

# 模糊技术在 PLC 控制中的应用\*

胡小平, 朱 朋, 纪华伟

(杭州电子科技大学 机械工程学院, 浙江 杭州 310018)

**摘要:**针对控制系统装置的对象往往出现大时滞、非线性和难以建立精确数学模型等问题,提出将先进的模糊控制技术引入传统的自动化装置之中。模糊控制具有鲁棒性强等特点,可以使外界干扰和参数变化跳动对控制效果的影响大大减弱。从工程角度出发,采用西门子 PLC 常规输入/输出模块组成模糊控制器的核心,提出了相应可行的模糊控制算法,并采用了在线线性查询方式和模块化编程。研究表明:在珩磨控制系统模型应用中,该模糊控制方法稳态误差小、响应速度快。

**关键词:**模糊控制;可编程控制器;在线线性查询

中图分类号:TH39;TP271+.4

文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2011)04-0440-04

## Application of fuzzy technology in the PLC control

HU Xiao-ping, ZHU Peng, JI Hua-wei

(College of Mechanical Engineering, Hangzhou Dianzi University, Hangzhou 310018, China)

**Abstract:** Aiming at the objects which often have severe delays, are nonlinear and difficult to establish accurate mathematical models in control system, the fuzzy control technology was introduced and applied into traditional automanual devices. The fuzzy control is robust, and it can greatly reduce the effect of outside interference and beating parameters. From an engineering view, the conventional input/output modules of Siemens PLC were used to make up the fuzzy controller's core, a corresponding feasible fuzzy control algorithm was presented and the online methods of linear inquiry and modular programming were used. The results indicate that error is small and the response is fast in honing control system model, which is used this control method.

**Key words:** fuzzy control; programmable logic controller(PLC); online linear inquiry

## 0 引言

模糊控制是指在控制方法上应用模糊集合论、模糊语言变量和模糊逻辑推理,通过模拟人脑思维,对一些无法建立数学模型的过程进行控制的一种智能控制技术<sup>[1]</sup>。模糊控制的基本思想就是在控制方法上应用模糊集合理论,把控制策略的自然语言转化为计算机能够接受的算法语言。

可编程控制器(PLC)具有可靠性高、编程简单灵活、故障率低、维修方便等一系列优点。随着被控系统规模的不断扩大和被控对象越来越复杂,传统的 PLC 控制系统已逐渐不能满足自动控制的要求。

本研究基于模糊控制理论,提出一种普通 PLC 输入/输出模块所能实现的模糊控制算法。并采用 Sie-

mens PLC 常规模块组成模糊控制器的核心,编程简单,成本低,使用方便可靠。

## 1 Fuzzy 控制

Fuzzy 控制是一种逐渐得到广泛应用的智能控制方法,特别适用于具有非线性、大滞后、强耦合特性的复杂系统。虽然其种类很多,也有很多优点,但目前已应用的算法大多有其局限性。一般模糊控制器的在线查表环节采用模糊量化取整的方法,即当误差  $E$  与误差变化率  $E_c$  不等于模糊语言值时, $E$  和  $E_c$  取整,这时从查询表中查到的控制量  $U$  只能近似地反映模糊控制规则,会有大量的信息量被损失,因此产生很大的误差。由于量化误差的存在,还会造成模糊控制器的输出  $U$  不能准确地反映其控制规则,而且当输出控制量

收稿日期:2010-11-04

基金项目:国家自然科学基金资助项目(50805042);浙江省自然科学基金资助项目(Y10808055)

作者简介:胡小平(1970-),女,浙江温州人,博士,教授,硕士生导师,主要从事企业信息集成、协同设计和知识工程方面的研究。E-mail: xiaoping.hu@hdu.edu.cn

从一个模糊量变为另外一个模糊量时,必然产生跳变,这种跳变对控制对象可能产生不良后果。而另外一些高性能的模糊控制算法(如有自组织的控制算法),却由于算法复杂、运算量大且占用存贮空间多,在使用一般的工业控制计算机(如PLC)加以实现时,其存贮容量和计算速度都无法满足实时控制的需要,因此也有局限性<sup>[2]</sup>。

对于大量利用PLC等成本低、容易实现的设备控制系统,研究控制准确、方便实现的控制算法一直是各种应用研究的重点。本研究将在控制系统的在线查表环节采用二元线性插值方法,从源头上消除量化误差,使量化后的模糊量具有连续性,尽量保存有用信息,同时也使模糊输出值能够连续地变化,从而可以有效地改善系统的控制性能,并消除输出的跳变现象。

