

基于 Labview 和 Matlab 的模糊 PID 温度控制系统研发

庄源昌¹, 高罗卿², 郑 湃¹, 王晓峰¹

(1. 常州数控技术研究所, 江苏 常州 213164; 2. 常州轻工职业技术学院, 江苏 常州 213300)

摘要: 文章以 LabVIEW 图形化编程语言、模糊控制工具箱及 PID 工具包等为开发平台, 设计温度测控系统; 利用 Matlab Simulink 进行仿真实验, 并与常规 PID 的控制效果比较; 利用模糊逻辑 (fuzzy logic) 模块及 LabVIEW 提供的仿真模块 (simulation module) 建立系统仿真框图; 通过仿真曲线分析模糊 PID 控制效果及影响因素, 动态调整 K_p , K_i , K_d 的设置, 缩短了控制器的设计周期, 明显改善系统的稳态性能以及稳态响应, 具有较大的工程实用价值。

关键词: LabVIEW; Matlab Simulink; 模糊 PID; 模糊逻辑; 仿真模块

Design of Fuzzy PID Temperature Control System based on LabVIEW and Matlab

Zhuang Yuanchang¹, Gao Luoqing², Zeng Pai¹, Wang Xiaofeng¹

(1. Changzhou Institute of CNC Technology, Changzhou 213164, China;

2. Changzhou Institute of Light Industry Technology, Changzhou 213000, China)

Abstract: In this paper, graphical programming language LabVIEW is regarded as the development platform, combining fuzzy logic module and PID control toolkit, designing a temperature control system. We can use Matlab Simulink to build simulation program, also can use the fuzzy logic module and simulation module of LabVIEW to build the simulation block of the system. Comparing with the PID control, the fuzzy-PID control is effective to improve the temperature of control system, the steady state capability and the steady state respond. As the curve shown, the effects of the fuzzy-PID control are analyzed. From above analysis, the period of design the fuzzy-PID controller is reduced. It has practical value for engineering.

Keywords: LabVIEW; Matlab Simulink; fuzzy PID; fuzzy logic; simulation module

0 引言

美国国家仪器公司 (NI) 推出的图形化虚拟仪器开发运行环境 LabVIEW^[1-3], 可通过 GPIB、VXI、PXI、PLC、串行设备和插卡式数据采集板等, 配合通用 PC 机的标准软硬件资源, 构建灵活的、层次体系明晰的、功能强大的且人机界面友好的数据采集系统和便捷高效的控制系统。Matlab 具有强大的数值运算功能、丰富的工具箱, 但由于不能直接实时操作和控制, 能与之直接通讯的硬件设备不多。所以利用 Matlab 与 LabVIEW 各自的优势, 进行混合编程^[4-5], 发挥各自软件的功能, 可以达到很好的效果。

温度控制过程中经常会碰到大滞后、时变、非线性的复杂系统。其中有的参数未知或缓慢变化; 有的存在滞后和随机干扰; 有的无法获得精确的数学模型。模糊控制器是一种近年来发展起来的新型控制器, 其优点是不要求掌握受控对象的精确数学模型, 而根据人工控制规则组织控制决策表, 由该表决定控制量的大小。将模糊控制和 PID 控制器^[6]两者结合起来,

扬长避短, 既具有模糊控制灵活、适应性强的优点, 又具有 PID 控制精度高的特点。本文利用 LabVIEW 搭建的温度测控系统, 获得温箱的数学模型, 利用 Matlab Simulink 的仿真模块, 设计 Fuzzy-PID 控制器, 并进行了仿真比较。最后应用 LabVIEW FPGA 与 Matlab 的混合编程, 实现实际的温度控制, 收到良好效果。

