

离散 T-S 模糊控制系统的稳定性研究

刘 俊, 金朝永, 肖 元

(广东工业大学 应用数学学院, 广东 广州 510006)

摘要: 在分段模糊 Lyapunov 函数的基础上研究了输入采用双交叠模糊分化的模糊控制系统的性质, 并提出了最大交叠域的概念. 在此基础上提出了一个新的判定 T-S 模糊系统稳定性的充分条件, 该条件就是在最大交叠域中分别寻找公共的正定矩阵, 减少了以往稳定性判定方法的保守性和难度. 具体实例说明了本条件的有效性和优越性.

关键词: 离散 T-S 模糊系统; 分段模糊 Lyapunov 函数; 模糊分化; 稳定性

中图分类号: TP273.4

文献标识码: A

文章编号: 1007-7162(2010)03-0022-05

自 T-S 模糊模型在 1985 年由 Takagi 和 Sugeno 提出后, 加速了模糊控制系统在工业生产中的应用. 与此同时 T-S 模糊模型也是控制领域里非常活跃的一个分支. 最初的 T-S 模型是:

R_k : if x_1 is A_{1k} , x_2 is A_{2k} , $\dots$, x_m is A_{mk} then $y_k = P_{0k} + P_{1k}x_1 + P_{2k}x_2 + \dots + P_{mk}x_m$, R_k ($k = 1, 2, \dots, N$), N 是总的规则数. 其中 x_l 是第 l 个输入变量 ($l = 1, 2, \dots, m$), m 是输入变量的个数, k 是第 k 条控制规则; A_{lk} 是一个模糊集合, y_k 是第 k 条模糊规则的输入, P_{lk} 是第 k 模糊规则结论部分线性多项式函数中变量 x_l 项的系数, P_{0k} 是常数项, 通常可归一化为 1.

近年来 T-S 模糊控制系统进行了改进, 现在常用的模型是 T-S 模糊模型的动态系统. 在这期间, 对模糊控制系统稳定性分析的研究也取得了诸多成果. 由于模糊控制系统被看做是逼近非线性控制系统最有效的工具, 而且其本质也是一类非线性系统, 所以许多现有的研究非线性控制系统的理论都适用模糊控制系统. 而非线性控制系统中研究稳定性最有效的工具就是 Lyapunov 稳定性理论. 基于 Lyapunov 直接方法, Tanaka 等人^[1-2] 给出了形如 $V(x(k)) = x^T(k)px(k)$ 公共的 Lyapunov 方程, 但这里正定矩阵 p 必须满足所有的子系统, 这个条件是非常苛刻的. 为了降低寻找公共矩阵 p 的保守性, Wang 等人^[3-6] 提出了带有规则权重的模糊 Lyapunov 函数的方法, 虽然在一定程度上降低了保守性, 但仍然是寻找一个普通的二次 Lyapunov 方程. Johanson 等人^[7-11] 提出了分段的模糊 Lyapunov 函数的方法, 从根本上降低了求普通二次 Lyapunov 函数的保守性, 而且分段模糊 Lyapunov 函数的逼近性更好. 本

文在分段 Lyapunov 函数的基础上参考文献[9-11] 提出的双交叠模糊分化等概念, 并根据系统输入状态的变化是连续的这一特点提出最大交叠域的概念. 通过把状态空间分化成几个最大交叠域, 并在最大交叠域中构造分段离散型 Lyapunov 函数, 提出了一个新的判定离散型 T-S 模糊控制系统稳定性的充分条件.

1 输入采用双交叠模糊分化的离散 T-S 模糊控制系统

1.1 离散 T-S 模糊控制系统模型

用 R_i 表示模糊系统的第 i 条规则, 离散 T-S 模糊系统的模型可以描述如下:

R_i : if $x_1(k)$ is M_1^i , and $\dots$, and $x_l(k)$ is M_l^i then $x(k+1) = A_i x(k) + B_i u(k)$. (1)

其中, x_l , M_l^i , $i = 1, 2, \dots, r$, $l = 1, 2, \dots, n$, 分别为模糊系统的输入状态变量和模糊集, i 指第 i 条控制规则, n 指输入状态变量的个数, r 指 r 条控制规则.

