

一类非线性不确定组合系统基于 观测器的鲁棒分散镇定*

魏 永 德

(辽宁大学工商管理学院 沈阳 110036)

摘 要 讨论一类组合系统的鲁棒观测器的设计及该类系统基于估计状态反馈分散镇定问题。所设计的变结构观测器使得观测误差渐近趋于零,基于估计状态所设计的鲁棒分散控制器确保闭环系统是渐近稳定的,系统的相似结构使得所设计的各个子系统的分散观测器以及控制器在结构上具有一致性,从而简化了系统的设计。

关键词 鲁棒观测器,不确定性,分散镇定

分类号 TP 202

Observer Design and Decentralized Stabilization of Nonlinear Uncertain Interconnected Systems with Similarity

Wei Yongde

(Liaoning University)

Abstract The problem of robust observation synthesis and decentralized stabilization for large-scale systems subjected to nonlinear interactions and bounded uncertainties is considered. Firstly, the scheme of the variable-structure-observer is proposed and the observation error is guaranteed to converge asymptotically to zero. Then, based upon the certain functional properties of the uncertainty bound and by using the estimated states feedback, the decentralized control law is obtained which guarantees that the closed-loop systems to be asymptotically stable. Finally, a practical example shows the effectiveness of the conclusion proposed.

Key words robust observer, uncertainty, decentralized stabilization

1 引 言

如何构造系统的观测器以有效地测量系统的当前状态,并利用估计状态实现对系统的反馈控制,是一项很有意义的工作。对于一般非线性系统,观测器的设计以及用估计状态反馈镇定的研究结果可参见文献[1,2]。文献[3]提出了非线性系统的相似性结构的概念,并主张利用这一结构对系统的控制问题进行研究。基于这一观点,[4]研究了确定的非线性组合系统基于观测器的分散镇定问题,[5]研究了具

有相似结构的不确定大系统的鲁棒观测器的设计问题,但没有研究利用其估计状态实现反馈分散镇定问题。

本文主要研究具有相同线性部分的不确定相似组合系统基于观测器的分散反馈镇定问题。首先研究这类相似组合系统的鲁棒观测器的设计;然后讨论系统经估计状态反馈分散镇定。研究结果表明,组合系统的相似结构有助于简化对系统的分析,并使对各个子系统所设计的观测器和分散控制器均具有某种相似结构,从而降低了系统设计的复杂性。

2 基于状态观测器非线性相似组合系统的鲁棒分散镇定

本节对一类非线性相似组合系统建立鲁棒状态观测器, 并利用估计状态对系统进行分散镇定. 考虑如下由微分方程描述的非线性相似组合系统

$$\begin{aligned} \dot{x}_i &= Ax_i + Bu_i + \Delta f_i(x_i, u_i, t) + \sum_{j=1}^N d_{ij}(x_j) \\ y_i &= Cx_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2.1)$$

其中, $x_i \in R^n$, $u_i \in R^m$ 和 $y_i \in R^q$ 分别是第 i 个子系统的状态、控制输入和输出向量; A, B 和 C 是常数矩阵; $\Delta f_i(x_i, u_i, t)$ 描述了第 i 个子系统自身结构的不确定性; $d_{ij}(x_j)$ 是已知的关联项, 且满足 $d_{ij}(0) = 0$.

下面给出目前研究非线性系统状态观测器时通常采用的假设条件.

假设 1 矩阵对 (A, C) 是完全可观测的, (A, B) 是完全可控的.

由假设 1, 存在矩阵 L 和 K 使得矩阵 $(A - LC)$ 和 $(A - BK)$ 是 Hurwitz 的; 进而对任何正定矩阵 rI ($r > 0$), 下面的 Lyapunov 方程

$$(A - LC)^T P + P(A - LC) + rI = 0 \quad (2.2)$$

$$(A - BK)^T Q + Q(A - BK) + rI = 0 \quad (2.3)$$

分别有对称正定解矩阵 P 和 Q .

假设 2 假设关联项 $d_{ij}(x_j)$ ($i, j = 1, 2, \dots, N$) 在 R^n 上满足 Lipschitz 条件

$$\begin{aligned} |d_{ij}(x_j) - d_{ij}(\hat{x}_j)| &\leq \delta_{ij} \|x_j - \hat{x}_j\| \\ \forall x_j, \hat{x}_j &\in R^n \end{aligned} \quad (2.4)$$

其中 $\delta_{ij} > 0$ 是 Lipschitz 常数.

