

文章编号: 1001-0920(2007)04-0373-05

具有时变时滞的离散切换系统基于观测器的 H 控制

宋政一, 聂宏, 赵军

(东北大学 信息科学与工程学院, 沈阳 110004)

摘要: 利用多 Lyapunov 函数方法, 研究一类具有时变时滞的线性离散切换系统基于观测器的 H 控制问题. 通过设计对角分块形式的多 Lyapunov 函数矩阵, 使切换律只依赖于观测状态. 在基于观测器的切换反馈控制策略下, 给出了系统实现 H 控制的充分条件, 且条件可以表示为与时滞界相关的线性矩阵不等式 (LMI) 的形式, 同时还给出了切换律、观测器和控制器的设计方案. 最后用一个仿真例子表明了结论的有效性.

关键词: 线性离散时滞切换系统; H 控制; 多 Lyapunov 函数; 线性矩阵不等式 (LMI)

中图分类号: TP273 **文献标识码:** A

Based-observer H control for discrete-time switched systems with time-varying delays in state

SONG Zheng-yi, NIE Hong, ZHAO Jun

(School of Information Science and Engineering, Northeastern University, Shenyang 110004, China. Correspondent: SONG Zheng-yi, E-mail: songzhy12@163.com)

Abstract: The problems of observer-based H control and the design of switching law are addressed for a class of linear discrete-time switched systems with time-varying delay in state by using multiple Lyapunov function technique. A novel multiple Lyapunov function matrix with diagonal-block form is devised to solve the difficulties in designing switching law. Under observer-based switching feedback, a delay-dependent LMI-based sufficient condition for the problem is derived. The corresponding H controllers, observers and observer-state-dependent switched law are simultaneously designed. Finally, a simulation example shows the effectiveness of the results.

Key words: Linear discrete-time switched system with time-varying delay; H control; Multiple Lyapunov function; Linear matrix inequality (LMI)

1 引言

时滞在许多实际工程系统中是广泛存在的, 而这些时滞往往是造成系统不稳定和性能衰减的主要因素. 因此, 近 10 年来, 人们对离散时滞系统的 H 控制问题进行了较为深入的研究. 时滞系统的研究成果大体可分为两类: 一类是与时滞大小无关的结果^[1,2]; 另一类是与时滞大小相关的结果^[3,4]. 在时滞很小的情况下, 时滞相关的结果保守性更小. 研究与时滞大小相关的 H 控制的主要目的有两个: 一是对给定的 H 性能界, 寻求允许的最大时滞; 二是对于固定的时滞, 寻求允许的最小 H 性能界. 另一方面, 实际系统状态的不完全可获得性, 使基于观测器的控制器得到了广泛使用. 但有关时滞系统的 H 状态观测器设计的文献却相对较少^[5].

切换系统因其在理论和实际方面的重要作用, 已引起了人们的广泛关注, 并在稳定性方面取得了许多的研究成果^[6-12]. 其中文献^[12] 基于线性矩阵不等式, 用切换 Lyapunov 函数方法研究了不确定性离散切换系统在任意切换下的鲁棒 H 镇定问题, 但没有考虑系统包含时滞的情形. 到目前为止, 在离散切换系统的现有文献中, 很少涉及到切换律的设计及考虑使用基于观测器的反馈控制策略.

本文利用多 Lyapunov 函数方法, 研究一类具有时变时滞的线性离散切换系统的基于观测器的 H 控制问题. 在每个子系统都不能实现 H 控制的情况下, 利用基于观测器的切换反馈控制策略, 使系统实现 H 控制, 同时还给出了只依赖于观测状态的切换律, 以及切换观测器和 H 切换控制器的

收稿日期: 2006-04-06; 修回日期: 2006-07-13.

基金项目: 国家自然科学基金项目 (60274009); 国家自然科学基金项目 (60574013).

作者简介: 宋政一 (1965—), 男, 辽宁抚顺人, 博士生, 从事非线性与切换系统、鲁棒控制等研究; 赵军 (1957—), 男, 辽宁海城人, 教授, 博士生导师, 从事混杂系统、非线性系统等研究.