1 系统总体设计

温度测控系统硬件部分由传感器、信号调理电路、数据采集与控制模块、PC 机、大功率可控硅驱动模块五部分组成。图 1 所示是系统总体构成框图。

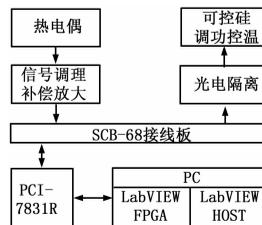


图 1 温控系统总体构成图

在本系统中, 热电偶输出 mV 级信号, 经冷端补偿调理放大成 1~10 V 的标准信号, 经 SCB-68 接线板接入 PCI-7831R 数采卡, PCI-7831R 数采卡的输入范围为 -10~

收稿日期: 2013-12-16; 修回日期: 2014-02-16。

基金项目: 江苏省产学研联合创新资金无缝管穿孔顶头堆焊工艺关键技术研究与实现 (BY2013028)。

作者简介: 庄源昌 (1983-), 男, 江苏省泗阳人, 中级工程师, 硕士, 主要从事数控系统和嵌入式系统开发方向的研究。

+10 V, 16 位的 A/D 转换精度 (分辨率为 0.3 mV), 通过 LabVIEW FPGA 对 PCI-7831R 进行基本的 I/O 配置, 最后通过 LabVIEW HOST 进行智能算法的计算得到控制量输出脉冲触发信号, 通过过零触发电路驱动双向可控硅, 改变控制脉冲宽度, 改变可控硅在一个固定控制周期内的导通时间, 这样加热区的温度就随着电阻炉的平均输入功率改变而改变, 从而达到控温的目的。

2 软件设计与仿真

控制程序设计是基于 LabVIEW 8.0、LabVIEW FPGA 8.0 Module 及 RIO-2.0 设备驱动。硬件板卡采用 PCI-7831R, 使用 LabVIEW FPGA 模块和可重新配置 I/O (RIO) 硬件, 将 FPGA 技术的灵活性整合到测量和控制系统中。仿真工具采用 Matlab/Simulink 工具包, 建立系统仿真模型, 通过实验与仿真相结合的方法, 可视化设计模糊 PID 控制器。

2.1 传递函数

PID 控制中核心的问题是控制器比例系数、积分时间和微分时间的整定。整定的好坏直接影响控制质量, 而且还会影响到控制器的鲁棒性。

温箱是一个具有热容量的对象, 当系统通上电以后, 温箱内温度是一个随时间逐渐上升的过程。加热丝的温度逐渐升高, 通过箱壁热传递和热辐射使箱体温度也逐渐升高, 温箱有一定的容量滞后。所以, 将温箱视为一个一阶惯性环节加一个滞后环节的对象。通过持续加热, 经过测控的测量回路, 获得温箱的阶跃响应曲线, 如图 2 所示。

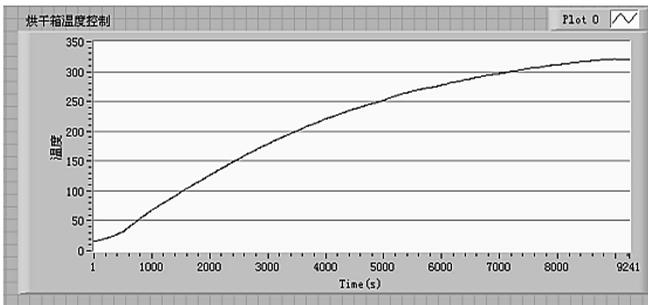


图 2 辨识阶跃响应曲线图

系统的采样时间为 0.1 Hz, 给定阶跃电压为 220 V, 烘干箱的加热功率为 6.6 kW, 初始温度为 16.14 °C, 经过 9 200 s 达到稳态, 稳态温度为 321.03 °C。对象参数的识别, 在获得对象的飞升曲线后, 利用 Cohn-Coon 公式求对象参数。Cohn-Coon 公式如下:

$$K = \frac{\Delta out}{\Delta in} = \frac{y(\infty) - y(0)}{u(0)}$$

$$T = 1.5(t_{0.632} - t_{0.28})$$

$$t = 1.5(t_{0.28} - \frac{1}{3}t_{0.632})$$

式中, K 为对象的放大增益, T 为对象的时间常数, t 为对象的纯滞后常数, $t_{0.28}$ 为对象飞升曲线为 0.28y 时的时间, $t_{0.632}$ 为对象的飞升曲线为 0.632y 时的时间。

