

多分区解析式模糊控制器的设计方法

陈理君, 陈文军

(武汉理工大学自动化学院, 武汉市 430070, Email: cwjable@163.com)

摘要: 一种基于多分区的模糊控制决策的方法, 它是在四分区解析式方法的基础上而提出的, 也即五分区解析式方法。该方法除具有响应速度快以外, 还具有收敛时间短、控制精度高的特点。由于运用“大胆决策”和“保守决策”相结合的思想, 因而可以达到更高的控制质量; 在试验仿真中获得了预期的理想效果。

关键词: 多分区; FC; 解析式; 隶属度; 决策

The Designed Method of Fuzzy Controller Based on Analytical

Formula of More Subarea

CHEN Lli-jun, CHEN Wen-jun

(School of Automation, Wuhan University of Technology, Wuhan 430070, Email: cwjable@163.com)

Abstract: A method of FC tactic based on more divisional formal is put forward. It is the five subarea of analytical formula. This method has better characteristics in the way of constringency, high precision of control except the fast response. It can gain much better quality of control because it is combined with the idea of “dauntless decision-making” and “guarded decision-making”. The simulation results demonstrate it can get the prospective ideal results.

KeyWords: More Subarea, FC, Analytical Formula, Extend of Subjection, Decision .

1 引言

提出一种模糊控制多分区解析式的方法, 经过实验仿真表明其对隧道窑炉的热工参数的控制, 特别是对温度的控制具有良好的控制效果。在系统的响应速度、收敛性等方面得到了很好的改善; 而且在与经验控制表拟合上, 能够得到由五平面而拟合成的经验控制表曲面, 因而具有更好贴近经验控制的特点, 在控制质量上有很大的提高, 控制效果能够得到明显的改善。

2 理论依据及方法

在分析解析式算法的基础上, 提出了适用

于隧道窑炉温度模糊控制的新算法, 具体陈述如下。

2.1 分档及划区

为了使控制精度更高, 所以我们采取这样的方法: 把模糊控制的大中小档分为 ± 9 档及一个 ok 档, 同时, 把 ok 档再细分为六档, 一共为 ± 12 档。这样就能够更好地反映控制表的变化, 用 $\pm (L_3 L_2 L_1 M_3 M_2 M_1 S_3 S_2 S_1)$ 来具体表示 ± 9 档, 具体是把正、负的大、中、小再依次分为大、中、小, 也即 \pm (大大、大中、大小; 中大、中中、中小; 小大、小中、小小), 把 ok 档依次分为: NZ_3 、 NZ_2 、 NZ_1 、 PZ_1 、 PZ_2 、 PZ_3 六档, 其中 NZ_1 、 PZ_1 其实是重合的, 如图 2 所示。

划区如图 1 所示, 根据系统的动态特性可划

分为四个区^[1]：即 I、II、III、IV 四区，I 区的动态特性为 $e < 0$ 且 $c > 0$ 、II 区的动态特性为 $e > 0$ 且 $c > 0$ 、III 区的动态特性为 $e > 0$ 且 $c < 0$ 、IV 区动态特性为 $e < 0$ 且 $c < 0$ 。在此基础上再划分出一个 ok 区，该区域与上述四个区均有联系，只不过是从这四个区中各挖出一部分、在 $|e|$ 比较小的区域，也就是说在系统接近理想值附近时采用另外一种控制策略，由于模糊控制本身的缺陷——不能消除静态误差，所以在误差 $|e|$ 比较小的区域采用 PID 控制算法。这样做的主要好处就是可以更好地使系统具有快的收敛性能，使响应速度和控制精度都能够得到很大的改善。