设计方案.最后,用仿真例子进一步说明了本文结论的有效性.

2 问题描述

对于对称矩阵 X 和 Y ,记号 $X < Y$ (或者 $X > Y$) 表示矩阵 $X - Y$ 是负定的(或者正定的). Z^+ 表示非负整数集. $l_2[0, \infty)$ 表示平方可和的向量空间.记号 $*$ 在矩阵里表示一个对称结构.例如,若 L 和 R 是对称矩阵,那么

$$\begin{bmatrix} L & * \\ N & R \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} L & N^T \\ N & R \end{bmatrix}.$$

考虑如下变时滞线性离散切换系统:

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A x_k + A_d x_{k-d(k)} + B u_k + H w_k, \\ y_k &= F x_k, z_k = C x_k + D u_k, \\ x_k &= \phi(k), k = -d, -d+1, \dots, 0. \end{aligned} \quad (1)$$

其中: $k \in Z^+, x_k \in R^n$ 是系统的状态, $u_k \in R^l$ 是控制输入, $w_k \in R^q$ 是外部扰动输入且 $w_k \in l_2[0, \infty)$, $y_k \in R^r$ 是测量输出, $z_k \in R^p$ 是被控输出, (k) 是在 $\tilde{M} = \{1, 2, \dots, m\}$ 中取值的待设计的切换信号;对固定的 A, A_d, B, H, F, C 和 D 为已知常数矩阵; $d(k)$ 是表示系统时变时滞的正整数,满足 $0 < d(k) \leq d; \phi(\cdot)$ 是向量值初始函数.

定义 1 给定常数 $\gamma > 0$,如果存在一个切换律 (k) ,使 $u_k = 0$ 时的系统(1) 满足如下条件:

- 1) 当 $w_k = 0$ 时, $u_k = 0$ 时的系统(1) 是渐近稳定的;
- 2) 在零初始条件下,对所有非零的 $w_k \in l_2$,被控输出 z_k 满足

$$\sum_{k=0}^{\infty} z_k^2 < \gamma^2 \sum_{k=0}^{\infty} w_k^2.$$

则称 $u_k = 0$ 时的系统(1) 具有 H 性能 γ .

本文研究系统(1) 基于观测器的 H 控制问题.通过设计一个基于切换观测器

$$\begin{aligned} \hat{x}_{k+1} &= A \hat{x}_k + A_d \hat{x}_{k-d(k)} + B u_k + \\ &L (y_k - F \hat{x}_k), \\ \hat{x}_k &= \phi(k), k = -d, -d+1, \dots, 0 \end{aligned} \quad (2)$$

的切换控制器

$$u_k = K^{(k)} \hat{x}_k, \quad (3)$$

以确保系统(1) 的闭环系统具有 H 性能.其中: \hat{x}_k 是观测状态, L 和 K 分别是待设计的观测器和控制器增益矩阵.此时称系统(1) 可实现 H 控制.

注 1 在系统(1) 的每个子系统都不能实现 H 控制的假设条件下,研究系统(1) 的 H 控制问题,其目的是为了排除切换信号固定在某个稳定的子系统上这一平凡的情形.

3 基于观测器的 H 控制

首先利用多 Lyapunov 函数方法,设计一个基

于状态的切换律,给出与时滞界相关的,使 $u_k = 0$ 时的系统(1) 具有 H 性能的充分条件.

