-0.2107&-0.3959\\-0.1549&-0.0699\end{bmatrix}x(t).$$

5 结 论

本文研究了不确定时滞双线性广义系统的鲁棒耗散控制问题. 将耗散不确定性引入双线性系统, 利用二次型供给率和线性矩阵不等式 (LMI) 得到了系统鲁棒稳定且严格耗散的充分条件, 并给出了相应的状态反馈控制器构造方法, 使得闭环系统鲁棒稳定且是严格耗散的.

参考文献(References)

[1] Yang Li, Zhang Qing-ling, Liu Guo-yi. Robust dissipative control of linear time-delay systems with uncertainties[J]. Control Engineering of China, 2006, 13(2): 154-157.

[2] Shenyuan Xu, Paul Van Dooren, Radu Stefan, et al. Robust stability and stabilization for singular systems with state delay and parameter uncertainty[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2002, 47(7): 1122-1128.

[3] Xie Shoulie, Xie Lihua. Robust dissipative control for linear systems with dissipative uncertainty and nonlinear perturbation[J]. Systems and Control Letters, 1997, 29(5): 255-268.

[4] Liu Fei, Su Hong-ye, Chu Jian. Robust strictly dissipative control for linear discrete time-delay systems[J]. Acta Automatica Sinica, 2002, 28(6): 897-903.

(下转第631页)