### 1.1 Fuzzy 控制算法的设计

一典型的单变量二维模糊控制器结构图如图1所示。图中 $X_0$ 为给定值, $X(t)$ 为实测值, $e$ 为输入偏差, $e_c$ 为输入偏差变化率, $G$ 为被控对象, $n$ 为噪声信号。二维控制器反映了非线性比例加微分(PD)的控制规律。

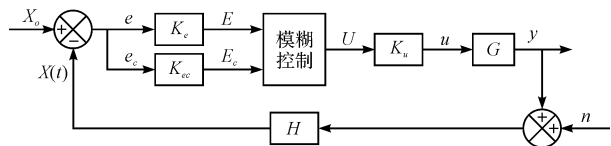


图1 单变量二维模糊控制器

#### (1) 输入变量的模糊化:

①通过量化因子 $K_e$ 和 $K_{ec}$ ,把输入清晰量 $e$ 、 $e_c$ 映射到模糊子集上,即成为模糊量。

②这个模糊量可能同时与模糊论域 $E$ 、 $E_c$ 上的几个子集有关,求出这个模糊量隶属于各个相关模糊子集的隶属度<sup>[3]</sup>。

#### (2) 模糊控制规则与模糊控制器查询表

模糊控制规则是模糊控制器的核心,它相当于传统控制系统中的校正装置。

①语言型模糊规则是由一系列的模糊条件语句组成的,即由许多模糊蕴涵关系“若……则……”(if... then...)构成<sup>[4]</sup>。

②每条模糊条件语句都给出一个Fuzzy蕴涵关系 $R_i$ ,即一条控制规则。系统总的蕴涵关系 $R$ 表示如下:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup \dots \cup R_{n-1} \cup R_n = \bigcup_{i=1}^n R_i \quad (1)$$

③这里采用5个模糊子集涵盖 $E$ 、 $E_c$ 和 $U$ :负大(NB)、负小(NS)、零(Z)、正小(PS)、正大(PB),可以

有25条语言型模糊条件语句。

模糊规则用自然语言表述具有直观和易于理解的优点,但显得烦琐,而且在输入PLC时,也很不方便。

模糊控制状态表是将模糊规则转换成一个表格,使之具有直观简单、查算方便、容易存贮等优点。模糊子集“NB、NS、ZE、PS和PB”分别换成模糊数“-2、-1、0、1和2”,便可构成如表1所示的模糊控制器查询表<sup>[5]</sup>。

表1 模糊控制器查询表

U	$E_c$					
	-2	-1	0	1	2	
E	-2	-2	-2	-1	-1	0
	-1	-2	-1	-1	0	1
	0	-1	-1	0	1	1
	1	-1	0	1	1	2
	2	0	1	1	2	2

#### (3) 输出变量的清晰化及输出方式:

经过模糊逻辑推理得出的是模糊量集合,是多条模糊控制规则所得结论的综合。需要经过清晰化模块的处理变成清晰量,才能推动后面的执行机构。

①采用最大隶属度最大值法,在模糊集合的论域中找一个清晰数值 $U$ 代表它。该方法具有直观合理和计算方便的优点。

②根据模糊控制查询表,得到模糊控制变量 $U$ 后,乘以比例因子 $K_u$ ,得到精确控制量 $u$ <sup>[6]</sup>。

### 1.2 二元线性插值 Fuzzy 控制算法的设计

模糊控制的状态表,是经过系统反复调试、修改、最后以固定数据形式存入PLC系统的内存中。在进行在线查表计算时,如果采用极大极小算法,在连续的精确量进行模糊化的过程中会出现大量的信息严重损失。为进一步改善系统性能,更有效地利用可用信息,减小模糊化误差,这里采用二元线性插值法,相当于在 $E$ 与 $E_c$ 论域内的分档数趋于无穷大,减小了常规模糊控制中对连续精确量进行模糊化所产生信息量的严重损失<sup>[7-8]</sup>。

