

基于西门子 S7-300 PLC 的模糊控制实现

瞿 枫¹, 徐中宏², 孙 冀³

(1 南京师范大学 数学与计算机科学学院, 江苏 南京 210097 2 南京市市政设计研究院, 江苏 南京 210001
3 南京师范大学 电气与自动化工程学院, 江苏 南京 210042)

[摘要] 针对现场装置对象中大时滞、非线性和难以建立精确数学模型等问题, 考虑将先进的智能控制方法与传统的自动化装置相结合以实现低成本自动化; 根据模糊控制原理和 PLC 的特点, 提出了模糊控制在 PLC 上的实现方法; 给出了基于西门子 S7-300 PLC 的模糊控制器的设计方法和梯形图程序. 在实验装置上完成了对三级水箱的有效控制, 实验显示该控制系统运行可靠、有效, 在控制性能上明显优于传统的 PID 控制方法.

[关键词] 智能控制, 模糊控制, 可编程逻辑控制器

[中图分类号] TP273 [文献标识码] B [文章编号] 1672-1292(2007)04-0023-05

Realizing Fuzzy Control Based on Siemens S7-300 PLC

Qu Feng¹, Xu Zhonghong², Sun Ji³

(1 School of Mathematics and Computer Science, Nanjing Normal University, Nanjing 210097, China

2 The Municipal Institute of Nanjing, Nanjing 210001, China

3 School of Electrical and Automation Engineering, Nanjing Normal University, Nanjing 210042, China)

Abstract Aiming at the problems of the long time lag, nonlinearity and the precise mathematical model that is hard to build, we consider combining the advanced intelligent control with the traditional automatic instrument to realize low cost automatization. According to the principles of fuzzy control and the features of PLC, the paper presents a method of realizing fuzzy control based on the PLC, and suggests a design and ladder program of the fuzzy controller based on Siemens S7-300 PLC. The effective control for the three-steps water tank plant has been realized on the experimental installation. The experiment results indicate that the fuzzy control system is reliable and efficient in operating and thus better than the traditional PID control in performance.

Key words intelligent control; fuzzy control; PLC

0 引言

在实际工业过程控制系统中, 涉及到很多非线性、大时间滞后的复杂系统, 使得建立数学模型非常困难, 或者说根本不可能建模. 近年来, 对这类问题的处理提出了许多新型的控制方法, 模糊控制就是其中之一. 采用模糊逻辑把人的控制经验归纳为用定性描述的一组条件语句, 然后利用模糊集理论, 将其定量化, 使控制器得以接受人的经验、模仿人的操作策略, 这就形成了所谓的模糊控制器. 这种控制器来自于操作员的经验或实际实验的结果, 而不是来自于数学模型, 可以完全替代人的手动操作, 可克服人的不确定因素, 使系统具有更高的可靠性. 更重要的是, 它能解决许多传统基于线性系统理论难以解决的控制问题. 一般认为模糊控制是一种对于存在滞后和随机干扰的系统有较好控制效果的控制方法.

在模糊控制技术应用领域, 其模糊控制器基本上都是由个人计算机、单片机或专用模糊控制芯片实现的. 在工业控制中, 可编程逻辑控制器 (简称 PLC) 的应用极其广泛, 如果把模糊控制技术与 PLC 结合起

收稿日期: 2007-01-08

基金项目: 南京市市政设计院资助项目.

作者简介: 瞿 枫 (1983-), 硕士研究生, 主要从事人工智能与智能控制方面的学习与研究. E-mail: fengqu@nsgk.net

通讯联系人: 孙 冀 (1963-), 副教授, 博士, 主要从事控制理论与控制工程方面的教学与研究. E-mail: sj@nsgk.net

来,应用 PLC 来实现模糊控制器,将会使模糊控制在工业控制中发挥更大的作用.现在已有一些 PLC 生产厂家备有模糊控制模块供用户选用,但其价格非常昂贵.目前,工业应用中,特别是过程控制中,大量采用可编程逻辑控制器,若在原常规控制系统的硬件基础上,利用软件编程来实现模糊控制器,将会降低模糊控制系统的成本.同时,也为用模糊控制技术改造原常规控制方法创造了条件.

本文研究了模糊控制方法在 PLC(西门子 S7-300)的实现问题,并以三级水箱作为控制对象,实现了液位的有效控制,并形成了完整的可通用的软件系统.

1 模糊控制原理

模糊控制器基本结构如图 1 所示.模糊控制器包括输入量模糊化、模糊推理和解模糊 3 个部分. E 和 E_c 分别为 e 和 ec 模糊化后的模糊量; U 为模糊控制量; u 为 U 解模糊化后的精确量. K_e, K_{ec}, K_u 分别为 e, ec 和 u 的模糊量化因子.模糊控制系统设计主要由以下几个步骤完成.