引入

$$(s) = \begin{cases} 1, & s = 0; \\ 0, & s \neq 0. \end{cases} \quad (4)$$

可将 $u_k = 0$ 时的系统(1) 表示为

$$\begin{aligned} x_{k+1} &= A x_k + A_d \sum_{j=1}^d (d(k) - j) x_{k-j} + H w_k, \\ z_k &= C x_k, \\ x_j &= \phi(k), k = -d, -d+1, \dots, 0. \end{aligned} \quad (5)$$

引理 1 给定常数 $\gamma > 0$.若存在正定对称矩阵 $Q_i > 0, i \in \tilde{M}$, 正定对称矩阵 $S > 0$ 和非负常数 $\alpha_{ij} = 0, \forall i, j \in \tilde{M}$ 满足

$$\begin{bmatrix} J_i & * & * & * & * \\ 0 & -I & * & * & * \\ C_i Q_i & 0 & -I & * & * \\ A_i Q_i & H_i & 0 & -Q_i + A_{di} S A_{di}^T & * \\ Q_i & 0 & 0 & 0 & -S \end{bmatrix} < 0, \quad (6)$$

则称 $u_k = 0$ 时的系统(1) 具有 H 性能 γ .其中

$$J_i = -Q_i + \sum_{j=1}^m \alpha_{ij} (Q_i Q_j^{-1} Q_i - Q_i), \quad i \in \tilde{M}.$$

证明 选取备选的 Lyapunov 函数为

$$\begin{aligned} V(k, x_k) &= V^{(k)}(k, x_k) = \\ &\sum_{l=k-j}^{k-1} x_l^T P^{(k)} x_l + \sum_{j=1}^d x_j^T R x_j. \end{aligned} \quad (7)$$

切换律设计为

$$(k) = \arg \min_{i \in \tilde{M}} \{ x_k^T P_i x_k \}. \quad (8)$$

当 $(k+1) = (k) = i$ 时,有

$$\begin{aligned} V(k, x_k) &= V(k+1, x_{k+1}) - V(k, x_k) = \\ &V_i(k+1, x_{k+1}) - V_i(k, x_k) = \\ &x_{k+1}^T P_i x_{k+1} - x_k^T P_i x_k + \\ &\sum_{j=1}^d (x_k^T R x_k - x_{k-j}^T R x_{k-j}) - \sum_{i \in \tilde{M}} \bar{x}_k^T \bar{x}_k. \end{aligned} \quad (9)$$

其中

$$\begin{aligned} P_i &= \begin{bmatrix} P_i & * & * \\ A_{di}^T P_i A_i & A_{di}^T P_i A_{di} - R & * \\ H_i^T P_i A_i & H_i^T P_i A_{di} & H_i^T P_i H_i \end{bmatrix}, \\ \bar{x}_k^T &= [x_k^T \quad x_{k-d(k)}^T \quad w_k^T], \end{aligned}$$

$$P_i = A_i^T P_i A_i - P_i + dR.$$

当 $(k+1) \neq (k)$, $(k) = i$ 时,由切换律(8) 可知

$$\begin{aligned} V(k, x_k) &= \\ &V(k+1, x_{k+1}) - V(k, x_k) \\ &= V_i(k+1, x_{k+1}) - V_i(k, x_k), \end{aligned} \quad (10)$$

根据式(9) 和式(10),有

引入

$$V(k, x_k) = \bar{x}_k^T P \bar{x}_k, \quad (11)$$

则

$$W(z_k, w_k) = w_k^T W_k z_k - z_k^T z_k,$$

$$V(k, x_k) - W(z_k, w_k) = \bar{x}_k^T P \bar{x}_k + \bar{x}_k^T \begin{bmatrix} -I C_i^T C_i & * & * \\ 0 & 0 & * \\ 0 & 0 & -P \end{bmatrix} \bar{x}_k. \quad (12)$$

令式(6)中的 $Q_i = P_i^{-1}, S = R^{-1}$, 利用矩阵变换及矩阵的 Schur 补性质, 式(6)变为

$$\begin{bmatrix} -P_i + dR + \sum_{j=1}^m ij(P_j - P_i) & * & * \\ 0 & -R & * \\ 0 & 0 & -P \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} C_i & 0 & 0 \\ A_i & A_{di} & H_i \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} -I & * \\ 0 & P_i \end{bmatrix} \begin{bmatrix} C_i & 0 & 0 \\ A_i & A_{di} & H_i \end{bmatrix} < 0.$$

由切换律(8)和(12)可知

$$V(k, x_k) - W(z_k, w_k) < 0,$$

即

$$\sum_{k=0} V(k, x_k) - \sum_{k=0} W(z_k, w_k) < 0.$$

从而可得:

1) 当 $w_k = 0$ 时, 有

$$V(k, x_k) < W(z_k, w_k) = -z_k^T z_k < 0,$$

可知 $u_k = 0$ 时的系统(1)是渐近稳定的.