二元线性插值公式 $f(x)$ 如下:

$$Y = |X - X_i| Y_{i+1} + |X - X_{i+1}| Y_i \quad (2)$$

设某采样时刻 $t$ ,采样值为 $E_{(t)}$ 和 $E_{c(t)}$ , $E_{(t)} \in [E_i, E_{i+1}]$ , $E_{c(t)} \in [E_{c_i}, E_{c_{i+1}}]$ 。对应的输出变量值为 $U_{(t)}$ 。 $E_i$ 、 $E_{i+1}$ 、 $E_{c_i}$ 和 $E_{c_{i+1}}$ 两两组合可以得到如下4个模糊输出量:

$$\left. \begin{matrix} E_i \\ E_{c_j} \end{matrix} \right\} \rightarrow U_{(i,j)}, \quad \left. \begin{matrix} E_{i+1} \\ E_{c_j} \end{matrix} \right\} \rightarrow U_{(i+1,j)}, \quad \left. \begin{matrix} E_i \\ E_{c_{j+1}} \end{matrix} \right\} \rightarrow U_{(i,j+1)},$$

$$\left. \begin{matrix} E_{i+1} \\ E_{c_{j+1}} \end{matrix} \right\} \rightarrow U_{(i+1,j+1)}$$

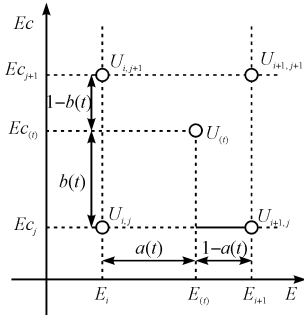


图 2 线性插值算法状态图

从图 2 所示的插值算法状态图可知,  $U_{(t)}$  的大小与  $U_{(i,j)}$ 、 $U_{(i+1,j)}$ 、 $U_{(i,j+1)}$ 、 $U_{(i+1,j+1)}$  有关。当模糊控制中模糊子集数目比较大时, 这 5 个点将在一个很小范围之内。为了提高运算速度, 简化算法, 在这里笔者把这 5 个点放在一个平面坐标系内进行考虑<sup>[9]</sup>。

其中:

$$a(t) = |E_{(t)} - E_i| \subseteq [0, 1], 1 - a(t) = |E_{(t)} - E_{i+1}|$$

$$b(t) = |Ec_{(t)} - Ec_j| \subseteq [0, 1], 1 - b(t) = |Ec_{(t)} - Ec_{j+1}|$$

分别代表输入变量  $E_{(t)}$  对  $E_{i+1}$  和  $E_i$ 、 $Ec_{(t)}$  对  $Ec_{j+1}$  和  $Ec_j$  的隶属度。

通过如图 3 所示的过程示意图作 3 次线性插值运算便可达到输出量  $U_{(t)}$  :

$$U_{i+a(t),j} = |E_{(t)} - E_i| U_{i+1,j} + |E_{(t)} - E_{i+1}| U_{i,j}$$

$$= a(t) U_{i+1,j} + (1 - a(t)) U_{i,j}$$

$$U_{i+a(t),j+1} = |E_{(t)} - E_i| U_{i+1,j+1} + |E_{(t)} - E_{i+1}| U_{i,j+1}$$

$$= a(t) U_{i+1,j+1} + (1 - a(t)) U_{i,j+1}$$

$$U_{(t)} = U_{i+a(t),j+b(t)}$$

$$= |Ec_{(t)} - Ec_j| U_{i+a(t),j+1} + |Ec_{(t)} - Ec_{j+1}| U_{i+a(t),j}$$

$$= b(t) U_{i+a(t),j+1} + (1 - b(t)) U_{i+a(t),j}$$

## 2 Fuzzy 控制算法的 PLC 实现

PLC 采用西门子 S7-300 常规模块, 开发软件是 Step7。为了简化程序编写量, 提高程序的通用性并且方便调试, PLC 程序设计采用了模块化编程方法<sup>[10]</sup>。

