

动态查询表模糊控制器的开发与应用

刘光磊¹, 江 彤², 阳春华¹, 吴同茂¹

(1. 中南大学信息科学与工程学院, 长沙 410083; 2. 湖南人文科技学院, 湖南 娄底 417000)

摘要: 工业过程控制中的被控对象具有非线性、纯滞后、多变量的特性。基于此, 在图形化编程语言 LabVIEW 下开发基于动态查询表的模糊控制器, 将合成推理法计算得到的动态查询表应用到 NI CFP-2120 控制器中, 该控制器可以在极端环境中运行嵌入式 LabVIEW 应用程序, 对三级串联水箱液位系统进行实时控制。实验结果表明, 该模糊控制器具有无超调、非震荡、稳态误差小等特点, 可用于实现 LabVIEW 下的模糊控制。

关键词: 图形化编程语言; 动态查询表; 模糊控制; NI CFP-2120 控制器; 水箱液位系统

Development and Application of Dynamic Look-up Table Fuzzy Controller

LIU Guang-lei¹, JIANG Tong², YANG Chun-hua¹, WU Tong-mao¹

(1. School of Information Science and Engineering, Central South University, Changsha 410083, China;

2. Hunan University of Humanities, Science and Technology, Loudi 417000, China)

【Abstract】 The fuzzy control dynamic look-up table is developed under the graphical programming language LabVIEW for the controlled target which has the non-linear characteristic, the pure lag and the multivariable in the industrial process controlling. Depoly the dynamic look-up table calculated by compositional rule of inference to the NI Compact Filed Point(CFP)-2120 controller which runs the embedded LabVIEW application programs under the extreme environment, and the three-level series tank level system is real-time controlled. Experimental results show that the fuzzy controller has the excellent performance without overshoot, non oscillation and small static error, and a new method is provided to realize the fuzzy control under the LabVIEW program.

【Key words】 graphical programming language; dynamic look-up table; fuzzy control; NI Compact Filed Point(CFP)-2120 controller; tank liquid level system

DOI: 10.3969/j.issn.1000-3428.2011.24.077

1 概述

LabVIEW 是美国国家仪器公司(简称 NI)开发的可视化、跨平台的图形化编程语言, 广泛支持各种仪器硬件的驱动, 包括了大量函数库如数据采集、信号处理、图像处理、数据库、报表生成等^[1], 以及控制设计与仿真、系统辨识、报表生成等多种工具包, 使不熟悉文本编程的工程技术人员能快速高效地编制所需的软件^[2]。

NI CFP-2120 控制器兼备可编程逻辑控制器的可靠性和 PC 的多功能与开发性, 为用户提供了一个能将 LabVIEW 软件的应用范围扩展到条件恶劣的工业环境的体积小、坚固和智能型的平台。恶劣工业环境的应用包括嵌入式机器控制、工业数据采集、数据记录和车辆内部测试等。

模糊控制不依赖于被控对象的精确数学模型, 特别适宜对具有多输入-多输出的强耦合性、参数的时变性和严重的非线性与不确定性的复杂系统或过程控制, 其控制方法简单, 实际效果好, 近年来在各个领域得到了广泛应用^[3-4]。

本文介绍在图形化编程语言 LabVIEW 下开发基于动态查询表的模糊控制器的实现方法, 并将基于动态查询表的模糊控制应用程序下载到 NI CFP-2120 控制器中, 实现对水箱液位系统的实时监控。

2 基于动态查询表的模糊控制器设计

2.1 模糊控制器的基本结构

在实际控制中, 往往取被控对象的目标值与实际值之间

的误差 E 向量和误差的变化率 E_C 向量为模糊控制器的输入, 将控制器的输出量作为被控对象的输入。模糊控制器的模型如图 1 所示。

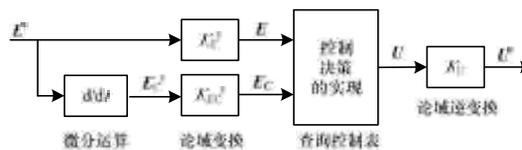


图 1 基本模糊控制器的模型

2.2 模糊控制器的组成

2.2.1 模糊化

为了对输入量进行模糊化处理, 必须将输入变量从基本论域转换到对应的语言变量模糊集的论域。需要经过量化因子进行论域转换, 误差 E 的量化因子 K_E 计算公式为:

$$K_E = n/E_{\max} \quad (1)$$

其中, n 为误差离散化后的档数; E_{\max} 为误差基本论域的最大值; 误差变化率 E_C 量化因子 K_{EC} 计算公式与 K_E 相同。

经模糊控制算法得到的控制量, 必须转换为控制量基本

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(60804037, 60874069)

