1997 年 8 月 西北大学学报(自然科学版) Aug. 1997
第 27 卷第 4 期 Journal of Northwest University(Natural Science Edition) Vol. 27 No. 4

④
289-292

一类多滞后非线性关联控制系统的结构与关联鲁棒镇定*

O231

张新政[1)] 商立群[2)] 商立军[3)]

(1)广东工业大学自动化研究所,510090,广州;2)西安矿业学院自动化系,710054,西安;3)第四军医大学数学教研室,710032,西安;第一作者 41 岁,女,教授)

摘 要 建立了一类多组多滞后区间系数时变非线性控制系统的结构概念,采用李雅普诺夫函数鲁棒镇定的等价法,给出了具有扰动结构参数的多组多滞后区间系数时变非线性关联控制系统的结构与关联鲁棒镇定,同时给出了扰动参数与滞后非线性项界线的估计公式。

关键词 多滞后;非线性;控制系统;结构与关联鲁棒镇定

分类号 O231

李雅普诺夫函数

时滞是工业过程中普遍存在的现象,在实际问题中存在许多情形,它们不可能用简单的线性模型来表示,而必须用非线性模型来刻画。例如:电力系统、受限机器人等。另一方面多滞后系统往往结构复杂,系统扰动与关联以及滞后的界常常难以确定,因此,对非线性多滞后关联控制系统的结构与关联鲁棒镇定问题的研究,既有理论价值又有实际意义。文中采用李雅普诺夫函数等价法给出此问题的解决。

1 结构与关联鲁棒镇定

考虑多组多滞后区间时变非线性关联控制系统

$A^{(r)}=(a_{ij}^{(r)}(t))_{n\times n}\quad A^{(s)}=(a_{ij}^{(s)}(t))_{n\times n}\quad B^{(d)}=(b_{ij}^{(d)})_{n\times m},C^{(h)}=(C_{ij}^{(h)}(t))_{p\times m},$

$(r=0,1,\cdots,N_1;\ s=1,2,\cdots,N_2;\ d=0,1,\cdots,N_3;\ h=0,1,\cdots,N_4)$。

$$\dot{X}_i(t)=\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{(0)}(t)X_j(t)+\sum_{r=1}^{N_1}\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{(r)}(t)e_{1ij}^{(r)}(t)X_j(t)+\sum_{s=1}^{N_2}\sum_{j=1}^{n}a_{ij}^{(s)}(t)e_{2ij}^{(s)}(t)*。$$

$$X_j(t-\tau_{1ij}^{(s)})+\sum_{j=1}^{m}b_{ij}^{(0)}(t)u_j(t)+\sum_{d=1}^{N_3}\sum_{j=1}^{m}b_{ij}^{(d)}(t)e_{3ij}^{(d)}(t)u_j(t)=f_{1i}(.)。\tag{1}$$

$$y_i(t)=\sum_{j=1}^{n}C_{ij}^{(0)}(t)X_j(t)+\sum_{f=1}^{N_4}\sum_{j=1}^{n}c_{ij}^{(f)}(t)e_{4ij}^{(f)}(t)X_j(t)=f_{2i}(.),\quad(i=1,2,\cdots,p)\tag{2}$$

$$此处\begin{cases}p_{1ij}^{(r)}(t)<a_{ij}^{(r)}(t)<q_{1ij}^{(r)}(t);\ p_{2ij}^{(s)}(t)<a_{ij}^{(s)}(t)<q_{2ij}^{(s)}(t);\\ p_{3ij}^{(d)}(t)<b_{ij}^{(d)}(t)<q_{3ij}^{(d)}(t);\ p_{4\eta j}^{(f)}(t)<c_{\eta j}^{(f)}(t)<q_{4\eta j}^{(f)}(t);\\ i,\ j=1,\ \cdots,\ n;\ f=0,\ 1,\ \cdots,\ m;\ \eta=1,\ \cdots,\ p;\ r=0,\ 1,\ \cdots,\ N_1;\ s=1,\ \cdots,\ N_2;\\ d=0,\ 1,\ \cdots,\ N_3\end{cases}\tag{3}$$

g_i 是 $X,X(t-\tau),U(t),U(t-\tau),e_{1i},e_{2i},e_{3i},e_{4i}$ 的不确定性函数。

其中 $p_{\beta ij}^{(\alpha)}(t),q_{\beta ij}^{(\alpha)}(t),(\alpha=r,s,d,f;\ \beta=1,2,3,4)$ 都是确定性函数。