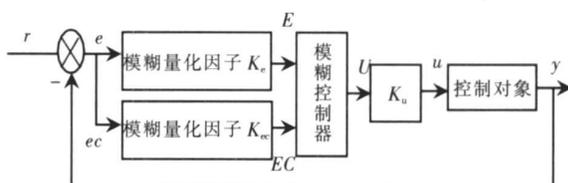


图 1 模糊控制器基本结构

Fig.1 The basic structure of fuzzy controller

1.1 建立模糊控制规则库

模糊控制系统的设计开发归结起来可分成两大部分:一是硬件系统设计,主要包括被控对象的特征参数、系统的接口和通讯;二是软件设计,包括模糊控制算法设计及程序实现.根据专家知识及操作经验可得模糊控制规则: If E is A and E_c is B , Then U is C . 其中, A, B, C 分别为输入、输出量模糊词集中的元素.

1.2 输入模糊化

设被控对象的给定值为 r , 实测值为 $y(t)$, 则闭环偏差 $e = r - y(t)$, 误差变化率 $ec = e_t - e_{t-1}$. 式中, e_t 为当前时刻的偏差; e_{t-1} 为前一个采样时刻的偏差.

将所选的模糊子集进行匹配,本文假设把模糊变量 E, E_c 以及控制量 U 分成 5 档,即为正大 (PB)、正小 (PS)、零 (Z)、负小 (NS)、负大 (NB) 5 级语言变量.

根据控制需要和经验,取三角形隶属度函数.本文将 U, E, E_c 分为 $\{-2, -1, 0, +1, +2\}$ 5 档,则共有 $5 \times 5 = 25$ 条模糊控制规则,表 1 为语言变量 E 赋值表.

表 1 语言变量 E 赋值表

Table 1 Linguistic-numeric E value

E	-2	-1	0	+1	+2
PB	0	0	0	0	0.5
PS	0	0	0	0.4	0.8
Z	0	0.4	1	0.4	0
NS	0.2	0.8	0.4	0	0
NB	0.5	0	0	0	0

1.3 模糊决策与模糊控制规则

根据控制经验,得出模糊控制规则如表 2 所示.

控制量总共有 $25(5 \times 5)$ 条规则.每条规则的关系 R_k 可表示为:

$$R_k = E_i \times E_{c_j} \times U_{ij} \quad (i = 1, 2, \dots, 5; \quad j = 1, 2, \dots, 5).$$

根据每条模糊语句决定的模糊关系 $R_k (k = 1, 2, \dots, 25)$, 可得到整个系统控制规则总的模糊关系 R : $R = R_1 \vee R_2 \vee \dots \vee R_{25}$

表 2 模糊控制规则表

Table 2 Fuzzy control rule-base

E	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PS	NS	NS	NS
NS	PB	PB	PS	NS	NS
Z	PB	PB	Z	NB	NB
PS	PS	PS	NB	NS	NB
PB	PS	Z	NB	Z	NB

1.4 输出反模糊化

根据模糊控制规则表,由模糊推理合成规则,可得如下关系: $U = (E \times E_c) \times R$, 以此得出模糊控制量如表 3 所示.

得到模糊控制量 U 以后,将 U 乘以 k_u , 于是便得到精确控制量 u , 再经 D/A (数/模) 转换模块输出对执行机构进行控制.

表 3 模糊控制量表

Table 3 Fuzzy control variables

E	-2	-1	0	1	2
-2	2	1	-1	-1	-1
-1	2	2	1	-1	-1
0	2	2	0	-2	-2
1	1	1	-2	-1	-1
2	1	0	-2	-2	-2

2 模糊控制算法的 PLC 实现

2.1 西门子 S7- 300

在 PLC 的工业应用中, 西门子 S7- 300 是广泛应用的一种, 以下讨论模糊控制算法在西门子 S7- 300 上的实现问题.

可编程控制器 PLC 实质上是一种专用于工业控制的计算机, 其硬件结构与微型计算机基本相同, 如图 2 所示.

在其相应的开发软件 Step7 中, 结构化的用户程序是以“块”的形式实现的. 块是一些独立的程序或者数据单元, 在 Step7 中主要有以下几种类型的块: 组织块 OB (Organization Block), 功能 FC (Function), 功能块 FB (Function Block), 数据块 DB (Data Block) 等等.