作者简介: 刘光磊(1985-), 男, 硕士研究生, 主研方向: 虚拟仪器网络控制系统; 江 彤, 讲师、硕士; 阳春华, 教授, 博士生导师; 吴同茂, 高级工程师

收稿日期: 2011-05-19 **E-mail:** lgl.csu@163.com

论域中的值, 比例因子 K_U 计算公式为:

$$K_U = U_{\max} / n \tag{2}$$

其中, U_{\max} 为控制量基本论域的最大值。

论域变换后 E 和 E_C 仍是非模糊的普通变量, 对它们分别定义若干个模糊集合, 如负大(NB 向量)等, 并在其内部论域上规定各个模糊集合的隶属度函数。隶属度函数的形状对控制器的性能影响不大, 在一定范围内模糊逻辑控制都能达到预期的目标, 本系统采用三角型隶属度函数, 其程序框图如图 2 所示。

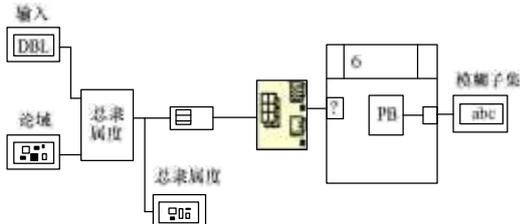


图 2 三角形隶属度函数

2.2.2 知识库

知识库由数据库和规则库组成。数据库中一般存放各语言变量的隶属度函数、比例因子、模糊论域划分; 规则库中存放着控制规则, 是专家的经验 and 实时学习的结果, 一般采用 IF THEN 语句。

本文采用状态评估模糊控制规则, 它具有以下形式:

如果 E 为向量 PB 并且 E_C 为向量 PB , 则输出向量 U 为 PB 。

如果 E 为向量 NB 并且 E_C 为向量 NB , 则输出向量 U 为 NB 。

...

以上每条模糊控制规则决定一个模糊关系 R_i 矩阵, 该矩阵计算公式为:

$$R_i = (NB \times NB)^T \times NB \tag{3}$$

其中, \times 表示笛卡尔积。所有的模糊关系 R_i 计算方法相同。

模糊关系 R_i 计算完毕后, 总的模糊关系有:

$$R = R_1 \cup R_2 \cup R_3 \tag{4}$$

其中, \cup 表示并集。本文采用的模糊控制规则如表 1 所示。

表 1 水箱液位模糊控制规则

E	E _C						
	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB
PB	PB	PB	PB	PB	PM	0	0
PM	PB	PB	PB	PB	PM	0	0
PS	PM	PM	PM	PM	0	NS	NS
ZO	PM	PM	PS	0	NS	NM	NM
NS	PS	PS	0	NM	NM	NM	NM
NM	PS	PS	0	NM	NM	NM	NM
NB	0	0	NM	NB	NB	NB	NB

模糊集合 R 对应的程序框图如图 3 所示。

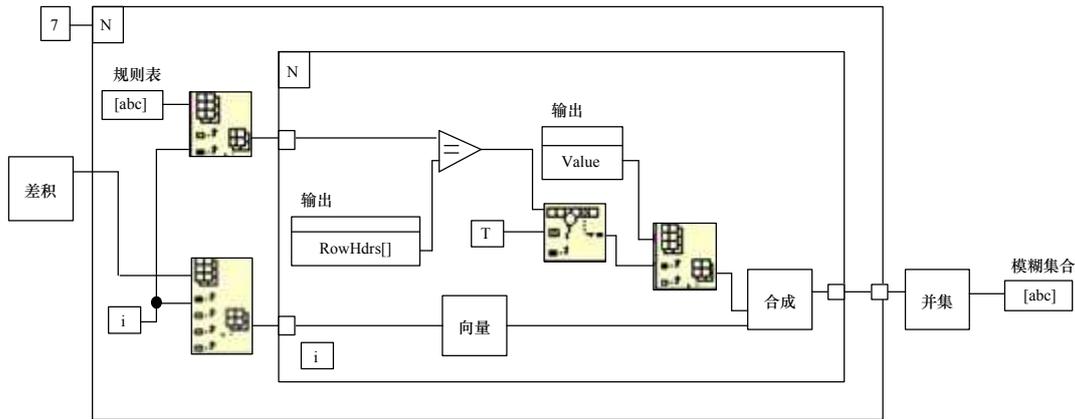


图 3 模糊关系 R_i 及模糊集合 R 的计算过程

2.2.3 模糊推理

设计模糊控制器要选择适当的关系生成方法和推理合成算法。本文采用 Mamdani 方法, 模糊推理算法与模糊控制规则直接相关, 输出模糊控制量计算公式为:

$$U_{ij} = (E_i \times E_{Cj})^T \cdot R \tag{5}$$

其中, 算符 \cdot 代表合成推理, 整个过程也被称为模糊决策。

输出模糊控制矩阵 U_{ij} 的程序框图如图 4 所示。

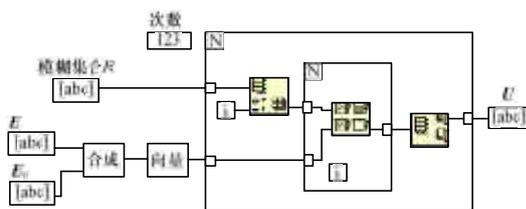


图 4 模糊控制量 U_{ij} 的输出流程

2.2.4 解模糊

经过模糊推理使模糊量所决定的控制量 U_{ij} 是模糊矢量,

对于实际模糊控制器的输出必须为清晰值, 所以要将模糊量转化为清晰值, 本文采用的方法为加权平均法, 公式为:

$$U^n = \frac{\sum_{i=1}^n x_i \mu_u(x_i)}{\sum_{i=1}^n \mu_u(x_i)} \tag{6}$$

其中, n 为论域中元素个数; x_i 为论域中的元素; $\mu_u(x_i)$ 为论域上元素的隶属度。

3 模糊控制器在 3 级串联水箱液位系统中的应用

3.1 3 级串联水箱液位实验装置介绍

水箱液位被控对象由 3 个水箱串联组成, 稳压水由两路经过电动调节阀 $VL1$ 和 $VL2$ 以及手动阀 $V1 \sim V6$, 分别流入 3 个水箱。调节阀 $VL1$ 和 $VL2$ 可以分别作为控制回路的执行机构和产生扰动信号的机构。若以进入水箱的水流量作为输入量, 水位作为输出量, 则每一个水箱可以看成是一阶惯性环节的被控对象。

当 $VL1$ 作为控制回路执行机构, 通过手动阀 $V1$ 、 $V3$ 和 $V5$ 的不同组合的闭合使水箱构成不同阶次的被控对象。水箱液位控制系统实验装置如图 5 所示。

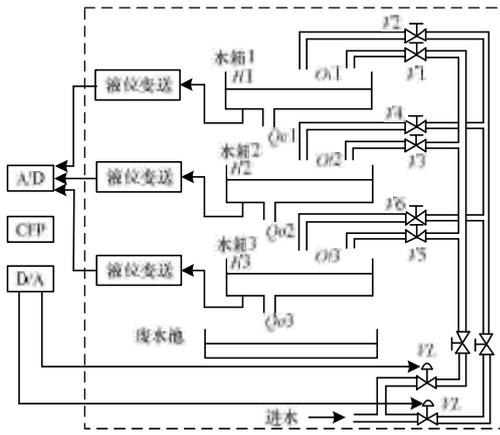


图5 水箱液位控制系统实验装置

3.2 基于动态查询表的模糊控制策略

正常情况下模糊查询表按第2节所述方法事先离线计算，控制时，通过离线查询输出量的大小进行反模糊化，以作用于被控对象。这种方法结构简单，资源开销少，但是因为此方法的控制精度不高，且更改模糊规则和隶属度函数较为困难，所以常用于家用电器和简单控制系统。基于动态查询表的模糊控制是利用输入计算输出动态控制量对控制对象进行控制。这种方法通用性强，应用范围广，且资源开销不大，最重要的是可以克服离线查表法控制精度不高的缺点^[5]。

将在线生成的动态查询表数据实时地传递到 NI CFP-2120 控制器中的应用程序，当应用程序运行时偏差 E 和偏差变化率 E_c 经过模糊化后得到对应的模糊语言变量，模糊语言变量再根据隶属度大小确定 E 和 E_c 的模糊论域值，最后模糊论域值通过查找动态查询表输出一个模糊控制量，解模糊后输出精确控制量对水箱液位进行实时控制。

3.3 模糊控制器在单回路水箱液位系统中的应用

实验中，为了对比不同阶数水箱液位系统的控制效果，水箱液位系统目标值从 40 mm 变化为 50 mm，量化因子和比例因子分别为： $K_E=12/13$ ， $K_{E_c}=6/7$ 和 $K_U=2/7$ 。