假设 3 存在已知常数矩阵 D, F 和未知的函数矩阵 $g_i(x_i, u_i, t)$ 使得下式成立.

$$\begin{cases} D^T P = FC \\ \Delta f_i(x_i, u_i, t) = D g_i(x_i, u_i, t) \end{cases} \quad (2.5)$$

假设 3 是文献 [2, 6, 7] 中假设条件的自然推广. 文献 [2, 6, 7] 中要求不确定性满足匹配条件, 并且存在矩阵 F 使得等式 $B^T P = FC$ 成立, 这一假设显然是假设 3 的一种特殊情况. 它使得在假设 3 的前提下, 可讨论的问题较 [2, 6, 7] 中的结果更为广泛.

假设 4 对于系统中的不确定性, 假定存在正数 α, β 使得下式成立.

$$g_i(x_i, u_i, t) = \alpha y_i + \beta u_i \quad (2.6)$$

2.1 非线性相似组合系统鲁棒

状态观测器的设计

现在构造系统 (2.1) 的观测器如下

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_i &= A\hat{x}_i + Bu_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}(\hat{x}_j) + \\ &LC(x_i - \hat{x}_i) + V_i^q \\ i &= 1, 2, \dots, N \end{aligned} \quad (2.7)$$

$$V_i^q = \begin{cases} \frac{P^{-1}C^T F^T FC(x_i - \hat{x}_i)}{FC(x_i - \hat{x}_i)} \times \\ [\alpha y_i + \beta u_i], \\ FC(x_i - \hat{x}_i) = 0 \\ 0, \quad FC(x_i - \hat{x}_i) = 0 \end{cases} \quad (2.8)$$

对此可给出如下结论:

定理 1 系统 (2.1) 满足假设 1 ~ 假设 4, 如果矩阵 $(M + M^T)$ 是正定阵, 则式 (2.7) 是系统 (2.1) 的鲁棒渐近观测器. 其中 $M = (m_{ij})$, 且

$$m_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{2}r, & i = j \\ -\lambda_M(P)\delta_{ij}, & i \neq j \end{cases} \quad (2.9)$$

证明 定义 $e_i = x_i - \hat{x}_i, i = 1, 2, \dots, N$. 利用方程 (2.1) 和 (2.7) 得到误差状态方程

$$\begin{aligned} \dot{e}_i &= [A - LC]e_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(x_j) - \\ &d_{ij}(\hat{x}_j)] + \Delta f_i - V_i^q \end{aligned} \quad (2.10)$$

矩阵 L, P 由式 (2.2) 所确定. 显然, 为了证明定理结论的正确性, 只需证明系统 (2.10) 的状态渐近趋于零即可. 为此, 构造如下 Lyapunov 函数

$$V(e) = \sum_{i=1}^N \hat{e}_i^T P e_i \quad (2.11)$$

则函数 (2.11) 沿系统 (2.10) 的导数由下式给出.

$$\begin{aligned} \dot{V} &= \sum_{i=1}^N 2\hat{e}_i^T P [A - LC]e_i + \\ &\sum_{i=1}^N 2\hat{e}_i^T P \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(x_j) - d_{ij}(\hat{x}_j)] + \\ &\sum_{i=1}^N 2\hat{e}_i^T P [\Delta f_i - V_i^q] \end{aligned} \quad (2.12)$$

由式 (2.2) 得

$$2\hat{e}_i^T P [A - LC]e_i = -r\hat{e}_i^T e_i \quad (2.13)$$

利用假设 2, 可得

$$\begin{aligned} 2\hat{e}_i^T P \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(x_j) - d_{ij}(\hat{x}_j)] \\ 2\lambda_M(P) \sum_{j=1, j \neq i}^N \delta_{ij} \hat{e}_i^T e_j \end{aligned} \quad (2.14)$$

由假设 3 和假设 4, 有

$$\begin{aligned} 2\hat{e}_i^T P [\Delta f_i - V_i^q] &= \\ 2\hat{e}_i^T P D g_i(x_i, u_i, t) &- \end{aligned}$$

$$2\hat{e}_i^T P C e_i [\alpha y_i + \beta u_i]$$

$$\begin{aligned} & 2 \sum_{i=1}^N FCe_i^T g_i - \\ & 2 \sum_{i=1}^N FCe_i^T [\alpha_i y_i + \beta_i u_i] = 0 \quad (2.15) \end{aligned}$$

