

模糊逻辑控制在纸浆浓度调节中的应用

黄文英 李昌禧

(华中理工大学控制科学与工程系·武汉, 430074)

摘要: 在纸浆浓度调节中, 由于传输滞后及执行器的惯性, 尤其是动刀式浓度变送器采样周期长, 采用数字 PID 调节将产生严重的滞后效应, 难以收到令人满意的结果。该文用模糊调节取代 PID 调节, 具有控制精度高, 响应速度快, 稳定性好的优点。

关键词: 模糊控制; 纸浆浓度; 动刀式浓度变送调节器

文献标识码: A

The Application of Fuzzy Control in Pulp Consistency Control System

HUANG Wenying and LI Changxi

(Department of Control of Science and Engineering, Huazhong University of Science and Technology · Wuhan, 430074, P. R. China)

Abstract: In the process of pulp consistency control, digital PID regulating will bring serious lag effect, because of the transmission lag, the actuator's inertia, especially the long sampling period of the moving blade consistency transmitter. It's difficult to achieve satisfactory result. In this paper, fuzzy regulating has such advantages as high control accuracy, quick response speed and good stability compared with PID regulating.

Key words: fuzzy control; pulp consistency; moving blade consistency transmitter and controller

1 引言(Introduction)

在传统的纸浆浓度调节中, 由于电动执行器属于惯性环节 $\left(\frac{1}{1+Ts}\right)$, 被控对象也属于惯性和纯滞后环节 $\left(\frac{1}{1+Ts}e^{-\tau s}\right)$, 尤其是动刀式浓度变送器采样周期长 ($\Delta t = 2s$), 采用数字 PID 调节必产生严重的滞后效应, 很难使系统取得良好的控制效果。模糊

逻辑控制^[1]是模糊语言形式的控制方法, 不需要预先知道被控对象结构、参数, 不需要建立被控对象的精确数学模型, 对对象时变及纯滞后有一定的适应性。因此, 在新研制成功的微机化动刀式浓度变送调节器中采用两输入单输出型的模糊控制调节方式来取代传统的 PID 调节, 浓度调节系统结构见图 1 (其中, 虚线所框即为微机化动刀式浓度变送调节器)。

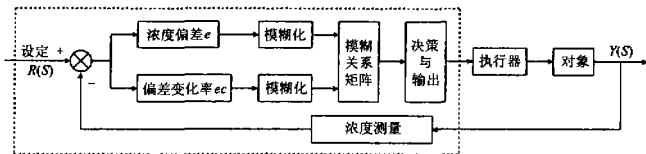


图 1 模糊纸浆浓度控制系统原理图

Fig. 1 Schematic diagram of fuzzy pulp consistency control system

2 模糊控制器的设计(The design of fuzzy controller)

2.1 模糊化变量^[2,3](Variable fuzzification)

在两输入单输出型的微机化动刀式浓度变送调节器中, 根据 E, EC 的基本论域利用量化因子 K_e, K_{ec} 进行模糊量化, 确定 U 的基本论域和量化论域。

1) 输入量 1: 纸浆浓度偏差 e 。

基本论域: $-0.8\% \sim 0.8\%$ 纸浆浓度;

量化论域: $X = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, -0, +0, +1, +2, +3, +4, +5, +6\}$;

词集: $NB_e, NM_e, NS_e, NO_e, PO_e, PS_e, PM_e, PB_e$ 。

各词集的隶属度为:

$$NB_e = 1.0 / -6 + 0.8 / -5 + 0.4 / -4 + 0.1 / -3,$$

$$NM_e = 0.2 / -6 + 0.7 / -5 + 1.0 / -4 + 0.7 / -3 + 0.2 / -2,$$

$$NS_e = 0.1 / -4 + 0.5 / -3 + 1.0 / -2 + 0.8 / -1 + 0.3 / 0,$$

$$NO_e = 0.1 / -2 + 0.6 / -1 + 1.0 / 0,$$

$$PO_e = 1.0 / 0 + 0.6 / 1 + 0.1 / 2,$$

$$PS_e = 0.3 / 0 + 0.8 / 1 + 1.0 / 2 + 0.5 / 3 + 0.1 / 4,$$

$$PM_e = 0.2 / 2 + 0.7 / 3 + 1.0 / 4 + 0.7 / 5 + 0.2 / 6,$$

$$PB_e = 0.1 / 3 + 0.4 / 4 + 0.8 / 5 + 1.0 / 6.$$

2) 输入量 2: 纸浆浓度偏差变化率 ec .