$x^T(k) = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k)]$ 为模糊系统的状态向量. $u(k)$ 为模糊系统的输入向量. 称每条规则对应的线性状态方程为子系统.

通过单点模糊化, 乘积推理和中心平均反模糊化方法, 模糊控制系统的总体模型为

$$x(k+1) = \sum_{i=1}^r h_i(k) [A_i x(k) + B_i u(k)]. \quad (2)$$

式(2)中, $h_i(k) = \prod_{j=1}^n M_j^i(x_j(k)) / \sum_{i=1}^r \prod_{j=1}^n M_j^i(x_j(k))$, 其中 $M_j^i(x_j(k))$ 表示 $x_j(k)$ 属于模糊集 M_j^i 的隶属度, $h_i(k)$ 为第 i 条规则的激活度.

当输入为零时, 有

$$\mathbf{x}(k+1) = \sum_{i=1}^r h_i(k) \mathbf{A}_i \mathbf{x}(k). \quad (3)$$

1.2 双交叠模糊分化的有关定义

在大多数情况下,模糊控制系统中输入变量模糊分化的模糊集具有两两交叠的性质(如图1所示).模糊集可以用隶属度函数表示.假设本文所涉及的隶属函数 $F(x)$ 在论域 X 上是连续函数,下面明确有关双交叠模糊分化的几个概念.

定义1 称模糊集组 $\{F_i, i=1, 2, \dots, m\}$ 为论域 X 的一个双交叠模糊分化,如果 $\{F_i, i=1, 2, \dots, m\}$ 在论域 X 上是两两交叠的.称数值 m 为论域 X 的模糊分化数.

定义2 对于系统的某一状态输入 $\mathbf{x} = [x_1, x_2, \dots, x_n]^T$,所有激活度 $w_i > 0$ 的规则构成了一个交叠区域.该状态输入 $\mathbf{x}$ 称为此交叠区域的一个作用点.

定义3 以连续两个模糊分化的交叠区域为基础分割状态空间,模糊集 $\{F_i, i=1, 2, \dots, m\}$ 有几个交叠区域就把状态空间分成几部分,每一部分成为这个模糊系统的最大交叠域,用 $\{E_i, i=1, 2, \dots, m-1\}$ 表示, m 为输入变量的模糊分化数.任何一个交叠域中所包含的规则都包含于某个最大交叠域中,而且状态空间的分割可以根据任一状态变量 ($x_l (l=1, 2, \dots, n)$) 的模糊分化,只要状态变量 x_l 的模糊分化的模糊集具有两两交叠的性质,且其隶属函数是连续的.

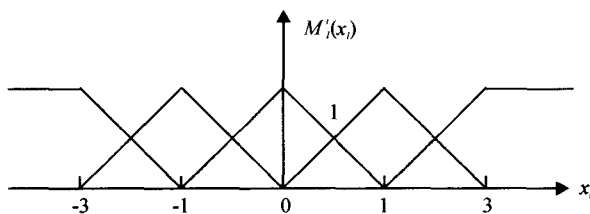


图1 具有两两交叠性质的状态变量的隶属函数

1.3 离散系统的 Lyapunov 稳定性理论

由 Lyapunov 直接方法,判定离散控制系统稳定性的充分条件如下.