FB3 为模糊控制器模块, 完成整个模糊控制功能, 由 4 个功能模块 FC2 ~ FC5 组成, 并通过数据块 DB3 实

现它们之间的数据传递(模块调用结构如图 4 所示)。

FC2(数据采集功能): 完成  $e$  和  $e_c$  的计算。

FC3(模糊化功能): 完成精确量  $e$ 、 $e_c$  到模糊量  $E$  和  $Ec$  的转换。

FC4(线性查询功能): 完成模糊控制量表的在线查询功能。

FC5(清晰化功能)完成模糊控制量  $U$  到精确量  $u$  的转化。

DB3(背景数据块): 存储量化因子  $K_e, K_{e_c}, K_u$  及模糊控制器查询表等数据。

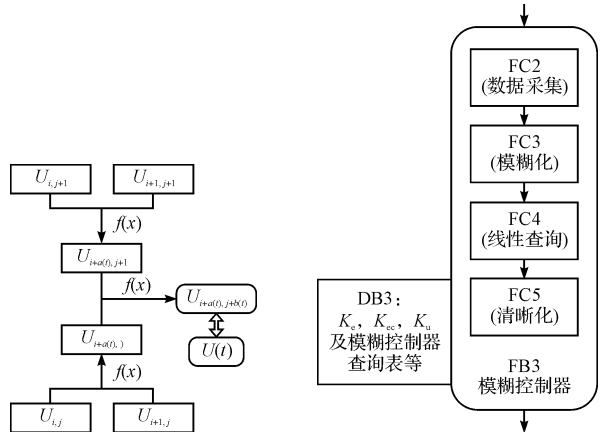


图 3 线性插值算法过程示意图 图 4 模块调用结构图

程序编写完成后, FB3(包括 FC2 ~ FC5)模糊控制器保存在 Step7 标准库中, 可以方便调用, 具有很强的灵活性和通用性。

## 3 实 验

为了验证上述控制算法的控制效果, 利用 Matlab 的 Fuzzy 工具和 Simulink 搭建了珩磨主轴往复换向模糊控制系统模型(如图 5 所示), 并对其进行了线性插值模糊控制和一般模糊控制的仿真试验, 仿真结果如图 6、图 7 所示(虚线代表预定理想信号曲线, 实线是输出响应信号曲线)。从中可以看出, 采用线性插值模糊控制器输出比较平稳, 能有效地减小稳态误差, 提高其控制精度和响应速度, 显著地改善了系统的性能。

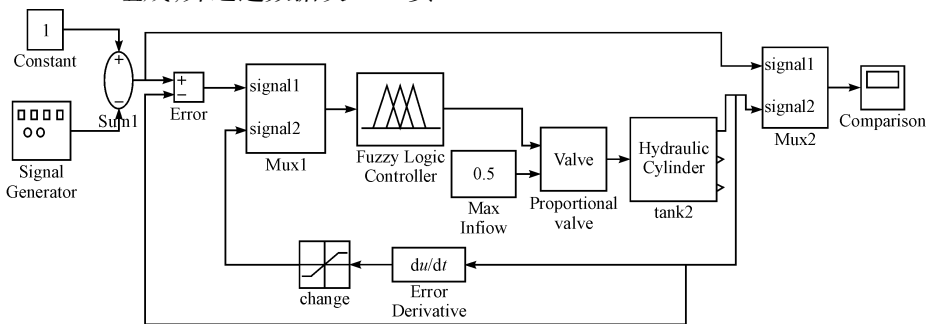


图 5 珩磨主轴往复换向模糊控制系统模型

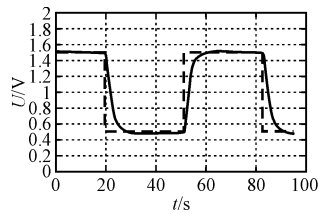


图6 线性插值模糊控制

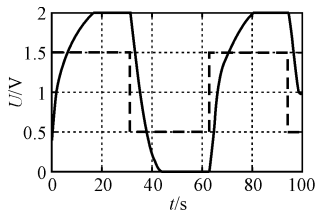


图7 常规模糊控制

## 4 结束语

基于SIEMENS PLC常规模块实现的模糊控制算法,既保留了PLC控制的可靠、灵活、适应性强等特点,又提高了控制系统的智能化程度。采用二元线性插值模糊方法弥补了普通模块控制器算法的不足,通过少量的数学推理,使原有的有限条控制规则变成了无限条,更加有效地应用了信息,提高了控制系统的精度。

在珩磨机控制系统中,由于加工环境的复杂性,精确建立表面加工质量与加工参数之间的数学模型并以此进行加工控制非常困难,采用本研究提出的二元线性插值模糊方法,在基于PLC的硬件平台上实现加工控制是一种理想的可选方案。

[编辑:李辉]

(上接第431页)

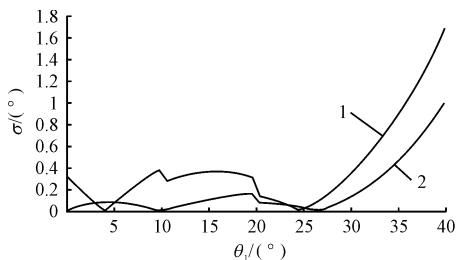


图3 转向特性曲线

1—常规优化设计结果;2—考虑噪声因素的稳健优化设计结果

考虑与期望值的误差最小,没有考虑在噪声因素影响下目标值发生波动的情况;②求出的最优解有时处于约束的边缘,在噪声因素的影响下很有可能违反约束。所以常规的优化方法对汽车转向机构进行优化设计时难以保证所得参数为最优解。