2.2 分级

模糊变量的隶属函数曲线取为等腰三角形^[1]，用图形表示如图 2 所示。

从图中我们可以看出分成 ±12 档以后，每一个偏差或偏差的变化率对应的档数均为 6 个，因而该模糊集具有较高的分辨率，控制灵敏度相对来说也较高。

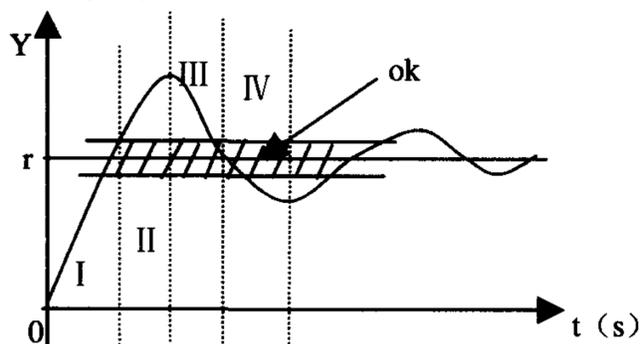


图 1 典型时间响应曲线表示出分区

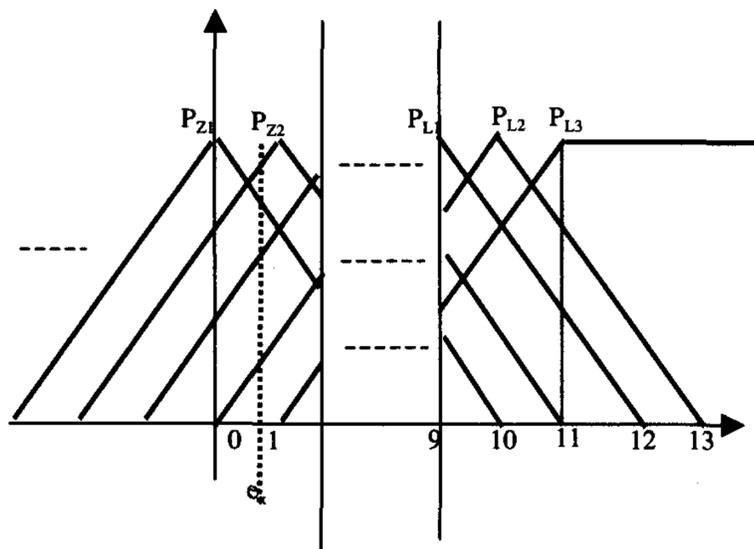


图 2 分级、分档示意图

3 模糊控制解析式中参数的修正

Fuzzy 控制量 U 的表达式可用下式表示：

$$U_{ij} = - < \alpha_i E + (1 - \alpha_i) C > \quad i = 0, I, II, III, IV \quad (1)$$

对于五个区域根据模糊控制规则可取不同的 α 值，对于特定的控制系统，“区段”划分不同，控制规则相应地也不相同，针对此种情况，我们引入自动变化上下限值的智能调节因子 p 、 q ，从而很容易对 α 的值（即对 α 自动变化的上下限值）进行自动调节^[2]。令：

$$\alpha_i = \frac{|E|}{12} (p_i - q_i) + q_i \quad (2)$$

式中： $p > q$, $p + q \geq 1$ ，则模糊控制解析式 (1) 就变为：

$$U_{ij} = - < \left(\frac{|E|}{12} (p_k - q_k) + q_k \right) * E + \quad (3)$$

$$\left(1 - \frac{|E|}{12} (p_k - q_k) - q_k \right) * C >$$

式中 $k = 0, I, II, III, IV$ 。

对 (3) 式去掉取整符号，整理后即为：

$$U_{ij} = \frac{w}{12} (q_k - p_k) E^2 - q_k E + \frac{w}{12} (q_k - p_k) C + (1 - q_k) C \quad (4)$$

式中：当 $E < 0$ 时， $w = -1$ ，否则， $w = 1$ 。可以看出 (4) 式代表一个二次曲面，而且这种划分法相对于分四个区来说，方程 (4) 就能够更好地拟合实际系统所代表的曲面。

由经验表，可以推得公式 (1) 中 $\alpha_0, \alpha_I, \alpha_{II}, \alpha_{III}, \alpha_{IV}$ 相应的值。实际控制中我们是采用具有智能调节因子 p 、 q 的解析式 (4) 来进行控制。 $\alpha_0, \alpha_I, \alpha_{II}, \alpha_{III}, \alpha_{IV}$ 值的确定可以通过拟合面来完成。

假设可以用平面

$$U_k = a_i x + b_i y + c_i \quad (i = 0, 1, 2, 3, 4) \quad (5)$$

来拟合相应经验控制表代表的每个分区， x 、 y 分别代表偏差和偏差的变化率， c_i 表示调节因子， U_k 表示对应的输出。从各个分区中任意取出三个点，求解联立的方程组就可以得到相应的方程系数，从而确定出对应的平面方程。然后通过方程式 (1)、(5) 就可以求出对应区域的 $\alpha_0, \alpha_I, \alpha_{II}, \alpha_{III}, \alpha_{IV}$ 的值。