将式(2.13) ~ (2.15) 代入式(2.12), 得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & - \sum_{i=1}^N r \hat{e}_i^2 + \\ & 2 \sum_{i=1}^N \sum_{j=1, j \neq i}^N \delta_{ij} \lambda_M(P) \hat{e}_i \hat{e}_j = \\ & - \sum_{i=1}^N [\hat{e}_1, \dots, \hat{e}_N]^T (M + M^T) \times \\ & [\hat{e}_1, \dots, \hat{e}_N]^T \quad (2.16) \end{aligned}$$

由于 $(M + M^T)$ 是正定矩阵, 因此 \dot{V} 是负定的。从而系统(2.10) 的状态渐近趋向零点。(证毕)

2.2 基于观测器的鲁棒分散镇定

在上节的基础上, 系统(2.1) 的估计状态反馈分散控制器可由下式给出。

$$u_i = -Kx_i, \quad i = 1, 2, \dots, N \quad (2.17)$$

由式(2.7), (2.10) 及(2.17), 可得闭环系统

$$\begin{aligned} \dot{\hat{x}}_i = & A\hat{x}_i + Bu_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}(\hat{x}_j) + \\ & LC(x_i - \hat{x}_i) + V_i^a \\ \dot{\hat{e}}_i = & [A - LC]\hat{e}_i + \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(\hat{x}_j) - \\ & d_{ij}(\hat{x}_j)] + \Delta f_i - V_i^a \quad (2.18) \end{aligned}$$

对此, 有如下结论:

定理2 系统(2.1) 满足假设1 ~ 假设4, 如果存在常数 $d_i (i = 1, 2, \dots, N)$, 使得矩阵 $(M^T + M)$ 是正定矩阵, 则系统(2.1) 可由控制器(2.17) 分散镇定。其中

$$M = \begin{bmatrix} M_1 & M_2 \\ 0 & M_3 \end{bmatrix}$$

$$(M_1)_{ij} = \begin{cases} \frac{r}{2} - \lambda_M(Q) [\alpha_i + \beta_i] - \frac{QLC}{2k}, & i = j \\ -\lambda_M(Q) \delta_{ij}, & i \neq j \end{cases}$$

$$(M_2)_{ij} = \begin{cases} -(\lambda_M(Q) \alpha_i + QLC), & i = j \\ 0, & i \neq j \end{cases}$$

$$(M_3)_{ij} = \begin{cases} \frac{1}{2}(d_i r - k QLC), & i = j \\ -d_i \lambda_M(P) \delta_{ij}, & i \neq j \end{cases}$$

证明 选取 Lyapunov 函数如下

$$\begin{aligned} V(\hat{x}, \hat{e}) = & \sum_{i=1}^N [\hat{x}_i^T Q \hat{x}_i + d_i \hat{e}_i^T P \hat{e}_i] \\ \hat{x} = & [\hat{x}_1^T \dots \hat{x}_N^T]^T \quad (2.19) \end{aligned}$$

其中 P, Q 由式(2.2), (2.3) 所确定。于是函数 $V(\hat{x}, \hat{e})$ 沿式(2.1) 的导数可由下式给出。

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \sum_{i=1}^N 2\hat{x}_i^T Q [A - BK] \hat{x}_i + \\ & \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}(\hat{x}_j) + LC\hat{e}_i + V_i^a + \\ & \sum_{i=1}^N 2d_i \hat{e}_i^T P \{ (A - LC) \hat{e}_i + [\Delta f_i - \\ & V_i^a] + \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(\hat{x}_j) - d_{ij}(\hat{x}_j)] \} \quad (2.20) \end{aligned}$$

由式(2.3), 有

$$2\hat{x}_i^T Q [A - BK] \hat{x}_i = -r \hat{x}_i^T \hat{x}_i \quad (2.21)$$

根据假设2 及 $d_{ij}(0) = 0$, 可得

$$\begin{aligned} & 2\hat{x}_i^T Q \sum_{j=1, j \neq i}^N d_{ij}(\hat{x}_j) \\ & = \sum_{j=1, j \neq i}^N 2Q\hat{x}_i \delta_{ij} \hat{x}_j \quad (2.22) \end{aligned}$$