经计算, $t_{0.28} = 1\ 300$, $t_{0.632} = 3\ 320$, 由公式可得模型参数分别为: $K = 1.39$, $T = 3\ 030$, $t = 290$ 。所以, 本文研究对象烘干箱的系统近似模型为:

$$G(s) = \frac{1.39}{3030s + 1} e^{-290s}$$

2.2 模糊 PID 算法设计

自适应模糊 PID 控制器以误差 e 和误差变化 ec 作为输入, 可以满足不同时刻的 e 和 ec 对 PID 参数自整定的要求。利用模糊控制规则在线对 PID 参数进行修改, 便构成了自适应模糊 PID 控制器。

模糊控制器最简单的实现方法是将一系列模糊控制规则离线转化为一个查询表 (又称为校制表)。存储在计算机中供在线控制时使用。这种模糊控制器结构简单, 使用方便, 是最基本的一种形式。本文中模糊控制器的设计采用了二维模糊 PID 控制器。设计步骤如下:

2.2.1 确定模糊控制器输入输出变量

选择系统的输入变量为温度偏差 e 和温度偏差变化率 ec , 输出量为 $\Delta k_p, \Delta k_i, \Delta k_d$, 语言变量分别为 $E, EC, \Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 。

2.2.2 根据实际情况确定论域

选择变量的基本论域分别为:

$$e = [-15, 15]; ec = [-15, 15]; \Delta k_p = [-2, 2];$$

$$\Delta k_i = [-0.0006, 0.0006]; \Delta k_d = [-120, 120];$$

变量的模糊论域为:

$$E, EC = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\};$$

$$\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D = \{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\};$$

量化因子初值分别:

$$K_e = 0.4; K_{ec} = 0.4; K_{ep} = 0.3;$$

$$K_{ei} = 0.0001; K_{ed} = 20;$$

在调试过程中可以通过观察系统的运行性能来修改量化因子与比例因子。

2.2.3 定义模糊子集, 选隶属函数

各变量的模糊子集分别为:

$$E, EC = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\};$$

$$\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D = \{NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB\};$$

各变量的隶属度函数均为三角形。

2.2.4 确定模糊控制规则

参数模糊自调整 PID 控制器就是找到在不同时刻 PID 3 个参数, k_p, k_i, k_d 之间的模糊关系, 在运行中通过不断检测 e 和 ec , 根据模糊控制原理来对 3 个参数进行在线修改, 以满足不同 e 和 ec 。对控制参数的不同要求, 而使被控对象有良好的动、静态性能。

表 1 ΔK_P 的模糊控制规则

	EC							
ΔK_P		NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
E	NB	PB	PB	PB	PB	PS	ZE	NS
	NM	PB	PB	PM	PM	ZE	NS	NM
	NS	PB	PM	PM	PS	NS	NM	NB
	ZO	NB	ZE	ZE	ZE	ZE	ZE	PB
	PS	NB	NB	NS	PS	PM	PM	PB
	PM	NB	NS	NM	PM	PB	PB	PB
	PB	NS	ZE	PS	PB	PB	PB	PB

根据 PID 各参数的控制作用以及在不同的偏差及偏差变

化下对 PID 参数调整的要求, 表 1 给出了 ΔK_P 的模糊控制规则表。

2.2.5 模糊控制表

选择模糊判决方法为加权平均判决法, 可得 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 的模糊控制表如表 2 所示。