令

---

* 广东省自然科学基金资助课题

收稿日期:1996-12-24

$$\begin{cases} a_{ij}(t) = 1/2\ (p_{1ij}^{(0)}(t) + q_{1ij}^{(0)}(t));\ b_{if}(t) = 1/2\ (p_{3if}^{(0)}(t) + q_{3if}^{(0)}(t)); \\ c_{\eta j}(t) = 1/2\ (p_{\eta j}^{(0)}(t) + q_{\eta j}^{(0)}(t));\ (i,\ j = 1,\ \cdots,\ n;\ f = 1,\ \cdots,\ m;\ \eta = 1,\ \cdots,\ p)。 \end{cases}$$

对多组多滞后非线性区间系数时变关联控制系统式(1),如果我们不考虑它的扰动结构关联项和滞后扰动关联项以及非线性项,则式(1)化为无滞后无结构扰动参数的线性时变控制系统为

$$\dot{X}_i(t) = \sum_{j=1}^{n} a_{ij}(t)\ X_j(t) + \sum_{j=1}^{m} b_{ij}(t) u_j,(t),\ (i = 1,\ 2,\ \cdots,\ n); \tag{4}$$

$$y_i(t) = \sum_{j=1}^{n} c_{ij}(t)\ X_j(t),\ (i = 1,2,\cdots,p)。 \tag{5}$$

此处 $A(t) = (a_{ij}(t))_{n\times n}$, $B(t) = (b_{if}(t))_{n\times m}$, $C(t) = (c_{\eta j}(t))_{p\times n}$,为时变矩阵。

定义 1 当下列条件成立时,我们称 $\bar{E}_1^{(r)} = (\bar{e}_{1ij}^{(r)})_{n\times n}$, $\bar{E}_2^{(s)} = (\bar{e}_{2ij}^{(s)})_{n\times n}$, $\bar{E}_3^{(d)} = (\bar{e}_{3ij}^{(d)})_{n\times m}$, $\bar{E}_4^{(h)} = (\bar{e}_{4ij}^{(h)})_{n\times m}$ 为多组多滞后控制系统式(1)相应的基本关联矩阵。假设

$$\begin{cases} (\bar{e}_{1ij}^{(r)}) = \begin{cases} 1, & X_j(t)\ \text{在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \\ 0, & X_j(t)\ \text{不在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \end{cases} \\ (\bar{e}_{2ij}^{(s)}) = \begin{cases} 1, & X_j(t-\tau_{1ij}^{(s)})\ \text{在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \\ 0, & X_j(t-\tau_{1ij}^{(s)})\ \text{不在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \end{cases} \\ (\bar{e}_{3ij}^{(d)}) = \begin{cases} 1, & X_j(t)\ \text{在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \\ 0, & X_j(t)\ \text{不在}\ f_{1i}\ \text{中出现} \end{cases} \\ (\bar{e}_{4ij}^{(h)}) = \begin{cases} 1, & X_j(t)\ \text{在}\ f_{2i}\ \text{中出现} \\ 0, & X_j(t)\ \text{不在}\ f_{2i}\ \text{中出现} \end{cases} \end{cases} \tag{6}$$

定义 2 在基本关联矩阵 $\bar{E}_\beta^{(\alpha)}(\alpha = r,\ s,\ d,\ h;\ \beta = 1,2,3,4)$ 中,若 $\bar{e}_{\beta ij}^{(\alpha)} = 0$ 取 $e_{\beta ij}^{(\alpha)} = 0$,若 $\bar{e}_\beta^{(\alpha)} = 1$ 或取部分 $e_{\beta ij}^{(\alpha)} = 0$,或取部分 $e_{\beta ij}^{(\alpha)} = 1$,则称关联矩阵 $E_\beta^{(\alpha)}$ 是由基本关联矩阵 $\bar{E}_\beta^{(\alpha)}$ 产生的。即有

$E_1^{(r)} \in \bar{E}_1^{(r)}$, $E_2^{(s)} \in \bar{E}_2^{(s)}$, $E_3^{(d)} \in \bar{E}_3^{(d)}$, $E_4^{(h)} \in \bar{E}_4^{(h)}$。

定义 3 对滞后 $\tau_{1ij}^{(s)} > 0$, $(s = 1,\ 2,\ \cdots,\ N_2)$ 及关联矩阵 $E_\beta^{(\alpha)} \in \bar{E}_\beta^{(\alpha)}$,如果多滞后非线性区间时变关联控制系统式(1)的闭环系统的零解是一致渐近稳定的,则称多滞后非线性区间时变关联控制系统关联鲁棒镇定。