2) 在零初始条件下, 有

$$\sum_{k=0} V(k, x_k) = V(\infty) - V(0) > 0,$$

所以 $\sum_{k=0} W(z_k, w_k) > 0$, 即

$$\sum_{k=0} z_k^2 < \sum_{k=0} w_k^2.$$

由 1) 和 2) 可知, $u_k = 0$ 时的系统(1)具有 H 性能.

注 2 式(6)虽然不是线性矩阵不等式, 但对于给定的 $ij = 0, \forall i, j \in \tilde{M}$, 由矩阵的 Schur 补性质可将式(6)转化为如下线性矩阵不等式组的形式:

$$\begin{bmatrix} -(1 + \sum_{j=1, j \neq i}^m ij) Q_i & * & * \\ 0 & -I & * \\ C_i Q_i & 0 & -I \\ A_i Q_i & H_i & 0 \\ Q_i & 0 & 0 \\ \sqrt{il} Q_i & 0 & 0 \\ \dots & \dots & \dots \\ \sqrt{im} Q_i & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} * & * & * & \dots & * \\ * & * & * & \dots & * \\ * & * & * & \dots & * \\ -Q_i + A_{di} S A_{di}^T & * & * & \dots & * \\ 0 & -S & * & \dots & * \\ 0 & 0 & -Q_i & \dots & * \\ \dots & \dots & \dots & \ddots & \dots \\ 0 & 0 & 0 & \dots & -Q_m \end{bmatrix} < 0.$$

下面利用引理 1, 给出系统(1)实现 H 控制的充分条件.

由系统(1)、观测器(2)和控制器(3)组成的增广系统为

$$\begin{aligned} \tilde{x}_{k+1} &= \tilde{A} \tilde{x}_k + \tilde{A}_d \tilde{x}_{k-d(k)} + \tilde{H} w_k, \\ z_k &= \tilde{C} \tilde{x}_k, \\ \tilde{x}_k &= \begin{bmatrix} \phi(k) \\ 0 \end{bmatrix}, k = -d, -d+1, \dots, 0. \end{aligned} \quad (13)$$

其中

$$\begin{aligned} \tilde{x}_k &= \begin{bmatrix} \hat{x}_k \\ \hat{x}_k - x_k \end{bmatrix}, \\ \tilde{A} &= \begin{bmatrix} A + B K & -L F \\ 0 & A - L F \end{bmatrix}, \\ \tilde{A}_d &= \begin{bmatrix} A_d & 0 \\ 0 & A_d \end{bmatrix}, \tilde{H} = \begin{bmatrix} 0 \\ -H \end{bmatrix}, \\ \tilde{C} &= [C + D K \quad -C]. \end{aligned}$$

选取备选的 Lyapunov 函数为

$$\tilde{V}(k, \tilde{x}_k) = \tilde{x}_k^T \tilde{P} \tilde{x}_k + \sum_{j=1}^{d-k-1} \tilde{x}_j^T \tilde{R} \tilde{x}_j. \quad (14)$$

$$\text{其中: } \tilde{P} = \begin{bmatrix} P & 0 \\ 0 & P \end{bmatrix}, \tilde{R} = \begin{bmatrix} R_1 & 0 \\ 0 & R_2 \end{bmatrix}.$$

切换律设计为

$$(k) = \arg \min_{i \in \tilde{M}} \{ \tilde{x}_k^T \tilde{P}_i \tilde{x}_k \}, \quad (15)$$

因为

$$\tilde{x}_k^T \tilde{P}_i \tilde{x}_k = \hat{x}_k^T P_i \hat{x}_k + (\hat{x}_k - x_k)^T P (\hat{x}_k - x_k),$$