4 模糊决策处理

根据图 3 隶属函数曲线, 可以求得 E_1 、 E_2 、 E_3 、 E_4 、 E_5 、 E_6 各档的值, 通过相似三角形的比例关系, 可以通过 $\mu_{ex} = f_e(E_x, e_x)$ 求得相应的隶属度 μ_{E1} 、 μ_{E2} 、 μ_{E3} 、 μ_{E4} 、 μ_{E5} 、 μ_{E6} ; 根据同样的原理, 由测得的 c_y 一样可以通过 $\mu_{cy} = f_c(C_y, c_y)$ 求出各档的值 C_1 、 C_2 、 C_3 、 C_4 、 C_5 、 C_6 及其对应的隶属度 μ_{C1} 、 μ_{C2} 、 μ_{C3} 、 μ_{C4} 、 μ_{C5} 、 μ_{C6} , 有了这些数据, 我们就可以由(4)式求出相应的 U_{ij} , 由保守决策得出各个 U_{ij} 的隶属度 $\mu_{U_{ij}}$ 为:

$$\mu_{SU_{ij}} = \mu_{ei} \wedge \mu_{cj} \quad (6)$$

由大胆决策得出相应的隶属度为:

$$\mu_{LU_{ij}} = \mu_{ei} \vee \mu_{cj} \quad (7)$$

按照二者加权平均法得到决策的隶属度为:

$$\mu_{U_{ij}} = \rho \mu_{LU_{ij}} + (1 - \rho) \mu_{SU_{ij}} \quad (8)$$

为了能起到智能调节大胆决策和保守决策的权重, 我们引入智能因子 ρ , 定义为:

$$\rho = \frac{|e|}{e_{\max}} \quad (9)$$

式中 e_{\max} 为偏差的基本论域上限值; e 为当前偏差, 因而 $\rho \in [0,1]$ 。它符合偏差小时以保守决策为主、相反则以大胆决策为主的一般原理。则由重心法可以求出总的输出 U 为:

$$U = \frac{\sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^6 \mu_{U_{ij}} * u_{ij}}{\sum_{j=1}^6 \sum_{i=1}^6 \mu_{U_{ij}}} \quad (10)$$

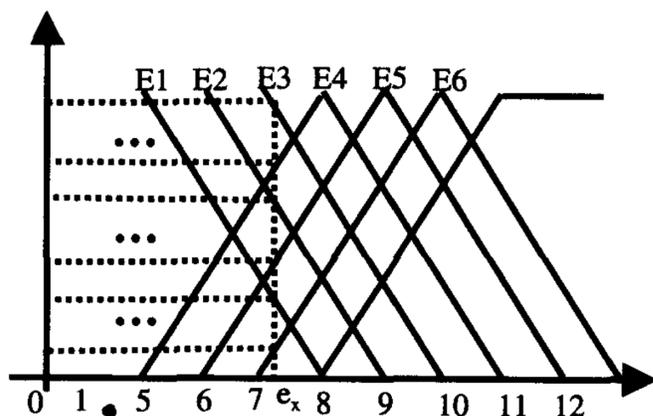


图 3 隶属函数曲线示意图

由于一般温度控制系统存在滞后的情况, 所

以在决策输出时要加预测来决定下一时刻的输出值。我们这里用的预测算法是把基于运动学原理的速度—加速度—加速度变化的预测方法和最小二乘算法结合起来。

若 $Y_n, Y_{n-1}, Y_{n-2}, Y_{n-3}, Y_{n-4}$ 已知, 则预测的 Y_{n+1} 的值可以从运动方程 $y(t) = a_0 + a_1 t + a_2 t^2$ 来求出, 即为:

$$\hat{y}_{n+1}(va) = 1.833 y_n - 0.417 y_{n-1} - 0.75 y_{n-2} + 0.417 y_{n-3} - 0.083 y_{n-4} \quad (11)$$

再从预测偏差

$$\varepsilon = \sum_{t=1}^4 (\hat{y}(t) - y(t-1))^2,$$

及 $\frac{\partial E}{\partial a} = 0, (i = 0,1,2)$ 可得最小二乘预测式

$$\hat{y}_{n+1}(td) = 3.2 y_n - 2.8 y_{n-1} - 0.8 y_{n-2} + 2.2 y_{n-3} - 0.8 y_{n-4} \quad (12)$$