令

$$\begin{cases} E_{11} = \max[\,|a_{ij}^{(r)}(t)|,|a_{1ij}^{(r)}(t)|,|a_{2ij}^{(s)}(t)|,i,\ j,= 1,\cdots,n;\ r = 1,\cdots,N_1;\ s = 1,\ \cdots,N_2] \\ E_{12} = \max[\,|b_{ij}^{(d)}(t)|,|p_{3ij}^{(d)}(t)|,i = 1,\cdots,n;\ j = 1,\cdots,\ m;\ d = 1,\ \cdots,\ N_3] \\ a_1 = \max[\,|a_{1ij}^{(r)}(t)|,\ |a_{2ij}^{(s)}(t)|,i,\ j = 1,\ \cdots,n;\ r = 1,\ \cdots,\ N_1;\ s = 1,\ \cdots,\ N_2] \\ b_1 = \max[\,|b_{3ij}^{(d)}(t)|,\ i = 1,\ \cdots,n;\ j = 1,\ \cdots,\ m;\ d = 1,\ \cdots,\ N_3] \\ p_1 = \max[\,|p_{ij}(t)|,i,\ j = 1,\ \cdots,\ n],\quad D_1 = \max[E_{11},\ E_{12}] \\ k_1 = \max[\,|k_{ij}(t)|,\ i = 1,\ \cdots,\ m;\ j = 1,\ \cdots n] \\ \tau_1 = \max[\,|\ \tau_{1ij}^{(s)}(t)|,\ i,\ j = 1,\ \cdots,\ n;\ s = 1,\ \cdots,\ N_2] \end{cases} \tag{7}$$

设在 $X(t)$ 和 $U(t)$ 的定义域中,g_i 对所有变元连续,且有

$$|g_i(X_1(t),\cdots,X_n(t),\ e_{1i1}^{(r)}X_1(t),\cdots,e_{1in}^{(r)}X_n(t),\ e_{2i1}^{(s)}X_1(t-\tau_{1i1}^{(s)}),\cdots,|e_{2in}^{(s)}X_n(t-\tau_{1in}^{(s)}),u_1(t),\cdots,u_m(t),$$
$$e_{3i1}^{(d)}u_1(t),\cdots,e_{3im}^{(d)}u_m(t))| < R_{i1}[\sum_{j=1}^{n}|X_j(t_i)\ | + \sum_{j=1}^{n}|u_j(t)\ | + \sum_{j=1}^{m}|e_{1ij}^{(r)}X_j(t)| + \sum_{j=1}^{n}|e_{2ij}^{(s)}|X_j(t-\tau_{1ij}^{(s)})| +$$
$$\sum_{j=1}^{n}|e_{3ij}^{(d)}u_j(t)|\,](\text{其中}\ R_1 = \max(R_{i1}),i = 1,2,\cdots,n)。 \tag{8}$$

由于多组多滞后非线性区间系数时变关联控制系统式(1)的第一部分是没有滞后及没有扰动结构参数式(4),式(1)中其余第二部分含有扰动结构参数,当扰动参数 a_1,b_1 比较小,滞后也比较小时,将第二部分作为扰动项。所以,我们将式(4)的最优负反馈向量函数作为多组多滞后非线性区间系数时变关联控制系统式(1)的次优负反馈向量函数,并将由式(4)构造的二次型李雅普诺夫函数视为式(1)的二次型正定函数,从而得到如下定理。

定理 1　假设对任意 $t \geqslant t_0$, $p_{1ij}^{(r)}(t)$, $q_{1ij}^{(r)}(t)$, $p_{2ij}^{(r)}(t)$, $q_{2ij}^{(r)}(t)$, $p_{(3ij)}^{(d)}(t)$, $q_{3ij}^{(d)}(t)$, $p_{4ij}^{(f)}(t)$, $q_{4ij}^{(f)}(t)$,是分段连续一致有界的确定性函数,时变矩阵$(A(t), B(t))$是一致可控的,$(A(t), C(t))$是一致完全可观测的,控制系统式(1)的非线性项满足条件式(8),存在正数 $\Delta_{11} > 0$, $\Delta_{12} > 0$, $\Delta_{12} > 0$, $\Delta_{13} > 0$,使当 $0 \leqslant D_1 \leqslant \varepsilon_1\Delta_{11}$, $0 \leqslant \tau < \varepsilon_2\Delta_{12}$, $0 < R_1 < \varepsilon_3\Delta_{13}$($\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1$, $\varepsilon_1 > 0$, $\varepsilon_1 > 0$, $\varepsilon_3 > 0$)时,对所有关联矩阵 $E_\beta^{(\alpha)} \in \bar{E}_\beta^{(\alpha)}$ 无滞后无扰动结构参数的线性时变控制系统式(4)的一致渐近稳定性,蕴含了多组多滞后非线性区间系数时变关联控制系统式(1)的一致关联渐近稳定性。此处,Δ_{11}, Δ_{12}, Δ_{13} 为