由 $y_i = Cx_i = Cx_i + Ce_i$, 得

$$\begin{aligned} & 2\hat{x}_i^T Q LCe_i + 2\hat{x}_i^T Q V_i^a \\ & = 2QLC \hat{x}_i \hat{e}_i + \\ & 2\lambda_M(Q) P^{-1} C^T F^T \times \\ & [\alpha_i C + \beta_i K] \hat{x}_i^2 + \\ & 2\lambda_M(Q) P^{-1} C^T F^T \alpha_i C \hat{e}_i \hat{x}_i \quad (2.23) \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} & 2\hat{e}_i^T P \left\{ \sum_{j=1, j \neq i}^N [d_{ij}(\hat{x}_j) - d_{ij}(\hat{x}_j)] + \Delta f_i - V_i^a \right\} \\ & + \sum_{j=1, j \neq i}^N 2\delta_{ij} \hat{e}_i^T P \hat{e}_j + 2 \sum_{i=1}^N D^T P \hat{e}_i g_i - \\ & 2\hat{e}_i^T P \frac{P^{-1} C^T F^T FCe_i}{FCe_i} [\alpha_i y_i + \beta_i u_i] \\ & + \sum_{j=1, j \neq i}^N 2\delta_{ij} \hat{e}_i^T P \hat{e}_j \quad (2.24) \end{aligned}$$

记 $\alpha_i = \alpha_i P^{-1} C^T F^T C$
 $\beta_i = \beta_i P^{-1} C^T F^T K$
 将式(2.13) ~ (2.15) 和(2.20) ~ (2.24) 代入式(2.19), 得

$$\begin{aligned} \dot{V} = & \sum_{i=1}^N \{ -r \hat{x}_i^2 + 2\lambda_M(Q) [\alpha_i + \beta_i] \hat{x}_i^2 \} + \\ & \sum_{i=1}^N \{ 2QLC \hat{x}_i \hat{e}_i + \\ & 2\lambda_M(Q) \alpha_i \hat{e}_i \hat{x}_i \} - \\ & \sum_{i=1}^N r \hat{e}_i^2 + \sum_{i=1}^N 2\delta_{ij} \lambda_M(P) \hat{e}_i \hat{e}_j \\ & + \sum_{i=1}^N \left\{ -r + \frac{QLC}{k} + 2\lambda_M(Q) [\alpha_i + \beta_i] \right\} \times \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \left. \begin{matrix} \hat{x}_i \\ \hat{x}_i \end{matrix} \right\} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N 2\lambda_i(Q) \delta_{ij} \hat{x}_i \hat{x}_j + \\
 & 2(QLC + \alpha_i \lambda_i(Q) \hat{e}_i \hat{x}_i + \\
 & [-dir + QLC \ k] \hat{e}_i \hat{x}_i)^2 + \\
 & 2d_i \delta_{ij} \lambda_i(P) \hat{e}_i \hat{e}_j = \\
 & - [\hat{x}_1 \ \dots \ \hat{x}_N, \ \hat{e}_1 \ \dots \ \hat{e}_N] \times \\
 & (M + M^T) [\hat{x}_1 \ \dots \ \hat{x}_N, \ \hat{e}_1 \ \dots \ \hat{e}_N]^T
 \end{aligned} \tag{2.25}$$

由于矩阵 $(M^T + M)$ 是正定的, 因此式(2.25) 表示系统在其平衡点处渐近稳定。注意到 $\hat{e}_i = x_i - \hat{x}_i$, 故 $\lim_0 x_i = 0 (i = 1, 2, \dots, N)$, 所以系统(2.1) 可由控制器(2.17) 分散镇定。(证毕)

3 仿真算例

现以[8] 中的一个例子进一步验证本文结果的有效性, 并以此说明定理的应用。依据文献[8], 系统模型为

$$\begin{aligned}
 \begin{bmatrix} \dot{x}_{11} \\ \dot{x}_{12} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega x_{22} \end{bmatrix} \\
 y_1 &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_{11} \\ x_{12} \end{bmatrix} \\
 \begin{bmatrix} \dot{x}_{21} \\ \dot{x}_{22} \end{bmatrix} &= \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_2 + \\
 & \begin{bmatrix} 3g l \sin x_{21} \\ \omega x_{12} \sin x_{21} + g l \sin x_{21} \end{bmatrix} \\
 y_2 &= [1 \ 0] \begin{bmatrix} x_{21} \\ x_{22} \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