所以切换律

$$(k) = \arg \min_{i \in \tilde{M}} \{ \hat{x}_k^T P_i \hat{x}_k \}. \quad (16)$$

由引理 1 可知, 系统(13)具有 H 性能的充分条件是存在正定对称矩阵 $\tilde{Q}_i > 0, i \in \tilde{M}$. 正定对称矩阵 $\tilde{S} > 0$ 和非负常数 $ij = 0, \forall i, j \in \tilde{M}$ 满足

$$\begin{bmatrix} \tilde{J}_i & * & * & * & * \\ 0 & -I & * & * & * \\ \tilde{C}_i \tilde{Q}_i & 0 & -I & * & * \\ \tilde{A}_i \tilde{Q}_i & \tilde{H}_i & 0 & -\tilde{Q}_i + \tilde{A}_{di} \tilde{S} \tilde{A}_{di}^T & * \\ \tilde{Q}_i & 0 & 0 & 0 & -\tilde{S} \end{bmatrix} < 0, \quad (17)$$

其中

$$\tilde{J}_i = -\tilde{Q}_i + \sum_{j=1}^m \gamma_{ij} (\tilde{Q}_i \tilde{Q}_j^{-1} \tilde{Q}_i - \tilde{Q}_i).$$

令

$$\begin{aligned} \tilde{Q}_i &= \tilde{P}_i^{-1} = \\ \text{diag}\{P_i^{-1}, P^{-1}\} &= \text{diag}\{Q_i, Q\}, \\ \tilde{S} &= \tilde{R}^{-1} = \\ \text{diag}\{R_i^{-1}, R_2^{-1}\} &= \text{diag}\{S_1, S_2\}. \end{aligned}$$

整理式(17)可得

$$\begin{bmatrix} J_i & * & * & * \\ 0 & -Q & * & * \\ 0 & 0 & -I & * \\ C_i Q_i + D_i K_i Q_i & -C_i Q & 0 & -I \\ A_i Q_i + B_i K_i Q_i & -L_i F_i Q & 0 & 0 \\ 0 & A_i Q - L_i F_i Q & -H_i & 0 \\ Q_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q & 0 & 0 \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ -Q_i + A_{di} S_1 A_{di}^T & * & * & * \\ 0 & -Q + A_{di} S_2 A_{di}^T & * & * \\ 0 & 0 & -S_1 & * \\ 0 & 0 & 0 & -S_2 \end{bmatrix} < 0, \quad (18)$$

因此,可以得到下面的定理.

定理1 给定常数 $\gamma > 0$. 如果存在非负常数 $\gamma_{ij} > 0, \forall i, j \in \tilde{M}$, 正定对称矩阵 $S_1 > 0, S_2 > 0, Q > 0$, 正定对称矩阵 $Q_i > 0$ 和矩阵 $Y_i, U_i, V_i, \forall i \in \tilde{M}$, 使得矩阵不等式组

$$\begin{bmatrix} J_i & * & * & * \\ 0 & -Q & * & * \\ 0 & 0 & -I & * \\ C_i Q_i + D_i Y_i & -C_i Q & 0 & -I \\ A_i Q_i + B_i Y_i & -U_i F_i & 0 & 0 \\ 0 & A_i Q - U_i F_i & -H_i & 0 \\ Q_i & 0 & 0 & 0 \\ 0 & Q & 0 & 0 \end{bmatrix} < 0,$$

$$\begin{bmatrix} * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ * & * & * & * \\ -Q_i + A_{di} S_1 A_{di}^T & * & * & * \\ 0 & -Q + A_{di} S_2 A_{di}^T & * & * \\ 0 & 0 & -S_1 & * \\ 0 & 0 & 0 & -S_2 \end{bmatrix} < 0, \quad (19)$$

和

$$V_i F_i = F_i Q, \quad \forall i \in \tilde{M} \quad (20)$$

成立, 则系统(13)在切换律(16)下具有 H 性能. 控制器增益矩阵 K_i 和观测器增益矩阵 L_i 由下式给出:

$$K_i = Y_i Q_i^{-1}, \quad L_i = U_i V_i^{-1}, \quad i \in \tilde{M}. \quad (21)$$

证明 将式(20)和(21)代入(19)易得(18). 因此由引理1可知, 系统(13)在切换律(16)下具有 H 性能.