基本论域: $-0.5\% \sim 0.5\%$ 纸浆浓度;

量化论域: $Y = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$;

词集: $NB_{ec}, NM_{ec}, NS_{ec}, ZO_{ec}, PS_{ec}, PM_{ec},$

$PB_{ec}.$

3) 输出量 u : 阀门开度的增量.

基本论域: $-12 \sim 12$ (加到 D/A 上的增量);

量化论域: $V = \{-7, -6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7\}$;

词集: $NB_u, NM_u, NS_u, ZO_u, PS_u, PM_u, PB_u.$

按照输入量 1 各词集的隶属度的确定方法, 可类似确定出输入量 2 和输出量的各词集的隶属度. 这里不一列出.

2.2 控制规则与模糊控制表 (Control rules and the table of fuzzy control)

采取 "if A and B then C" 规则, 总结操作者的实践经验, 得到语言控制规则表, 见表 1.

表 1 模糊控制规则表

Table 1 The table of fuzzy control rules

$E \backslash U$	NB_e	NM_e	NS_e	NO_e	PO_e	PS_e	PM_e	PB_e
EC								
NB_{ec}	PB_u	PB_u	PM_u	PM_u	PM_u	PS_u	ZO_u	ZO_u
NM_{ec}	PB_u	PB_u	PM_u	PM_u	PM_u	PS_u	ZO_u	ZO_u
NS_{ec}	PB_u	PB_u	PM_u	PS_u	PS_u	ZO_u	NM_u	NM_u
ZO_{ec}	PB_u	PB_u	PM_u	ZO_u	ZO_u	NM_u	NB_u	NB_u
PS_{ec}	PM_u	PM_u	ZO_u	NS_u	NS_u	NM_u	NB_u	NB_u
PM_{ec}	ZO_u	ZO_u	NS_u	NM_u	NM_u	NM_u	NB_u	NB_u
PB_{ec}	ZO_u	ZO_u	NS_u	NM_u	NM_u	NM_u	NB_u	NB_u

在表中, 共有 56 条规则, 可以合并成 21 条规则.

如: IF NB_e AND NB_{ec} THEN PB_u ,

IF NM_e AND NB_{ec} THEN PB_u ,

IF NB_e AND NM_{ec} THEN PB_u ,

IF NM_e AND NM_{ec} THEN PB_u .

可以合并成:

IF NB_e OR NM_e AND NB_{ec} OR NM_{ec} THEN PB_u .

在实际测量 e 及 ec 后, 经量化因子 K_e, K_{ec} 可模糊量化为单点模糊集 E, EC ; 根据

$$U = (E \times EC) \circ R_i,$$

对控制规则的 21 条规则, 分别求出 21 个模糊控制量, 依次记为 $U_1, \dots, U_{21}$, 那么总的模糊控制量为:

$$U = U_1 \cup U_2 \cup \dots \cup U_{21}.$$

用最大隶属度法进行模糊判决, 最后得到控制输出量的精确量 u .

对于所有可能的输入情况, 都作事先处理, 便得出模糊控制表.

以上工作可离线完成, 然后将模糊控制表作为

"文件" 存入计算机以备后用.

2.3 控制算法 (Control algorithm)

为了克服普通模糊控制器输入、输出变量量化为有限的离散值所造成的控制精度低与可能出现的稳态颤振问题, 利用模糊控制表和输入的连续值, 采用矩形域上二元函数分片双一次插值算法在线计算出连续可变的控制量, 可显著地提高控制精度^[4].