(1)一阶液位被控对象

选择第3个水箱的液位 $H3$ 作为被调变量，关闭手动阀 $V1$ 和 $V3$ ，只打开 $V5$ ，则构成一阶被控对象，其传递函数可由一阶纯滞后后惯性环节表示，公式为：

$$G(S) = \frac{K}{TS+1} e^{-\tau S} \quad (7)$$

其中， τ 为纯滞后时间； K 为开环增益； T 为时间常数。

一阶水箱液位系统的实时控制曲线如图6所示。

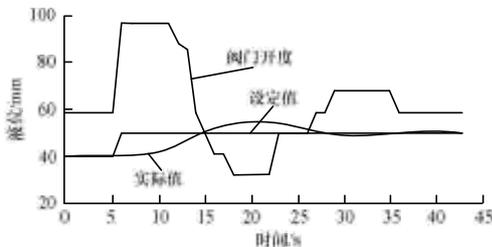


图6 一阶水箱液位系统实际曲线

(2)二阶液位被控对象

选择第3个水箱的液位 $H3$ 作为被调变量，关闭手动阀 $V1$ 和 $V5$ ，只打开 $V3$ ，使2个水箱串联，则2个惯性环节串联构成二阶被控对象，公式为：

$$G(S) = \frac{Ke^{-\tau S}}{(T_1S+1)(T_0S+1)} \quad (8)$$

其中， T_1 和 T_0 分别为2个惯性环节的时间常数。

二阶水箱液位系统的实时曲线如图7所示。

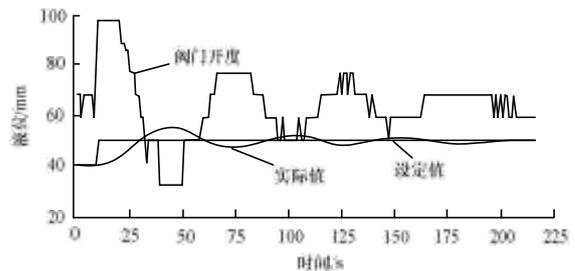


图7 二阶水箱液位系统实际曲线

(3)三阶水箱液位被控对象

选择第3个水箱的液位 $H3$ 作为被调变量，关闭手动阀 $V3$ 和 $V5$ ，只打开手动阀 $V1$ ，使3个水箱串联，则3个惯性环节串联构成三阶被控对象：

$$G(S) = \frac{Ke^{-\tau S}}{(T_2S+1)(T_1S+1)(T_0S+1)} \quad (9)$$

其中， T_2 、 T_1 和 T_0 分别为3个惯性环节的时间常数。

三阶水箱液位系统的实时曲线如图8所示。

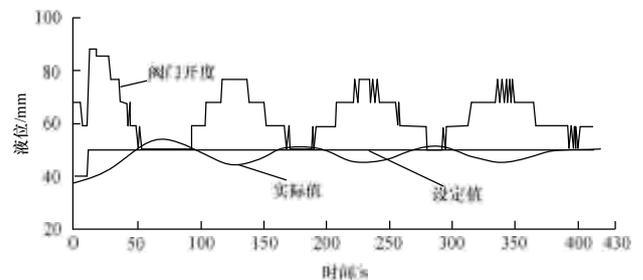


图8 三阶水箱液位系统实际曲线

从图6~图8中可以看出，一阶水箱液位系统响应速度最快，二阶水箱液位系统出现较小的超调，三阶水箱液位系统出现较大超调和震荡。随着系统阶数的增加，系统控制更加困难，但3个系统最终都达到了稳定，并且稳态误差较小，达到了比较理想的控制效果。

4 结束语

本文根据模糊控制的基本概念，在图形化编程语言 LabVIEW 下开发了基于动态查询表的模糊控制器，这种模糊控制策略在三级串联水箱液位系统上取得了较为理想的控制效果。为了实现更为先进的控制算法，还可以通过 LabVIEW 下的 MathScript 节点、CLFN 和 CIN 接口调用外部程序开发实时自校正、自适应等较为复杂的控制算法，以改进模糊控制存在稳态误差的缺点，从而提高控制器的性能。

参考文献

- [1] McConnell E. The Future of Virtual Instrumentation[J]. Sensors Worldlink Internet Netstation, 1999, 23(1): 252-257.
- [2] 赵宝纯, 骆宗安, 刘相华. 基于 LabVIEW 的模糊控制器设计与仿真[J]. 控制工程, 2006, 13(增刊): 49-52.
- [3] 李国栋, 王孟效. 模糊免疫 PID 控制器及其在苛化过程中的应用[J]. 计算机工程, 2009, 35(1): 218-220.
- [4] Ai Xin, Yang Yihan. Virtual Instrument Technology and Its Application to Power System[J]. IEEE Transaction on Instrumentation and Measurement, 2001, 25(15): 54-57.
- [5] 刘 晟, 陈 杰, 龚志豪, 等. 基于动态查询表的模糊控制策略及其应用[J]. 北京理工大学学报, 2006, 22(3): 347-350.

编辑 顾逸斐