4 仿真算例

例1 考虑 $m = 2$ 时的系统(1), 其中系统参数为

$$A_1 = \begin{bmatrix} 0.9 & 0 \\ 0 & 0.2 \end{bmatrix}, \quad A_2 = \begin{bmatrix} 0.2 & 0 \\ 0 & 0.9 \end{bmatrix},$$

$$A_{d1} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix}, \quad A_{d2} = \begin{bmatrix} 0.1 & 0 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix},$$

$$B_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}, \quad B_2 = \begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$H_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.2 \end{bmatrix}, \quad H_2 = \begin{bmatrix} 0.5 \\ 0 \end{bmatrix},$$

$$C_1 = [0 \quad 0.2], \quad C_2 = [0.2 \quad 0],$$

$$D_1 = 0.2, \quad D_2 = 0.2,$$

$$F_1 = [3 \quad 1], \quad F_2 = [1 \quad 2],$$

$$0 < d(k) \leq 4. \quad (22)$$

利用 Matlab 解矩阵不等式组(19)和(20), 当选取 $\gamma_2 = 2, \gamma_1 = 5$ 时, 解得

$$Q_1 = \begin{bmatrix} 3.7685 & 0.0021 \\ 0.0021 & 184.8631 \end{bmatrix},$$

$$Q_2 = \begin{bmatrix} 4.2764 & 0.0019 \\ 0.0019 & 175.6485 \end{bmatrix},$$

$$Y_1 = [0.0008 \quad -163.3160],$$

$$Y_2 = [-1.2930 \quad -0.0396],$$

$$U_1 = \begin{bmatrix} 0.0216 \\ 0.0004 \end{bmatrix}, \quad U_2 = \begin{bmatrix} 0.0157 \\ 0.1097 \end{bmatrix},$$

$$= 1.0159, V_1 = 0.3418, V_2 = 0.3412.$$

根据切换律(16),可设计切换域为

$$\begin{aligned} \Omega_1 &= \{(\hat{x}_1, \hat{x}_2) / 0.0315\hat{x}_1^2 - 0.0003\hat{x}_2^2 \leq 0\}, \\ \Omega_2 &= \{(\hat{x}_1, \hat{x}_2) / 0.0315\hat{x}_1^2 - 0.0003\hat{x}_2^2 > 0\}, \end{aligned}$$

则 $\Omega_1 \cap \Omega_2 = R^n$. 切换律设计如下:

$$\sigma(k) = \begin{cases} 1, & \hat{x}_k \in \Omega_1, \\ 2, & \hat{x}_k \in \Omega_2. \end{cases} \quad (23)$$

使系统(22)实现 H 控制的控制器增益矩阵 K_i 和观测器增益矩阵 L_i 为

$$\begin{aligned} K_1 &= [0.0007 \quad -0.8834], \\ K_2 &= [-0.3024 \quad -0.0002], \\ L_1 &= \begin{bmatrix} 0.0632 \\ 0.0011 \end{bmatrix}, L_2 = \begin{bmatrix} 0.0460 \\ 0.3215 \end{bmatrix}. \end{aligned} \quad (24)$$

表 1 和表 2 给出了系统(22)的时滞界 d 与 H 性能的关系.

表 1 给定时滞界时 H 性能的最小值			
时滞界 d	2	3	4
H 性能	0.1943	0.3720	1.0159

表 2 给定 H 性能时时滞界的最大值			
H 性能	0.5	1	2
时滞界 d	3	3	4

图 1 和图 2 是系统(22)的两个子系统分别在状态观测反馈作用下的状态响应曲线,图 3 是系统(22)在基于状态观测的切换反馈控制器(24)和切换律(23)作用下的状态响应曲线. 初始条件为 $\hat{x}_0 = [x_1^0 \quad x_2^0] = [10 \quad -6], e_0 = [e_1^0 \quad e_2^0] = [-3 \quad 2]$.