$$\Delta_{11} = \frac{\beta_3}{4p_1n^2(1 + 4\,\beta_2/\beta_1)\,(1 + N_1 + N_2 + k_1m(1 + N_3))}; \tag{9}$$

$$\Delta_{12} = \frac{\beta_3}{4p_1n^3a_1N_2(1 + 4\,\beta_2/\beta_1)\,[a_1(1 + N_1 + N_2) + bk_1m(1 + N_3)]}; \tag{10}$$

$$\Delta_{13} = \frac{\beta_3}{4p_1n^2(1 + 4\,\beta_2/\beta_1)\,(1 + N_1 + nN_2 + k_1m(1 + N_3))}。 \tag{11}$$

这里 $\beta_1 = \lambda_{\min}(P(t))$, $\beta_2 = \lambda_{\max}(P(t))$, $\beta_3 = \lambda_{\min}(C^T(t)C(t) + P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t))$, $P(t)$ 是 Riccati 矩阵非线性方程 $A^T(t)P(t) + P(t)A(t) - P(t)B(t)R^{-1}(t)B^T(t)P(t) + C^T(t)C(t) = 0$ 的唯一对称正定解(证明仿文献 1,略)。

定理 2　如果线性时变控制系统式(4)的闭环系统的零解是一致渐近稳定的;则存在 $\Delta_{14} > 0$, $\Delta_{15} > 0$, $\Delta_{16} > 0$,对所有结构关联矩阵 $E_\beta^{(\alpha)} \in \bar{E}_\beta^{(\alpha)}$ 及 $0 \leqslant D_2 < \varepsilon_1\Delta_{14}$, $0 \leqslant \tau < \varepsilon_2\Delta_{15}$, $0 \leqslant R_2 < \varepsilon_3\Delta_{16}$($\varepsilon_1 + \varepsilon_2 + \varepsilon_3 = 1$, $\varepsilon_1 > 0$, $\varepsilon_2 > 0$, $\varepsilon_3 > 0$)成立时,多组多滞后区间系数时变非线性控制大系统式(1)的闭环系统的零解是一致关联渐近稳定的,即式(1)为关联鲁棒镇定(证明略)。

2 小 结

本文通过采用李雅普诺夫函数镇定等价法,对具有非线性时变滞后关联的一类控制系统建立了关联鲁棒镇定的判据,给出了扰动参数与滞后及非线性项界线的估计公式,并通过引进参数 ε_i(i=1,2,3)扩展了鲁棒镇定域。

参 考 文 献

1 张新政,刘永清.多组多滞后区间系数定常线性控制系统的结构与鲁棒镇定(1).Advances in Modeling & Analysis,1993,39(3):45~51

2 秦元勋,刘永清,王联.带有时滞的动力系统的运动稳定性.北京:科学出版社,1963

3 Liu Yongqing, Mao Xuechun. The stabilization and control for the nonlinear control systems with time-delays (2). Advances in Modelling Simulation and Control, 1988, 11(1):9~17

4 刘永清,唐功友.大型动力系统的理论与应用.广州:华南理工大学出版社,1992

5 刘永清,徐维鼎.大型动力系统的理论与应用.广州:华南理工大学出版社,1989

责任编辑　张银玲

The Structure and Interconnected Robust Stabilization of a Kind of Nonlinear Interconnected Control System with Multidelays

Zhang Xinzheng[1)]　Shang Liqun[2)]　Shang Lijun[3)]

(1)Institute of Automation, Guang Dong Industry College, 510090,Guangzhou; 2)Department of Automation, Xi'an Mining Institute, 710054, Xi'an; 3)Department of Mathematics, The Fourth Military Medical University, 710032,Xi'an)

Abstract　Concepts of the structure and interconnected robust stabilization for interval time-variable coefficient nonlinear interconnect control system with multigroups and multidelays are estabilished. By using the method of equivalence of Lyapunov function robust stabilization, the interconnected robust stabilization of interval time-variable coefficients nonlinear interconnected control systems with multigroups and multidelays of parametrics, in which there is the structure of perturbation, are given. Meanwhile, the estimation formulas of bounds for delays and parametric perturbation are given.