定理1 设离散系统 $\mathbf{x}(k+1) = f(\mathbf{x}(k))$, $\mathbf{x}(k) \in R^n$, $f(\mathbf{x}(k))$ 是 $n \times 1$ 的向量函数,并且对于所有的 k 满足 $f(0) = 0$,如果存在 $\mathbf{x}(k)$ 上连续的标量函数 $V(\mathbf{x}(k))$ 满足

- (1) $V(0) = 0$;
- (2) 对所有的 $\mathbf{x}(k) \neq 0$, $V(\mathbf{x}(k)) > 0$;
- (3) 当 $\|\mathbf{x}(k)\| \rightarrow \infty$ 时, $V(\mathbf{x}(k)) \rightarrow \infty$;
- (4) 对于所有的 $\mathbf{x}(k) \neq 0$, $L = V(\mathbf{x}(k+1)) - V(\mathbf{x}(k)) < 0$.

那么系统的平衡状态 $\mathbf{x}(k) = 0$ 对所有的 k 是大范围渐近稳定的,且 $V(\mathbf{x}(k))$ 是 Lyapunov 函数.

对于式(3)选取候选的 Lyapunov 函数为 $V(\mathbf{x}) = \mathbf{x}(k)^T \mathbf{p} \mathbf{x}(k)$.

基于公共的 Lyapunov 函数,文献[1-2]提出了如下的判定离散 T-S 模糊系统稳定性的定理.

定理2 式(3)所示的离散 T-S 模糊系统在平衡点大范围稳定的充分条件是,存在一个公共的正定矩阵 $\mathbf{p}$,对所有的子系统满足

$$\mathbf{A}_i^T \mathbf{p} \mathbf{A}_i - \mathbf{p} < 0, i=1, 2, \dots, r.$$

这种方法具有很大的保守性,当系统规则数很大时甚至不存在公共的正定矩阵 $\mathbf{p}$,系统仍然是稳定的.

为了降低公共的 Lyapunov 函数的保守性,文献[3-4]在定理2的基础上进行了改进,提出了模糊 Lyapunov 函数的方法来判断系统的稳定性.此方法如下.

定理3 式(3)的离散 T-S 模糊系统在平衡点大范围稳定的充分条件是,存在正定矩阵 $\mathbf{p}_i$ (或 $\mathbf{p}_l$) 满足 Lyapunov 不等式 $\mathbf{A}_i^T \mathbf{p}_i \mathbf{A}_i - \mathbf{p}_i < 0, i, l=1, 2, \dots, r$.

虽然定理3在一定程度上降低了定理2求公共矩阵的保守性,但 r 个正定矩阵必须满足 r^2 个 Lyapunov 不等式,随着规则数的增多求解也变得更难.可以看出当 $\mathbf{p}_1 = \mathbf{p}_2 = \dots = \mathbf{p}$ 时,定理3就变成了定理2,定理2是定理3的特殊形式.

Wang 等人在定理3的基础上通过判断系统中两个连续状态距离的大小对定理3进行了改进,其方法如下.

定理4 如果存在对称的正定矩阵 $\mathbf{p}_1, \mathbf{p}_2, \dots, \mathbf{p}_r$, 满足 $\mathbf{A}_i^T \mathbf{p}_j \mathbf{A}_i - \mathbf{p}_i < 0, i=1, 2, \dots, r$, 那么式(3)在平衡点是渐近稳定的. 其中 $j \in J, J = \{j | R_j \in G_g \text{ 或 } \bigcup_{l=1}^s G_g^l\}$, 具体意义请参考文献[5-6]. 定理4只在 $\delta = 1$ 时在一定程度上减少了求解 Lyapunov 不等式的个数,但没有从根本上改变求普通二次 Lyapunov 函数的保守性.

2 离散 T-S 模糊控制系统的稳定性分析

本文在文献[7-8]提出的分段模糊 Lyapunov 函数和文献[9-11]提出的双交叠模糊分化的基础上得到如下结果.