按文献[8] 选取参数: $l = 1, g = 0.098, I_1 = I_2 = 1, \omega = 0.1 \sin 10t$, 取 $L = [2 \ 1]^T$ 。 $r = 2$ 时, 解方程(2.2) 和(2.3), 得

$$P = \begin{bmatrix} 1 & -1 \\ -1 & 3 \end{bmatrix}, \quad Q = \begin{bmatrix} 3 & 1 \\ 1 & 1 \end{bmatrix}$$

考虑不确定项为

$$\Delta f_1 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad \Delta f_2 = \begin{bmatrix} 3g \sin x_{21} \\ g \sin x_{21} \end{bmatrix}$$

则有

$$\begin{aligned}
 D_1 &= 0, \quad F_1 = 0 \\
 D_2 &= \begin{bmatrix} 0 & 0.3 \\ 0 & 0.1 \end{bmatrix}, \quad F_2 = \begin{bmatrix} 0 \\ 0.2 \end{bmatrix}
 \end{aligned}$$

按定理 1, 其鲁棒渐近观测器构造如下

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_{11} \\ \dot{\hat{x}}_{12} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{11} \\ \hat{x}_{12} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_1 + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega x_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2e_{11} \\ e_{11} \end{bmatrix}$$

$$\begin{bmatrix} \dot{\hat{x}}_{21} \\ \dot{\hat{x}}_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \hat{x}_{21} \\ \hat{x}_{22} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix} u_2 + \begin{bmatrix} 0 \\ \omega x_{12} \sin \hat{x}_{21} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 2e_{21} \\ e_{21} \end{bmatrix} + 0.098 \ y_2 \begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix} \operatorname{sgn} \begin{bmatrix} 0 \\ e_{21} \end{bmatrix}$$

经验证知满足[8] 中定理 3. 1. 2 的条件。控制器设计为

$$u_1 = -\hat{x}_{11} - 2\hat{x}_{12}, \quad u_2 = -\hat{x}_{21} - 2\hat{x}_{22}$$

在式(2.25) 中取 $k = 30$, 并选取初值

$$\begin{aligned}
 & [x_{11}(0), x_{12}(0), x_{21}(0), x_{22}(0)] = \\
 & [2, -3, 1, -1.5] \\
 & [e_{11}(0), e_{12}(0), e_{21}(0), e_{22}(0)] = \\
 & [1, -2, 2, -1.5]
 \end{aligned}$$

进行仿真。当取 $d_i = 140$ 时, 基于估计状态的响应曲线及误差曲线分别如图 1 和图 2 所示。仿真结果进一步验证了本文所提出方法是有效的。

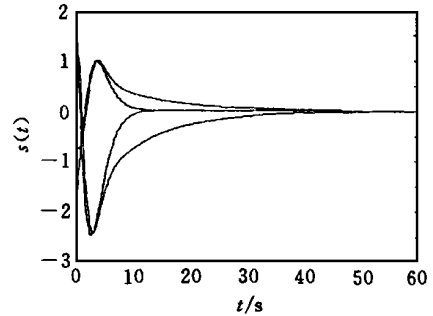


图 1 估计状态曲线

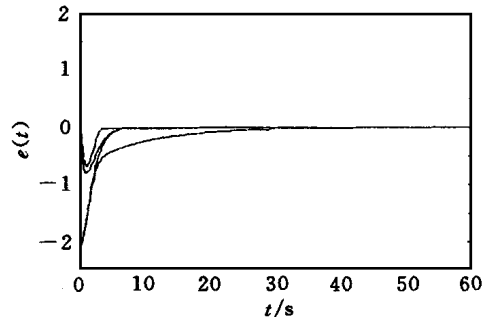


图 2 误差状态曲线

出分散的 H_∞ 控制器收缩回原空间(3),并应用于原系统 S_{12} 。图 1 给出子系统 1 和子系统 2 的主要输出响应曲线,即频率变化量 $\Delta f_{1,2}$, 传输线功率变化量 ΔP_e 和蒸汽发电机高压输出变化量 ΔP_{t1} 的阶跃扰动输出响应曲线。仿真结果表明,在鲁棒性明显提高的前提下,系统具有与文献[3,4] 同样满意的动态性能,且其结果好于文献[2]。