Key words multidelays; nonlinear; control system; the strncture and interconnected robust stabilization

(上接第 288 页)

$\{\varphi_1^{\prime(j)}[A'_j];F'\};j\in I\}$ 分别为积代数。则 $\forall i\in I$,对于后者仍有:$Id\circ e_i^j=e_i^j\circ Id$。

由这三个引理可得下列:

定理 4 在引理 13 和引理 14 的条件下,存在唯一的同态映射 $\varphi'=(\varphi_1',\varphi_2)$,使得 1)$Id\circ\varphi_1'=\varphi_1\circ Id$,其中 φ_1 由引理 10 给出;2)$\forall i\in I$, $e_i^j\circ\varphi_1'=\varphi_1^{\prime(i)}\circ e_i^j$。

证 我们定义 $\varphi_1':\pi\{A'_j\}\to\pi\{\varphi_1^{\prime(j)}[A'_j]\}$, $a\to\varphi_1'(a)$,$\varphi_1'(a)$ 满足:$e_i^j(\varphi_1'(a))=\varphi_1^{\prime(i)}e_i^j(a)$。易验知,$\varphi'$ 是同态态射,1),2) 成立,且 φ' 是唯一的。□

对于反向情形我们有下列:

引理 15 设 $\varphi=(\varphi_1,\varphi_2)$ 是从代数 $\mathscr{A}=(A;F_1)$ 到 $\mathscr{B}=(B;F_2)$ 中的一个同态态射,$B'\in SA(\mathscr{A})$,$A'=\varphi_1^{-1}[B']$,$\varphi_1|_{A'}=\varphi_1'$。则 $Id\circ\varphi_1'=\varphi_1\circ Id$。

引理 16 设 $\forall i\in I$,$\varphi^{(i)}=(\varphi_1^{(i)},\varphi_2)$是从 $\mathscr{A}_i=(A_i;F)$到 $\mathscr{B}_i=(B_i;F')$中的同态态射,$B'_i\in SA(\mathscr{B}_i)$,$\varphi_1^{(i)^{-1}}[B'_i]=A'_j$, $\varphi_1^{(i)}|_{A'_i}=\varphi_1^{(i)'}$。则 1)$Id\circ\varphi_1'=\varphi_1\circ Id$; 2) 对于 $\pi\{A_j';j\in I\}$, $\pi\{A_j\}$ 及 $\forall i\in I$ 有 $Id\circ e_i^j=e_i^j\circ Id$;3) 对于 $\pi\{B'_j\}$,$\pi\{B_j\}$ 及 $\forall i\in I$,$Id\circ e_i^j=e_i^j\circ Id$。

类似于定理 4 的证明可得下列:

定理 5 在引理 16 的条件下,存在唯一的同态态射 $\varphi'=(\varphi_1',\varphi_2)$:$\pi\{\varphi_1^{(j)^{-1}}[B'_j]\}\to\pi\{B'_j\}$,使得:1)$Id\circ\varphi_1'=\varphi_1\circ Id$,其中 φ_1 由引理 10 给出;2)$\forall i\in I$, $e_i^j\circ\varphi_1'=\varphi_1^{(i)'}\circ e_i^j$。

5 关于应用的说明

对于一些具体的不同型代数类间的联系,如 Abel 群类与环类、R 上 n 阶方阵加群类与 R 上 m 阶方阵环类($n\geq m$) 及一些实际问题(如股市行情、帐页、统计表、户籍和身份证登记、记忆磁卡等)转化为代数问题后建立的不同型代数间的联系,我们可将本文中得到的结果分别用于这些情况。

参 考 文 献

1 Grätzer G. Universal Algebra, 2nd Edition. New York: Springer-Verlag, 1979

2 胡庆平,李丹. 泛代数. 武汉:华中理工大学出版社,1993

责任编辑 曾大刚

Some Problems on the Relations Between Two Algebras with Different Types

Hu Qingping[1)] Li Dan[2)]

(1)Deprtment of Computer Science; 2)Economicool College of Northwest University, 710069, Xi'an)

Abstract Some problems on the relations between two algebras with different types were discussed, and results were got respectively, and necessary notes for uses were done.

Key words homomorphic morphism; algebra; subalgebra; quotient; product