表 2 ΔK_P 的模糊控制表

ΔK_P	-6	-5	-4	-3	-2	-1	0	1	2	3	4	5	6
-6	6	6	6	6	6	6	6	4	3	2	0	-1	-2
-5	6	6	6	5	5	5	5	3	2	0	-1	-1	-3
-4	6	6	6	5	4	4	4	2	0	-1	-2	-3	-3
-3	6	5	5	5	4	3	3	1	-1	-1	-3	-3	-4
-2	6	5	4	4	4	3	3	0	-2	-3	-3	-4	-6
-1	0	2	2	2	2	2	2	0	-1	-1	-1	-1	0
0	-6	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	2	6
1	-5	-1	-1	-1	-1	0	2	2	2	2	2	3	6
2	-6	-5	-6	-3	-2	0	3	3	4	4	4	5	6
3	-5	-3	-3	-3	-3	0	3	4	5	5	5	5	6
4	-6	-3	-2	-3	-3	0	4	5	6	6	6	6	6
5	-3	-1	-1	0	0	2	5	5	6	6	6	6	6
6	-2	-1	0	2	3	4	6	6	6	6	6	6	6

2.3 Matlab 的 Simulink 仿真

根据上面的模糊 PID 设计过程, 可得到 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 的模糊控制表, 可以对 K_P, K_I, K_D 进行动态整定, $\delta = 1.7\%t_s = 1700\text{ s}, K'_I, K'_D$ 为采用常规整定方法得到的 K_P, K_I, K_D 的预整定值, 则模糊 PID 参数为:

$$K_P = K'_P + \Delta K_P$$

$$K_I = K'_I + \Delta K_I$$

$$K_D = K'_D + \Delta K_D$$

为比较 PID 控制和 Fuzzy PID 控制器的控制性能, 用 Matlab 中的 Simulink 和 Fuzzy 工具箱, 对控制对象进行仿真研究, 建立仿真模型。

通过系统仿真, Fuzzy PID 与普通 PID 的响应曲线如图 3 所示, 在稳态误差为 1% 的情况下, 用临界灵敏度法所得的整定参数, 其超调量 $\delta = 23\%$, 调节时间为 $t_s = 2500\text{ s}$ 。若调节 PID 参数, 当将超调量调整到最低时, 调节时间 $t_s = 3000\text{ s}$ 。若采用 Fuzzy PID 复合控制算法, 系统的响应曲线在稳态误差为 1% 的情况下, 其超调量 $\delta = 1.7\%$, 调节时间 $t_s = 1070\text{ s}$ 。

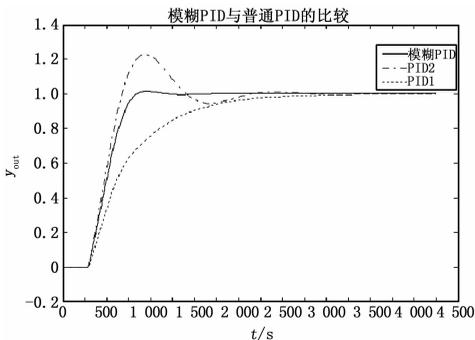


图 3 Fuzzy PID 与 PID 的响应曲线

在系统运行期间的某一个时刻如果受到一个外来扰动的影响, 一旦系统的自适应能力较差, 系统可能会出现振荡, 使得

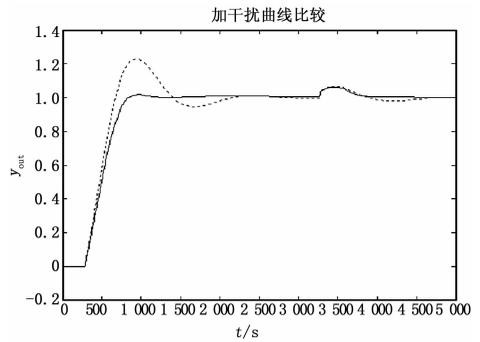


图 4 加干扰曲线比较

生产出现危险。但由于自整定模糊控制器本身的参数自整定功能, 使得系统具有了较强的自适应能力, 能够在外来扰动进入时及时恢复, 不出现振荡。

本文中在 3 000 s 的时候在控制器输出端加入一个外来幅值 1.0, 时长为 10 s 的扰动。从图 4 可以看出, PID 控制时系统输出有一个明显的跳变, 并且产生了小幅的振荡, 但是在一段时间内又回到稳定, 说明具有一定的抗外来扰动的能力。对比之下, 可以明显看出模糊自整定在外来干扰下的控制优势。