引理 如果 $\mathbf{p}_i$ 和 $\mathbf{p}_j$ 都是正定的矩阵且满足条件 $\mathbf{A}^T \mathbf{p}_i \mathbf{A} - \mathbf{p}_j < 0$ 和 $\mathbf{B}^T \mathbf{p}_i \mathbf{B} - \mathbf{p}_j < 0$, 那么

$$\mathbf{A}^T \mathbf{p}_i \mathbf{B} + \mathbf{B}^T \mathbf{p}_i \mathbf{B} - 2\mathbf{p}_j < 0.$$

证明 因为

$$A^T p_i B + B^T p_i A - 2p_j = -(A - B)^T p_i (A - B) +$$

$$A^T p_i A - p_j + B^T p_i B - p_j,$$

又 p_i 和 p_j 都是正定矩阵, 所以 $-(A - B)^T p_i (A - B) < 0$, 定理得证.

定理 5 对于式(3)所示的模糊控制系统, 如果输入采用双交叠模糊分化, 那么系统在平衡点大范围稳定的充分条件是, 在各个最大交叠域 E_i 中存在公共的正定矩阵 p_i 满足

$A_i^T p_i A_i - p_i < 0, i \in I_i, I_i$ 为 E_i 中包含的规则序号集, E_i 为第 i 个最大交叠域, $i = 1, 2, \dots, m_j - 1, m_j$ 为第 j 个输入变量的模糊分化数.

证明 设系统的状态输入为 $x^T = [x_1(k), x_2(k), \dots, x_n(k)]$, 设任一个交叠区域为 $e_n (n = 1, 2, \dots, m)$, m 为交叠域的个数, E_l 是第 l 个最大交叠域中包含的规则序号.

如果 $x(k)$ 与 $x(k+1)$ 在同一个交叠域上, 那么系统在第 l 个交叠域上的局部模型为

$$x(k+1) = \sum_{i \in E_l} h_i(k) A_i x(k). \quad (4)$$

如果存在公共的正定矩阵 p_l 满足

$$A_i^T p_l A_i - p_l < 0, i \in E_l. \quad (5)$$

选择 $V_l(x(k)) = x(k)^T p_l x(k)$ 为该交叠域的一个 Lyapunov 函数, 容易验证 $V_l(x(k))$ 满足定理 1 的(1)、(2)、(3).

对所有的 $x(k) \neq 0$, 由式(4)、(5)及 $h_i(k) > 0$, 可推出

$$L_l = V_l(x(k+1)) - V_l(x(k)) =$$

$$x^T(k+1) p_l x(k+1) - x^T(k) p_l x(k) =$$

$$x^T(k) \left[\left(\sum_{i \in E_l} h_i(k) A_i^T \right) p_l \left(\sum_{i \in E_l} h_i(k) A_i \right) - p_l \right] x(k).$$

因为 $\sum_{i \in E_l} \sum_{k \in E_l} h_i(k) h_k(k) = 1, i, k \in E_l$, 则有

$$L_l = x^T(k) \left[\sum_{i \in E_l} \sum_{k \in E_l} h_i(k) h_k(k) (A_i^T p_l A_k - p_l) \right] x(k) =$$

$$x^T(k) \left[\sum_{i \in E_l} h_i^2(k) (A_i^T p_l A_i - p_l) + \sum_{i, k \in E_l}^{i < k} h_i(k) h_k(k) (A_i^T p_l A_k - p_l + A_k^T p_l A_i - p_l) \right] x(k).$$

由引理可知 $\sum_{i, k \in E_l}^{i < k} h_i(k) h_k(k) (A_i^T p_l A_k - p_l + A_k^T p_l A_i - p_l) < 0$, 则 $V_l(x(k))$ 满足定理 1 的(4).