于是, 在每次控制周期中, 将采样得到的 e 和 ec , 分别用 K_e 和 K_{ec} 转换成连续的 E_i 和 EC_i (不经过取整运算):

$$E_i = K_e e; \quad EC_i = K_{ec} ec, \quad E_i, EC_i \in [-6, 6].$$

对控制表进行插值运算求出连续的 $U(K_e e, K_{ec} ec)$, 再经 K_u 加权后得出输出控制量:

$$u = (K_u U) (\text{取整}), \quad U \in [-7, 7],$$

输出控制量再经 D/A 转换成为模拟量, 控制阀门开度的增减.

3 应用结果 (Application result)

营口造纸厂、瑞东造纸厂和海明造纸厂等地的

应用情况表明,模糊逻辑控制与传统的PID控制比较,系统进入稳态快,开机后30s左右即进入稳态(图2(a)).受扰动时只需数秒即可稳定,一般只有

很小的超调量,基本消除了PID控制情况下的小幅振荡现象(图3),两种情况下的控制系统输出曲线比较见图2(b).

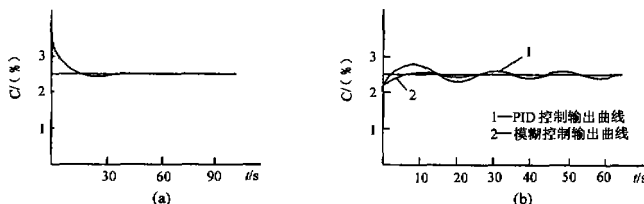


图2 控制系统输出记录
Fig. 2 Record of the control system output

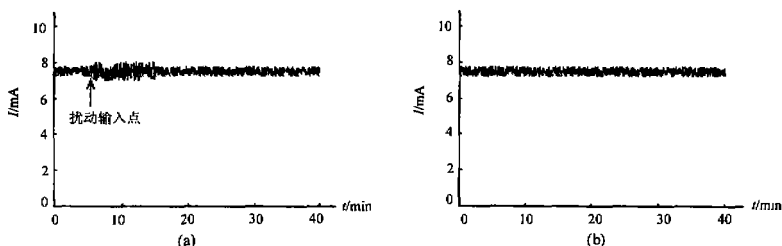


图3 PID控制系统输出记录
Fig. 3 Record of the PID control system output

4 结论(Conclusion)

实践证明,该模糊逻辑控制器运用于纸浆浓度调节中,取得了比PID调节更加良好的控制效果.该模糊调节器的特点在于仅对基本的模糊控制器的算法稍加改进,并没有附加其它结构,具有简单易行、稳定可靠的优点,适于在单片机上实现.此模糊控制系统消除了超调现象与稳态振荡现象,显著提高了动态性能和稳态性能.

参考文献(References)

- [1] Zhu Jing, Jin Yaochu and Jiang Jingping. The Principle and Application of Fuzzy Control [M]. Beijing: Mechanical Industry Press, 1995 (in Chinese)
- [2] He Ping and Wang Hongxu. The Design and Application of Fuzzy

Controller [M]. Beijing: Science Press, 1997, 140 - 151 (in Chinese)

- [3] Li Shiyong and Xia Chengguang. The Theory and Application of Fuzzy Control and Intelligent Control [M]. Harbin: Harbin Institute of Technology Press, 1990, 89 - 105 (in Chinese)
- [4] Zhang Weiguo, Xue Pu and Duan Fuhai. A design of high-precision fuzzy control systems [J]. Measurement & Control Technology, 1997, 16(2): 22 - 24 (in Chinese)

本文作者简介

黄文英 1976年生,华中理工大学控制科学与工程系硕士生. 主要研究兴趣为测量、控制与管理一体化技术.

李昌禧 1947年生,1970年华中工学院毕业后留校工作至今. 现为教授,博士生导师,任控制系测控技术与系统研究所所长,兼任中国仪器仪表学会理事,中国自动化学会仪表与装置分会委员等职. 长期从事测控技术与智能仪表方面的教学和科研工作.