本研究建立了既考虑目标值与实际值的误差又考虑目标值波动的稳健优化模型。机构中运动副间隙的影响体现在目标函数与约束中,得出的优化结果明显好于传统优化方法得到的优化结果,且所得的最优解不处于约束的边缘,提高了产品的安全性能。

## 参考文献(References):

[1] 蒋国平,王国林,周孔亢. 独立悬架转向梯形断开点位置

## 参考文献(References):

- [1] ZIMMERMANN H J. Fuzzy set theory[J]. **Wiley Interdisciplinary Reviews: Computational Statistics**, 2010, 2(3): 317-332.
- [2] 周孚宏. 应用于PLC的一种新的模糊控制算法[J]. **自动化仪表**, 2005, 26(10): 17-20.
- [3] YI Jun, XU Zhong-bao, WANG Xue-lin, et al. Research on fuzzy control for automatic transmission of tracked vehicles[J]. **Journal of China Ordnance**, 2007(4): 245-250.
- [4] 张雪平,王志斌. 基于模糊控制的PLC在温度控制中的应用[J]. **电气控制**, 2005, 35(8): 54-59.
- [5] 瞿枫,徐中宏,孙冀. 基于西门子S7-300PLC的模糊控制实现[J]. **南京师范大学学报:工程技术版**, 2007, 7(4): 23-27.
- [6] WANG Qing-feng, YANG Bo-tao, TU Hua-gang. Hybrid fuzzy control for electro-hydraulic active damping suspension[J]. **Chinese Journal of Mechanical Engineering**, 2002, 15(3): 228-232.
- [7] 丁承君,张明路,李光辉. 基于线性插值的模糊控制[J]. **基础自动化**, 2001, 8(4): 50-53.
- [8] 齐蓉,林辉,李玉忍,等. 通用模糊控制器在PLC上的实现[J]. **工业仪表与自动化装置**, 2005(10): 23-26.
- [9] 张红军,张翔,佟明明. 线性插值模糊控制及其在PLC上的实现[J]. **计算机测量与控制**, 2008, 16(11): 1632-1634.
- [10] 田媛,刘振娟. 模糊控制在SIEMENS PLC系统中的实现[J]. **中国仪器仪表**, 2005(5): 72-75.

[编辑:李辉]

- [1] 的优化设计[J]. **农业机械学报**, 2007(2): 30-34.
- [2] PARKINSON A. Robust mechanical design using engineering model[J]. **Journal of Mechanical Design**, 1995, 17(2): 48-54.
- [3] 刘惟信. 汽车设计[M]. 北京:清华大学出版社, 2001.
- [4] 郭惠昕. 稳健设计研究现状与模糊稳健设计研究进展[J]. **机械设计**, 2005(2): 1-5.
- [5] SENEVIRATNE L D, EARLES S W. Chaotic behaviour exhibited during contact loss in a clearance joint of a four-bar mechanism[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 1992, 27(3): 307-321.
- [6] 车华军,陈南,殷国栋. 基于操纵稳定性的车辆悬架性能参数稳健设计方法[J]. **汽车工程**, 2009, 31(4): 1011-1014.
- [7] 张蕾,张文明,申焱华. 考虑间隙影响的汽车转向机构稳健优化设计[J]. **农业机械学报**, 2007(1): 30-32.
- [8] 陈立周. 稳健设计[M]. 北京:机械工业出版社, 2000.
- [9] 《汽车工程手册》编辑委员会. 汽车工程手册—设计篇[M]. 北京:人民交通出版社, 2001.
- [10] SIMIONESCU P A, SMITH M R. Initial estimates in the design rack-and-pinion steering linkages[J]. **ASME Journal of Mechanical Design**, 2000, 122(2): 194-200.
- [11] 宋黎,曹惟庆,褚金奎. 间隙曲柄滑块机构运动误差分析的模拟实验修正法[J]. **机械设计**, 1999, 16(4): 37-40.
- [12] HANZAKI A R, RAO P V M, SAHA S K. Kinematic and sensitivity analysis and optimization of planar rack-and-pinion steering linkages[J]. **Mechanism and Machine Theory**, 2009, 44(1): 42-56.

[编辑:柴福莉]