对波动大的对象进行预测。可用上述公式来表示^{[1][3][4]}。为了使权值能够自动调节, 我们引入智能调节因子 β , 并令 β 为:

$$\beta = \frac{e_{\max} - |e|}{e_{\max}} \quad (13)$$

总的输出预测公式为:

$$Q = \beta \hat{y}_{n+1}(va) + (1 - \beta) \hat{y}_{n+1}(td) \quad (14)$$

从 β 的表达式可以看出, 当系统波动或干扰大时, β 值就小, 也即基于运动学原理的预测算法的权重小, 相反, 则最小二乘所占权重大, 完全符合上面的论述。并且 β 值能够智能的自动调节^[5]。

5 换区输出突变处理

采用模糊多分区解析式控制算法控制时, 由于不同区间的解析控制式参数不同^[4], 故从一区向另一区过渡时, 或由 PID 控制向多分区解析式控制转换时, 输出值存在跳变的现象, 导致临界交接处产生突变, 可能引起振荡, 如果不作处

理，必定影响控制效果，降低控制精度，因而我们采用具有磁滞回线特征的逐步过渡法，能够消除振荡的发生如图 4、5 所示。

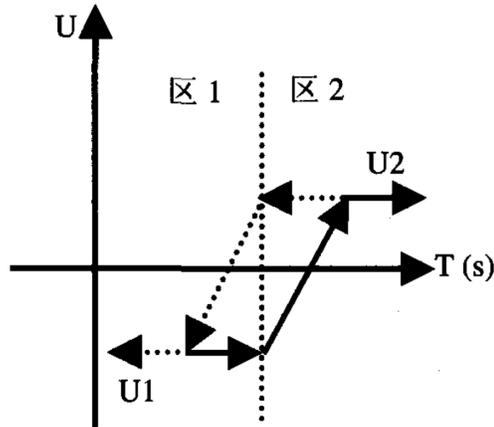


图 4 由 1 区向 2 区过渡示意图

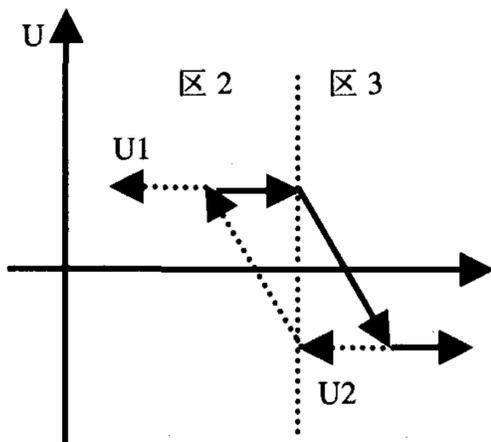


图 5 由 3 区向 2 区过渡示意图

从后面的仿真曲线我们也可以推断出，该方法能够有效的改善控制效果。

6 仿真实例

上述多分区解析式方法可应用于控制窑炉不同带区、不同热工参数的控制对象，能够很好的满足控制系统工艺参数设计的要求，我们把此方法应用隧道窑炉的温度控制的仿真试验中得到了很好的仿真结果。采用一个三阶对象进行仿真研究结果如下。

$$G(s) = \frac{20.25s + 10.25}{s^3 + 30.85s^2 + 20.25s + 1.45} e^{-5Ts} \quad (15)$$