当 PLC 需要和上位 PC 机进行通信时, 可以选择 S7- 300 的专用组态软件—西门子 WinCC V6 WinCC V6 能够做出强大的 HMI 人机界面, 从而更好地对现场进行监控.

2.2 程序设计流程图

模糊控制设计流程图如图 3 所示.

2.3 梯形图程序设计

模糊控制在 PLC 上的主要工作是 PLC 梯形程序图设计. 在这里给出部分关键梯形程序, 如图 4 所示.

在模糊控制系统设计中, 采用德国西门子公司的 S7- 300 型 PLC, 利用 A/D (模数) 转换模块将输入量采集到 PLC 中, 然后由 D/A (数模) 转换模块输出对执行机构进行控制.

首先, 将量化因子 K_e , K_{ec} , K_u 分别写入 PLC 的数据寄存器 DB3 DBD4, DB3 DBD8, DB3 DBD12 中; 然后, 采样计算 e 和 ec 置入 DB1 DBD60 和 DB1 DBD64 中, 将模糊化后 E 和 EC 分别置入 DB1 DBD36 和 DB1 DBD48 中; 计算得出的模糊控制量 U 放入 DB1 DBD68, 解模糊得出的精确控制量 u 放入 DB1 DBD76 中.

在模糊控制算法中, 模糊控制量表的查询是程序设计的关键. 本文将模糊论域的元素 $\{-2, -1, 0, +1, +2\}$ 转换为 $\{0, 1, 2, 3, 4\}$, 采用基址 + 变址的寻址方式将模糊控制量表中 U 的控制结果按由上到下、由左到右的顺序依次填入 PLC 的数据寄存(保持)区 DB2 DBD0~DB2 DBD96 中. 控制量的基址为 0, 其偏移地址为 $0 + E_c \times 5 + E$.

寻址找到后, 即得到模糊控制量 U , 经过解模糊运算, 可得到精确的控制量 u (限于篇幅, 完整的 PLC 梯形图程序在此不再详述).

当误差 E 为正大 PB, 误差变化率 E_c 为负大 NB 时, $E = +2$, $E_c = -2$ 转化为 $E = +4$, $E_c = 0$ 所以可得到其偏移地址为 $E + E_c \times 5 = 4 + 0 \times 5$, 进而控制量 U 的地址为 $E + E_c \times 5 + 0 = 4$, 则模糊控制量即为 DB2

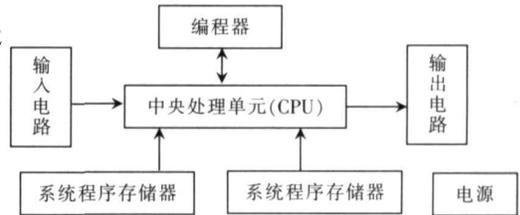


图 2 PLC 硬件结构

Fig.2 The hardware structure of PLC

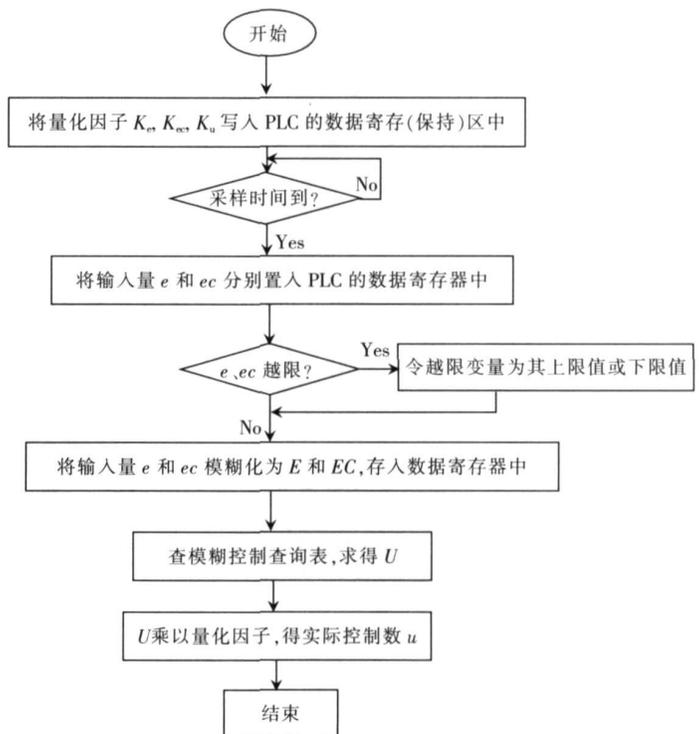


图 3 模糊控制算法流程图

Fig.3 The process of fuzzy control algorithm

DB4 中的内容: - 1 然后再通过解模糊运算得出精确控制量 u , 通过通道输出, 从而控制执行机构输出。

3 实际对象应用实验

3.1 控制对象

实验装置以上、中、下三级水箱串联作为被控对象(如图 5 所示), 下水箱的液位高度为系统的被控制量。三容对象是一个非线性三阶滞后系统, 通过控制每一个水箱出水阀门的开度可构成一个三阶时滞系统(其中上水箱出水阀门开度 > 中水箱出水阀门开度 > 下水箱出水阀门开度), 被控对象可近似为如下三阶滞后模型:

$$\frac{K_2}{T_2s + 1} e^{-\tau_2} \cdot \frac{K_3}{T_3s + 1} e^{-\tau_3}$$

所用实验平台为 THSA - 1 型过程综合自动化控制系统实验平台, 所用控制器为西门子 S7- 300 PLC, 所用算法为模糊控制算法。

3.2 执行机构

电动调节阀: 采用智能直行程电动调节阀, 用来对控制回路的流量进行调节。电动调节阀型号为: QVP- 16K。其具有精度高、控制单元与电动执行机构一体化、可靠性高、操作方便等优点, 电源为单相 220V, 控制信号为 4~ 20 mA DC 或者 1~ 5 V DC, 输出为 4~ 20 mA DC 的阀位信号。由模糊控制策略, 这里采用的是阀门开度控制, 分别为 100%、75%、30%、20%、5%。

3.3 模糊控制与传统的 PID 控制实验结果对比分析

3.3.1 传统的 PID 调节

PID 控制算法的设计中, 主要的问题是 PD 调节器参数的整定。采用型过程综合自动化控制系统实验平台中自带的 PID 控制算法, 控制参数优化后, 对二级水箱的液位控制, PID 控制能得到较好的控制效果; 但对三级水箱控制效果则不理想, 其控制结果如图 6 所示。

3.3.2 智能模糊控制调节

按照表 3 中模糊控制量表中的数据按从左到右, 从上到下的顺序输入到 PLC 的数据寄存器中去, 形成 PLC 的内部运行程序, 完成模糊控制器的设计。其液位响应曲线图如图 7 所示。

3.3.3 两种控制方案的比较

通过西门子的组态软件的监控功能可得到两种控制方案对阶跃响应的不同的变化曲线。

图 6 和图 7 中纵坐标为液位阶跃信号及系统的响应值, 横坐标为系统的响应时间。由响应曲线图可以很清晰地看出, 对于三阶时滞系统而言, 相比传统的 PID 控制, 模糊控制的响应具有较小的超调量和快速稳定能力, 其控制品质明显高于传统的 PID 控制性能指标。实验结果表明, 无论在响应调节时间还是在稳定性及鲁棒性等方面, 基于 PLC 的智能模糊控制优越于传统的常规 PID 控制方法。

4 结论

模糊控制是解决大时滞、非线性、建模困难的工业对象控

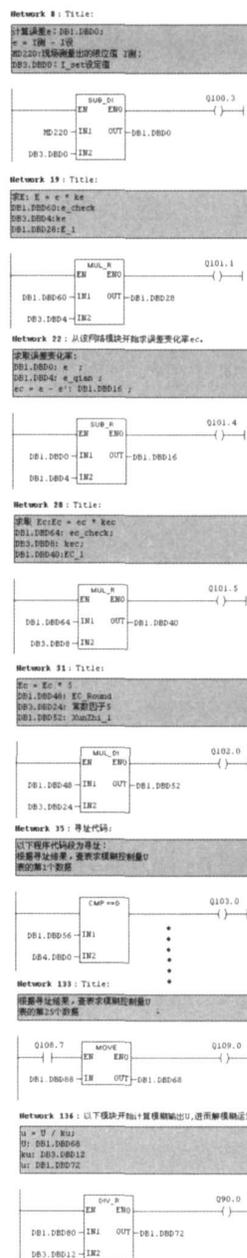


图 4 部分 PLC 梯形程序图
Fig.4 Part of programming of PLC

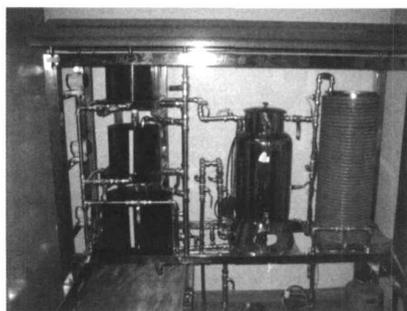


图 5 被控对象: 三阶非线性时滞系统
Fig.5 Control plant: three-order nonlinear time-delay system

制的一种较为适用的方法. 而将 PLC 与模糊控制相结合, 能较简便地通过软件实现模糊控制策略, 这样既保留了 PLC 控制系统可靠、灵活、适应能力强的特点, 又在很大程度上提高了控制系统的智能化程度. 这种方法和思路对现有设备低成本条件下的技术改造很有意义. 本文的控制方案已提交市政部门作为污水处理中非变频条件下多风机风量调节的备选方案.