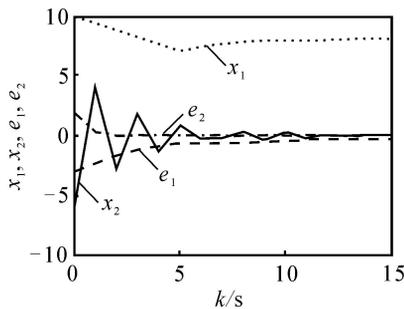


图 1 第 1 个子系统基于状态观测器的状态及误差响应曲线

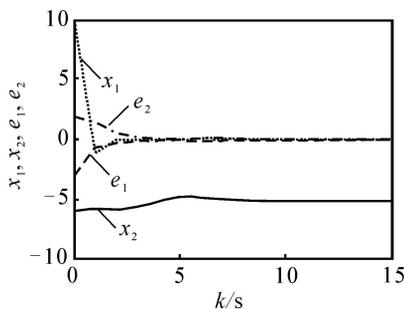


图 2 第 2 个子系统基于状态观测器的状态及误差响应曲线

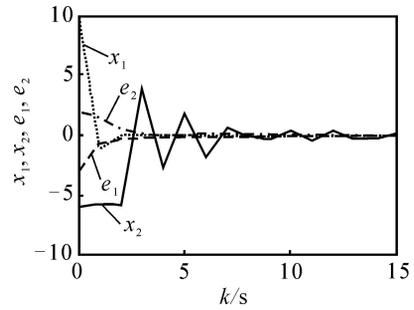


图 3 系统(22)基于切换反馈的状态及误差响应曲线

5 结 论

本文研究了一类具有时变时滞的线性离散切换系统基于观测器的 H 控制问题. 在基于观测器的切换反馈控制策略下,利用线性矩阵不等式组给出了与时滞界相关的使系统实现 H 控制的充分条件,同时还给出了只依赖于观测状态的切换律、切换观测器和 H 切换控制器的设计方案. 其中,切换反馈控制器、切换观测器的选取符合切换系统的特性. 采用多反馈控制器和多观测器一方面可以降低单一的控制器的、单一的观测器镇定整个切换系统的难度,另一方面还可根据需求,解决控制目标的多样性和各种目标之间相互矛盾这一实际问题.

参考文献(References)

- [1] Song S H, Kim J K. H control of discrete-time linear systems with norm-bounded uncertainties and time delay in state[J]. Automatica, 1998, 34(1): 137-139.
- [2] Kim J K, Park H B. H state feedback control for generalized continuous/discrete time-delay system [J]. Automatica, 1999, 35(8): 1443-1451.
- [3] Lee Y S, Moon Y S, Kwon W H, et al. Delay-dependent robust H control for uncertain systems with a state-delay[J]. Automatica, 2004, 40(1): 65-72.
- [4] Xu S Y, Chen T. Robust H control for uncertain discrete-time systems with time-varying delays via exponential output feedback controllers[J]. Systems & Control Letters, 2004, 51(3): 171-183.
- [5] Wang Z D, Huang B, Unbehauen H. Robust H observer design of linear time-delay systems with parametric uncertainty[J]. Systems & Control Letters, 2001, 42(4): 303-312.
- [6] Liberzon D, Morse A S. Basic problems in stability and design of switched systems[J]. IEEE Control Systems Magazine, 1999, 19(5): 59-70.
- [7] Cheng D, Guo L, Lin Y, et al. Stabilization of switched linear systems[J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2005, 50(5): 661-666.