如果 $x(k)$ 与 $x(k+1)$ 不在同一个交叠域, 则在各交叠域上定义如下的特征函数

$$w_i(x(k)) = \begin{cases} 1, & x(k) \in E_l, \\ 0, & x(k) \notin E_l. \end{cases}$$

$$\sum_i^m w_i(x(k)) = 1.$$

则模糊系统在整个输入空间上的总体模型可表示为

$$x(k+1) = \sum_i^m w_i(x(k)) \left(\sum_{i \in E_l} h_i(k) A_i x(k) \right).$$

令 $p = \sum_{i=1}^m w_i(x(k)) p_i$, 在整个论域上构造的

Lyapunov 函数为

$$V(x) = x^T(k) p x(k) = x^T(k) \left(\sum_i^m w_i(x(k)) p_i \right) x(k) =$$

$$\sum_{i=1}^m w_i x^T(k) p_i x(k) = \sum_{i=1}^m w_i(x(k)) V_i(x(k)).$$

容易验证 $V(x(k))$ 满足定理 1 中的条件(1)、(2)、(3), 则

$$L_l = V(x(k+1)) - V(x(k)) =$$

$$\sum_{i=1}^m w_i(x(k+1)) V_i(x(k+1)) - \sum_{i=1}^m w_i(x(k)) V_i(x(k)) =$$

$$\sum_{i=1}^m w_i [V_i(x(k+1)) - V_i(x(k))] = \sum_{i=1}^m w_i(k) L_i < 0.$$

所以 $V(x(k))$ 也满足定理 1 的条件(4). 可知在最大交叠域中存在正定矩阵 p_l 满足 $A_i^T p_l A_i - p_l < 0$, 可使模糊控制系统(3)在平衡点大范围渐近稳定.

3 示例

考虑如下的离散 T-S 模糊系统, 其中第 i 条规则如下

$$R_{ij}: \text{if } x_1(k) \text{ is } M_1^i, x_2(k) \text{ is } M_2^j, \text{ then } X(k+1) = A_{ij} x(k).$$

其中 $i = 1, 2, 3, 4; j = 1, 2, 3, 4; x_1(k), x_2(k)$ (其隶属函数如图 1 所示) 是输入变量且它们的模糊分化为 M_1^i, M_2^j , 示例图如图 2 所示.

$x_2 \backslash x_1$	M_1^1	M_1^2	M_1^3	M_1^4
M_2^1	E_1	E_2	E_3	
M_2^2	$A_{11}A_{21}$ $A_{31}A_{41}$	$A_{12}A_{22}$ $A_{32}A_{42}$	$A_{13}A_{23}$ $A_{33}A_{43}$	
M_2^3	$A_{12}A_{22}$	$A_{13}A_{23}$	$A_{14}A_{24}$	
M_2^4	$A_{32}A_{42}$	$A_{33}A_{43}$	$A_{24}A_{44}$	

图 2 示例图

各个子系统矩阵如下:

$$\begin{aligned} A_{11} &= \begin{bmatrix} 0.86 & 0.22 \\ 0.06 & 0.86 \end{bmatrix}, A_{21} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.14 \\ 0.05 & 0.86 \end{bmatrix}, \\ A_{31} &= \begin{bmatrix} 0.86 & 0.15 \\ 0.05 & 0.86 \end{bmatrix}, A_{41} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.11 \\ 0.05 & 0.86 \end{bmatrix}, \\ A_{12} &= \begin{bmatrix} 0.86 & 0.12 \\ 0.05 & 0.86 \end{bmatrix}, A_{22} = \begin{bmatrix} 0.85 & 0.05 \\ 0.05 & 0.85 \end{bmatrix}, \\ A_{32} &= \begin{bmatrix} 0.85 & 0.07 \\ 0.07 & 0.85 \end{bmatrix}, A_{42} = \begin{bmatrix} 0.87 & 0.06 \\ 0.06 & 0.85 \end{bmatrix}, \\ A_{13} &= \begin{bmatrix} 0.85 & 0.07 \\ 0.06 & 0.85 \end{bmatrix}, A_{23} = \begin{bmatrix} 0.85 & 0.06 \\ 0.06 & 0.85 \end{bmatrix}, \\ A_{33} &= \begin{bmatrix} 0.85 & 0.07 \\ 0.05 & 0.85 \end{bmatrix}, A_{43} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.05 \\ 0.14 & 0.86 \end{bmatrix}, \\ A_{14} &= \begin{bmatrix} 0.86 & 0.06 \\ 0.14 & 0.87 \end{bmatrix}, A_{24} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.06 \\ 0.15 & 0.87 \end{bmatrix}, \\ A_{34} &= \begin{bmatrix} 0.86 & 0.06 \\ 0.17 & 0.87 \end{bmatrix}, A_{44} = \begin{bmatrix} 0.86 & 0.06 \\ 0.21 & 0.87 \end{bmatrix}. \end{aligned}$$