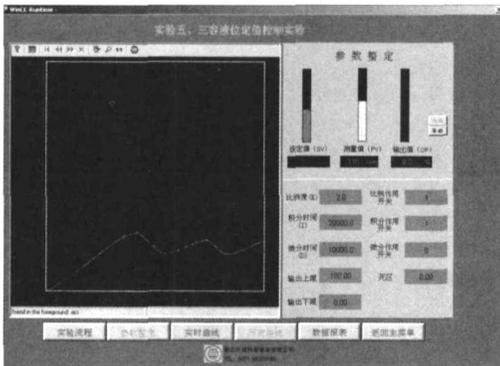


图6 传统的PID控制阶跃响应曲线

Fig.6 The output result of traditional PID control

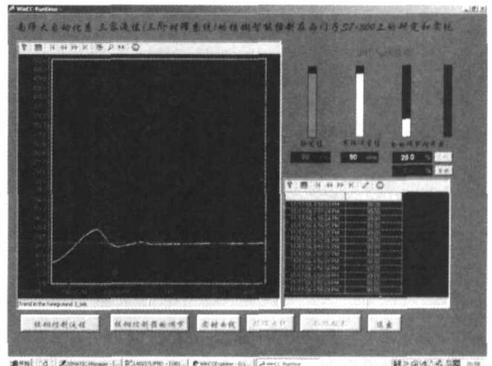


图7 模糊控制阶跃响应曲线

Fig.7 The output of fuzzy control

[参考文献] (References)

- [1] 汤冰勇, 路林吉, 王文杰. 模糊控制理论与应用技术 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2002
Tang Bingyong, Lu Linji, Wang Wenjie. Fuzzy Theory and Application [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2002 (in Chinese)
- [2] 冯冬青, 谢宋和. 模糊智能控制 [M]. 北京: 化学工业出版社, 1998
Feng Dongqing, Xie Songhe. Fuzzy Intelligent Control [M]. Beijing: Chemistry Industry Press, 1998 (in Chinese)
- [3] 苏昆哲. 深入浅出西门子 WinCC V6 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004
Su Kunzhe. Familiar with Siemens WinCC V6 [M]. Beijing: Buaa Press, 2004 (in Chinese)
- [4] 苏昆哲. 深入浅出西门子 S7-300 PLC [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2004
Su Kunzhe. Familiar with Siemens S7-300 PLC [M]. Beijing: Buaa Press, 2004 (in Chinese)
- [5] 王志凯, 郭宗仁, 李琰. 用 PLC 实现模糊控制的两种设计方法 [J]. 中国仪器仪表, 2002, 12(1): 4-6
Wang Zhikai, Guo Zhongren, Li Yan. Two designing methods to realize fuzzy control with PLC [J]. Chinese Instrument, 2002, 12(1): 4-6 (in Chinese)
- [6] 王晶晶. 在 S7-300 中利用模糊控制算法实现恒温控制 [J]. 山东电子: 电子技术与应用, 2002, 4(4): 31-32
Wang Jingjing. Realizing fuzzy temperature control based on S7-300 PLC [J]. Shandong Electronic: Electronic Technology and Application, 2002, 4(4): 31-32 (in Chinese)
- [7] 张宇, 李鸣, 汤志彪, 等. 基于 S7-300 PLC 的电加热器模糊控制编程实现 [J]. 南昌大学学报: 工科版, 2005, 27(3): 59-63
Zhang Yu, Li Ming, Tang Zhibiao, et al. The program of fuzzy logic control about electric heater based on S7-300 PLC [J]. Journal of Nanchang University: Engineering and Technology Edition, 2005, 27(3): 59-63 (in Chinese)
- [8] 申忠宇, 赵瑾, 孙冀, 等. S7-300 PLC 实现水环境生态修复系统实时监测与控制 [J]. 南京师范大学学报: 工程技术版, 2005, 5(3): 20-23
Shen Zhongyu, Zhao Jin, Sun Ji, et al. Real time monitoring and control of ecological rehabilitating system in water environment with S7-300 PLC [J]. Journal of Nanjing Normal University: Engineering and Technology Edition, 2005, 5(3): 20-23 (in Chinese)

[责任编辑: 刘 健]