5 结 语

本文给出了多区域重叠互联电力系统以两两区域重叠互联子系统控制为基础的分散 H_∞ 鲁棒控制器的设计方法。将多区域系统分解为两两区域重叠互联系统,然后按照两区域重叠互联系统的控制方法进行设计。在控制器的设计过程中采用 LMI 算法,以提高系统控制的鲁棒性。该方法的研究为多区域互联电力系统的区域自主分散控制和协调,以及系统全局控制的组合优化和智能化奠定了基础。

参 考 文 献

- 1 Siljak D D. Large scale dynamic systems: Stability and structure. New York: North-Holland, 1978
- 2 Calovic M S. Automatic generation control: Decentralized area-wise optimal solution. Electric Power Systems Research, 1984, 7: 225 ~ 139
- 3 Xue-Bo Chen, Stankovic S S. Overlapping decomposition and decentralized LQG control for interconnected power systems. In: Proc of IEEE SMC 96. Beijing,

1996. 14 ~ 17

- 4 Stankovic S S, Chen X B, Siljak D D. Stochastic inclusion principle applied to decentralized overlapping suboptimal LQG control. In: Proc 13th IFAC Congress. San Francisco, 1996. 7 ~ 12
- 5 陈雪波, 李小华. 多区域重叠互联电力系统的结构分析. 见: 中国自动化学会第十四届青年学术会议论文集. 1999. 15 ~ 19
- 6 陈雪波, Stankovic S S. 离散随机系统的包含原理. 自动化学报, 1997, 23(1): 94 ~ 98
- 7 T Iwasaki, R E Skelton. All controllers for the general H_∞ control problem: LMI existence conditions and state space formulas. Automatica, 1994, 30(8): 1307 ~ 1317
- 8 M Ikeda, Siljak D D. Overlapping decentralized control with input, state and output inclusion. Control theory and Advanced Technology, 1986, 2(2): 155 ~ 172

作 者 简 介

李小华 女, 1964 年生。1997 年在鞍山钢铁学院获工学硕士学位, 现为该校电子与信息工程学院副教授。主要研究方向为大系统的结构分析与控制。

陈雪波 男, 1960 年生。1994 年在南斯拉夫贝尔格莱德大学获技术科学博士学位, 现为鞍山钢铁学院电子与信息工程学院教授。主要研究方向为大系统, 复杂系统和多变量系统的结构分析与控制。

贲 驰 女, 1965 年生。1995 年获东北大学双学位, 现任国家电力公司东北分公司工程师。研究方向为电力系统自动化。

(上接第 685 页)

4 结 语

本文利用组合系统的相似性结构, 给出了不确定系统鲁棒状态观测器的设计方案及估计状态分散反馈控制器的构造。研究表明, 组合系统的相似结构有利于简化对系统的分析与设计。

参 考 文 献

- 1 Y Chen. Adaptive robust observer for nonlinear uncertain systems. Int J Contr, 1990, 21(4): 803 ~ 814
- 2 C F Cheng, W J Wang, Y P Lin. Robust observer synthesis for nonlinear systems. Int J Contr, 1994, 25(5): 1053 ~ 1066
- 3 张嗣瀛. 复杂控制系统的对称性及相似性结构. 控制理论与应用, 1994, 11(2): 231 ~ 237
- 4 井元伟, 陈兵, 张嗣瀛. 非线性组合系统基于状态观测器的分散镇定. 控制与决策, 1997, 12(3): 256 ~ 259

- 5 陈兵, 井元伟, 张嗣瀛. 一类具有相似结构的不确定组合大系统的观测器设计. 控制与决策, 1998, 13(4): 306 ~ 310

- 6 D M Darvson. On the state observation and output feedback problems for nonlinear uncertain dynamic systems. Syst & Contr Lett, 1992, 18: 217 ~ 222

- 7 C F Cheng. Design of robust observation scheme for uncertain large scale systems. IEEE Proc Contr Theory Appl, 1997, 144(2): 369 ~ 374

- 8 M C Han, Y H Chen. Decentralized robust control design for linearizable systems with strong interconnections. In: Proc of the 1993 American Control Conf. 1993. 3279 ~ 3289

作 者 简 介

魏永德 男, 1960 年生。1982 年毕业于辽宁大学, 现为该校工商管理学院副教授。感兴趣的研究方向为自适应控制, 鲁棒控制等。