此离散 T-S 模糊控制系统共有 16 条控制规则,通过 MATLAB LMI 工具箱找不到可行性的解(公共的正定矩阵 p 和 16 个正定矩阵 $p_1, p_2, \dots, p_{16}$)来分别满足定理 2 和定理 3. 因此定理 2 和定理 3 都不能保证此系统在平衡点的稳定性. 而应用定理 4 虽然可以判别此系统的稳定性但需要求解 196 个 Lyapunov 不等式,计算量非常大.

根据文献[9-11]中的方法,可以把整个状态空间分割成 25 个子空间,其中有 9 个最大交叠组. 要判别此系统的稳定性需要在这 9 个最大交叠组中寻找 9 个正定矩阵 $p_1, \dots, p_9$. 由于每个相邻的最大交叠组都含有 2 个相同的控制规则,所以求解正定矩阵 $p_1, \dots, p_9$ 造成了大量的重复计算,随着规则数目 r 的增大无疑会增加计算的难度. 比如当模糊分化数 $m=5$ 时,根据文献[9-11]需要求解 16 个正定矩阵.

采用定理 5 的方法,根据双交叠模糊分化的性质,依据两个交叠模糊子集把状态空间分割成 3 个最大交叠域 E_1, E_2, E_3 . 要判断此系统的稳定性,根据定理 5 只需要在这 3 个最大交叠域 E_1, E_2, E_3 中分别找到 3 个公共的正定矩阵 p_1, p_2, p_3 即可. 应用 LMI 工具箱求解的公共正定矩阵 p_1, p_2, p_3 分别为:

$$\begin{aligned} p_1 &= \begin{bmatrix} 4.2665 & 2.2558 \\ 2.2558 & 5.6904 \end{bmatrix}, \\ p_2 &= \begin{bmatrix} 214.8435 & 85.7310 \\ 85.7310 & 197.8074 \end{bmatrix}, \end{aligned}$$

$$p_3 = \begin{bmatrix} 7.0612 & 2.8643 \\ 2.8643 & 5.1132 \end{bmatrix}.$$

由于本示例采用文献[6]中的示例,其仿真结果可参考文献[6]. 两种方法求解正定矩阵 p 的个数比较见表 1.

表 1 两种方法需求解正定矩阵 p 个数的比较

模糊分化数	文献[9-11]	本文(定理 5)
$m=3$	4	2
$m=4$	9	3
$m=5$	16	4
...	...	...
$m=n$	$(n-1)^2$	$n-1$

4 结束语

本文讨论了基于双交叠模糊分化的离散 T-S 模糊控制系统的稳定性,在分段 Lyapunov 函数的基础上结合文献[9-11]中的理论成果提出了最大交叠域的概念,并在此基础上提出了一种新的判断离散 T-S 模糊控制系统稳定性的充分条件. 通过对开环的模糊系统进行稳定性分析,可知新方法相比于文献[9-11]具有更少的保守性,在一定程度上大大降低了求解的难度和计算量. 但是,新方法仍然还存在着一定的保守性,有待作进一步的研究.