仿真图如下，我们可以看出五分区具有更好的收敛性，超调量有一定程度的减小趋势，具有更快的上升速度，控制效果得到了明显的改善。

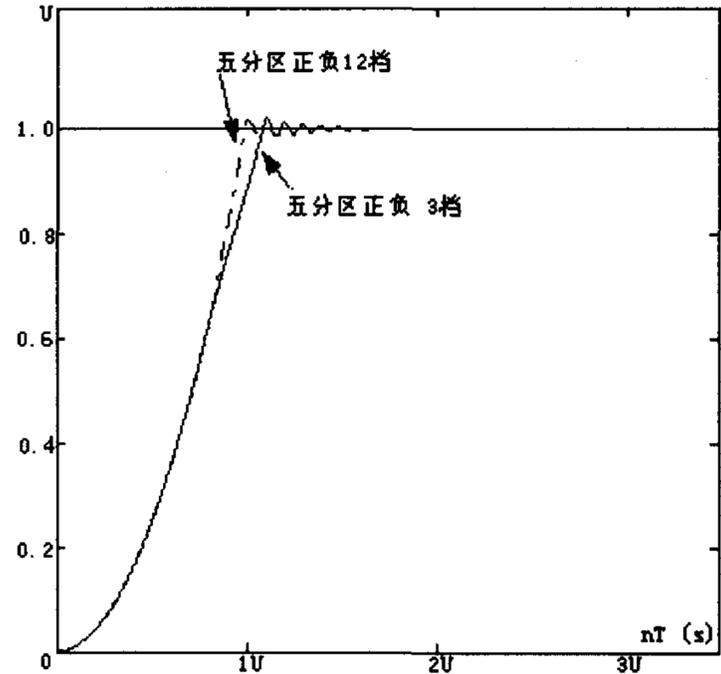


图 6 相同分区分档不同仿真结果

7 结束语

本文综合多年在模糊控制领域研究中得出的理论基础之上，提出了一种更加实用有效的模糊控制理论算法，在仿真试验中的获得了满意的结果；特别是在系统收敛性能上有很大的改观，并且具有超调量小、响应速度快、鲁棒性好等优点。特别是具有高的性价比的特点，具有很广阔的应用前景。

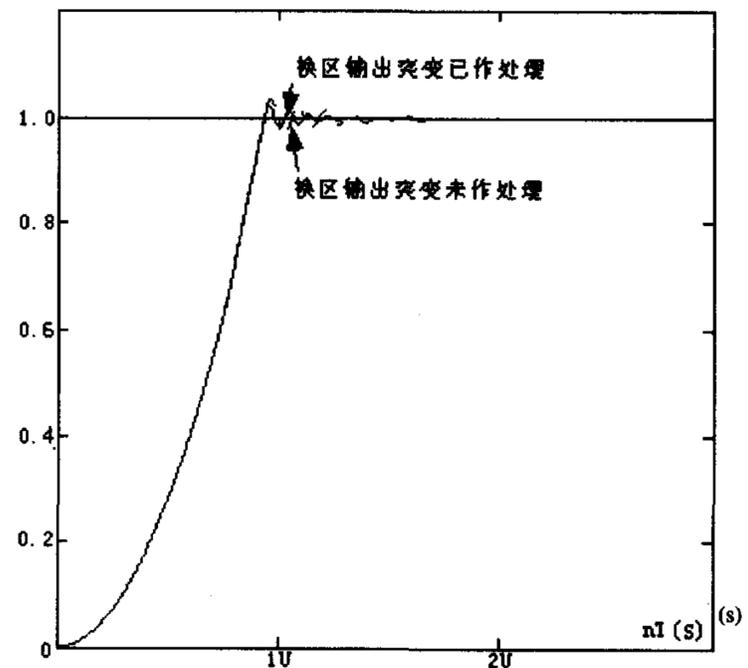


图 7 换区处理和未作处理仿真比较

参考文献

[1] 陈理君, 宋镜明, 等. 隧道窑模糊控制中模糊控制解析式及隶属函数的研究 [J]. 中国建材科技, 2000

(5) 57-64.

[2] 陈理君, 符健豪. 微处理模糊控制器 [M]. 台北: 台湾儒林图书有限公司, 1993: 84-92.

[3] Yuan Yingqin, Liu Jizhen. An Intelligent Self-tuning Method for PID Controllers Based on DCS [J]. Proc of ICAIE ,China ,1998(6):154-157.

[4] 陈理君, 姚玲英, 等. 基于遗传算法的窑炉模糊控制调整寻优方法 [J]. 自动化仪表, 2003 (5) .40-42.

[5] Yang Li, Chen Li-jun, et al. A news AI control and application to shuttle kilntemperature control system [J]. Proc of ICAIE ,China ,1998(6):145-148.

References

[1] Chen Li-jun, Song Jing-ming, etc. The Research of the Fuzzy Manipulative Analytical Formula and the Subject

Function in the Fuzzy Control of Tunnel Kiln [J]. The science and technology in building materials of CHINA, 2000 (5) 57 - 64.

[2] Chen Li_jun, Fu Jian-hao. The Fuzzy Controller of Micro-process(M). Taipei: The Limited Company of Rulin Book in Taiwan, 1993: 84 - 92.

[3] Yuan Yingqin, Liu Jizhen. An Intelligent Self-tuning Method for PID Controllers Based on DCS [J]. Proc of ICAIE ,China ,1998(6):154-157.

[4] Chen Li-jun, Yao Lin-ying, etc. The Tunnel Kiln Fuzzy Control Self-tuning searching optimal Method Based on Genetic Algorithm[J]. 2003 (5), 40 -42.

[5] Yang Li, Chen Li-jun etc. A news AI control and application to shuttle kilntemperature control system [J]. Proc of ICAIE ,China ,1998(6):145-148.