(下转第 383 页)

计问题中能够取得较好的效果. 但当似然函数呈尖峰型或者位于状态转移概率密度分布函数的尾部时, 由状态转移概率密度函数来充当重要性采样概率密度函数, 与系统的后验概率密度偏差较大, 导致标准粒子滤波器的性能无法保障. 本文采用新的非线性交互多模型算法来产生重要性采样概率密度函数, 既考虑了最新观测量的影响, 又更接近于实际的系统模型, 使得重要性采样概率密度函数更加接近于真实的后验概率分布, 提高了粒子滤波器的估计精度. 实验结果表明了本文算法的有效性.

参考文献(References)

- [1] De Freitas N. Rao-Blackwellised particle filtering for fault diagnosis [C]. IEEE Aerospace Conf Proc. Montana: IEEE, 2002: 1767-1772.
- [2] 胡士强, 敬忠良. 粒子滤波算法综述[J]. 控制与决策, 2005, 20(4): 361-365.
(Hu S Q, Jing ZL. Overview of particle filter algorithm [J]. Control and Decision, 2005, 20(4): 361-365.)
- [3] 袁泽剑, 郑南宁, 贾新春. 高斯-厄米特粒子滤波器[J]. 电子学报, 2003, 31(7): 970-973.
(Yuan Z J, Zheng N N, Jia X C. The Gauss-Hermite particle filter[J]. Acta Electronica Sinica, 2003, 31(7): 970-973.)
- [4] Rudolph van der Merwe, Arnaud Doucet. The unscented particle filter [R]. Cambridge: Cambridge University, 2000.
- [5] Simon J Julier. A new extension of the Kalman filter to nonlinear systems[C]. Proc of AeroSense: The 11th Int Symposium on Aerospace/Defense Sensing, Simulation and Controls. Florida, 1997: 182-193.
- [6] Simon J Julier. The scaled unscented transformation [C]. Proc of the American Control Conf. Alaska: IEEE, 2002: 4555-4559.
- [7] Isard Michael, Blake Andrew. Condensation-conditional density propagation for visual tracking [J]. Int J Computer Vision, 1998, 29(1): 5-28.
- [8] Gordon N J, Salmond D J, Smith A F M. Novel approach to nonlinear/non-Gaussian Bayesian state estimation[J]. Proc of Institute Electric Engineering, 1993, 140(2): 107-113.
- [9] Doucet A, Gordon N. Sequential monte carlo methods in practice[M]. New York: Springer-Verlag, 2001.
- [10] 莫以为, 萧德云. 进化粒子滤波算法及其应用[J]. 控制理论与应用, 2005, 22(2): 269-272.
(Mo Y W, Xiao D Y. Evolutionary particle filter and its application[J]. Control Theory and Applications, 2005, 22(2): 269-272.)
- [11] Haykin S Kalman. Filtering and neural networks[M]. New York: John Wiley and Sons, 2001.
- [12] Bar-Shalom Y, Li X R. Multitargets multisensor tracking: Principle and techniques [M]. Stors, CT: YBS Publishing, 1995.
- [8] Zhao J, Dimirovski G M. Quadratic stability of a class of switched nonlinear systems [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2004, 49(4): 574-578.
- [9] Daafouz J, Riedinger P, Iung C. Stability analysis and control synthesis for switched systems: A switched Lyapunov function approach [J]. IEEE Trans on Automatic Control, 2002, 47(11): 1883-1887.
- [10] 宋政一, 赵军. 线性离散切换系统 H 问题可解的充分条件[J]. 东北大学学报, 2005, 26(1): 9-12.
(Song Z Y, Zhao J. A sufficient condition for stability with H performance for linear discrete-time switched systems[J]. J of Northeastern University, 2005, 26(1): 9-12.)
- [11] Zhai G S, Hu B, Yasuda K, et al. Disturbance attenuation properties of time-controlled switched systems[J]. J of the Franklin Institute, 2001, 338(7): 765-779.
- [12] Xie D M, Wang L, Hao F, et al. LMI approach to L_2 -gain analysis and control synthesis of uncertain switched systems[J]. IEE Proc Control Theory and Applications, 2004, 151(1): 21-28.

(上接第 377 页)