参考文献:

- [1] Tanaka K, Sugeno M. Stability analysis and design of fuzzy control system[J]. Fuzzy Sets and System, 1992, 45(2): 135-156.
- [2] Wang H O, Tanaka K, Griffin M F. An approach to fuzzy control of nonlinear systems; Stability and design issues [J]. IEEE Transactions on Fuzzy Systems, 1996, 4(1): 14-23.
- [3] Daafouz J, Riedinger P, Lung C. Stability analysis and control synthesis for switched system; a switched Lyapunov function approach [J]. IEEE Transactions on Automatic Control, 2002, 47(11): 1883-1887.
- [4] Tanaka K, Hori T, Wang H O. A multiple Lyapunov function approach to stability of fuzzy systems [J]. IEEE Transactions on Fuzzy System, 2003, 11(4): 582-589.
- [5] Wang W J, Sun C H. A relaxed stability criterion for T-S fuzzy discrete system[C]//In proceeding of IEEE international Conference on Networking, sensing and control. Taipei, Taiwan, 2004: 937-942.

- [6] Wang W J, Sun C H. A relaxed stability criterion for T-S fuzzy discrete systems[J]. IEEE Transactions on systems, man and Cybernetics, Part B: Cybernetics, 2004, 34(5): 2155-2158.
- [7] Johanson M, Rantzer A, Arzen K E. Piecewise quadratic stability of fuzzy systems[J]. IEEE Transactions on Fuzzy systems, 1999, 7(6): 713-722.
- [8] Feng G. Stability analysis of discrete-time fuzzy dynamic systems based on piecewise Lyapunov functions[J]. IEEE Transactions on Fuzzy systems, 2004, 12(1): 22-28.
- [9] 修智宏, 任光. T-S 模糊控制系统的稳定性分析及系统设计[J]. 自动化学报, 2004, 30(5): 731-741.
- [10] 张松涛, 任光. 离散 T-S 模糊系统的稳定性分析与系统设计[J]. 中国电机工程学报, 2006, 26(7): 113-117.
- [11] 张松涛, 任光. 基于分段模糊 Lyapunov 方法的离散模糊系统分析与设计[J]. 自动化学报, 2006, 32(5): 813-818.
- [12] 纪志成, 周英焕, 沈艳霞. 基于分段模糊 lyapunov 函数的模糊系统稳定性分析和保守能设计[J]. 自动化学报, 2008, 34(6): 721-728.
- [13] 王宁, 孟宪尧. 输入采用一般模糊划分的 T-S 模糊控制系统稳定性分析[J]. 自动化学报, 2008, 34(11): 1441-1445.
- [14] 王琦, 徐式蕴, 等. MATLAB 基础与应用实例集萃[M]. 北京: 人民邮电出版社, 2007.

Stability Analysis of Discrete T-S Fuzzy Control Systems

Liu Jun, Jin Chao-yong, Xiao Yuan

(Faculty of Applied Mathematics, Guangdong University of Technology, Guangzhou 51006, China)

Abstract: Based on piecewise fuzzy Lyapunov function, the properties of fuzzy control systems employing two-overlapped fuzzy partition inputs are studied, and the notation of maximal overlapped-rule area is also proposed. These new sufficient conditions to check the stability of a T-S fuzzy control system are proposed. The conditions require finding a common positive-definite matrix in each maximal overlapped-rule area, which can reduce the conservation and difficulty of former stability analysis approaches. Finally, an example is given to show the approach is effective and advantageous.

Key words: discrete-time T-S fuzzy system; piecewise fuzzy Lyapunov function; fuzzy partition; stability

(上接第 18 页)

The Construction of Error Functions

Shi Jia, Guo Kai-zhong

(Research Institute of System Engineering, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510520, China)

Abstract: For a fixed universe and discrimination rule, selecting an appropriate error function is essential. It studies what requirements are needed for an error function and how an appropriate error function is selected for a fixed domain and discrimination rule. Finally, several common distributions of fuzzy error functions are listed.

Key words: error function; discrimination rule; error value