2.4 LabVIEW FPGA 的控制程序

本文的复杂 Fuzzy PID 算法, 数据显示等功能都在 Host VI 中实现。利用 LabVIEW 的模糊逻辑工具包 (Fuzzy Logic Toolkit) 和 PID 工具包设计和完成基于规则的模糊逻辑系统。LabVIEW 的 Fuzzy PID 控制算法的程序后面板如图 5 所示。

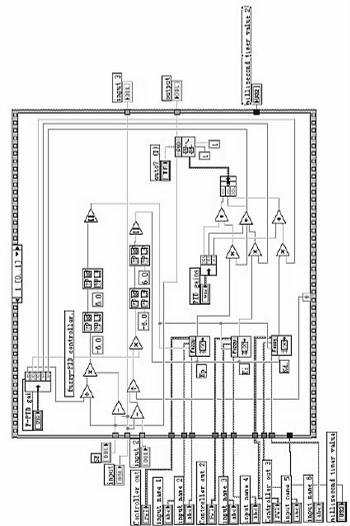


图 5 Fuzzy PID 控制算法的程序后面板

程序执行 Load Fuzzy Controller. vi 将 K_P, K_I, K_D 通过模糊控制编辑器设计好的模糊控制模型调入到程序中去。将采集到的输入值模糊化后输入到模糊控制器中, 经过模糊决策, 解模糊可得到 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 。LabVIEW 程序中 PID 子 VI 的参数输入为 K_e, T_i, T_d , 所以应将所得到的 $\Delta K_P, \Delta K_I, \Delta K_D$ 各参数转换成 $\Delta K_e, \Delta T_i, \Delta T_d$ 。将获得新的 PID 参数输入计算就可得到实际的控制输出量。

(下转第 2507 页)

3) 确定各指标的权重:

根据设备的扩展多信号流程图分析得到 5 个评价指标的平均故障关联度依次为: 35.7、47.3、32.5、11.4、19.6 (考虑到同一故障模式可能与多个评价元素关联), 则根据式 (12) 确定 5 个评价指标的权重为:

$$w = (0.2437, 0.3229, 0.2218, 0.0778, 0.1338) \quad (19)$$

4) 确定评定等级:

将式 (18) 以及指标权重向量代入式 (13), 可以计算出待评故障样本对每个等级的隶属度为:

$$K(N_0) = \begin{bmatrix} K_1(N_0) \\ K_2(N_0) \\ K_3(N_0) \\ K_4(N_0) \\ K_5(N_0) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 0.0303 \\ 0.0468 \\ -0.0475 \\ 0.0213 \\ -0.0211 \end{bmatrix} \quad (20)$$

根据最大隶属度原则, 故障样本评价结构应取 $d = \max\{K(N_0)\} = K_2(N_0) = 0.0468$, 该故障样本隶属于 2 级对应的评定结果, 即该故障样本的评定结果为“良”。

5) 评价结果分析:

由式 (18) 和最大隶属度原则可以看出, 该故障样本对结构单元的覆盖度评定等级为“良”; 对功能单元的覆盖度评定等级为“良”; 对测试点的覆盖度评定等级为“差”; 对测试相的覆盖度评定等级为“中”; 对信号的覆盖度评定等级为“中”。根据 GJB 的平均相加“中”,

5 结论

合理确定评价指标及分配指标权重对故障样本评价至关重要。本文在综合考虑测试性验证试验目的和考核内容的基础上, 提出一种基于扩展多信号模型的故障样本可拓评价方法。方法基于扩展多信号流程图构建故障样本评价的指标, 结合可拓学理论, 建立基于平均故障关联度的故障样本集可拓评价模型, 并对某型机载数传测试性验证试验故障样本进行评价。研究结果验证了所提方法的有效性。

参考文献:

[1] 田 仲, 石君友. 系统测试性设计分析与验证 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2003.
 [2] 李天梅, 丘 静, 刘冠军. 基于多信号流图的测试性验证试验样本选取方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2008, 30 (11): 2284

(上接第 2487 页)

3 总结

基于虚拟仪器的测控系统的开发对于微机控制系统有非常重要的意义, 虚拟仪器技术是当前测控领域应用和研究的重要方向之一, 将其应用于实际检测中, 节省了项目投入, 增强了系统的开放性。模糊 PID 控制技术将模糊控制和 PID 控制结合起来, 扬长避短, 既具有模糊控制灵活而适应性强的优点, 又具有 PID 控制精度高的特点。

参考文献:

[1] National Instruments LabVIEW FPGA in Hardware - in - the -

- 2286.

[3] Laurent O. Using formal methods and testability concepts in the avionics systems validation and verification (V&V) process [A]. Proc. of 2010 Third International Conference on Software Testing, Verification and Validation [C]. 2010: 1-10.
 [4] 石君友, 李 郑. 自动控制故障注入设备的设计与实现 [J]. 航空学报, 2007, 28 (3): 556-560.
 [5] 石君友, 纪 超, 李海伟. 测试性验证技术与应用技术现状分析 [J]. 测控技术, 2012, 31 (5): 29-32.
 [6] Dietraar K, Roman A, Robert W. Analysis of a built-in test architecture for direct-conversion SiGe millimeter-wave receiver frontends [A]. Proc. of the Instrumentation and Measurement Technology Conference [C]. 2010: 944-948.
 [7] Sundar S, Kim B C. Low cost automatic mixed-signal board test using IEEE 1149. 4 [A]. Proceedings of International Test Conference [C]. 2007: 1-9.
 [8] 张 勇, 丘 静, 刘冠军, 等. 面向测试性虚拟验证的功能-故障-行为-测试-环境-一体化模型 [J]. 航空学报, 2012, 33 (2): 273-286.
 [9] An J X, Wang G Q, Li S F, et al. Dynamic evaluation method based multi-dimensional test coverage for software testing [J]. Journal of Software, 2010, 21 (9): 2135-2147.
 [10] 安金霞, 王国庆, 李树芳, 等. 基于多维度覆盖率的软件测试动态评价方法 [J]. 软件学报, 2010, 21 (9): 2135-2147.
 [11] 何 洋, 叶晓慧, 赵建扬. 机电设备的测试性验证方法初探 [J]. 电光与控制, 2011, 18 (11): 92-95.
 [12] 石君友, 康 锐. 基于通用充分性准则的测试性试验方案研究 [J]. 航空学报, 2005, 26 (6): 691-695.
 [13] 石君友, 王 璐, 李海伟, 等. 基于设计特性覆盖的测试性定量分析方法 [J]. 系统工程与电子技术, 2012, 34 (2): 418-423.
 [14] 李天梅, 胡昌华, 周 鑫. 基于故障传递特性的位置不可访问故障注入方法 [J]. 航空学报, 2011, 32 (12): 2277-2286.
 [15] Li T M, Gao X Y, Qiu J, et al. A failure sample selection method considering failure pervasion intensity in testability demonstration test [J]. Chinese Journal of Acta Armamentar II, 2009, 5 (3): 228-233.
 [16] 李天梅, 丘 静, 刘冠军, 等. 基于模糊灰色关联分析的故障样本集评估方法 [J]. 仪器仪表学报, 2008, 29 (10): 2196-2200.
 Loop Simulation Applications [Z]. 2006.
 [2] National Instruments Building Programmable Automation Controllers with LabVIEW FPGA [Z]. 2006.
 [3] National Instruments 使用 LabVIEW FPGA 模块和可重新配置 I/O 设备开发测量与控制应用 [M]. 2006.
 [4] 宋广东. 基于 DLL 技术和 COM 组件技术实现 LabVIEW 和 MATLAB 混合编程 [J]. 计算机应用与软件, 2013, (1): 30-33.
 [5] 张湘. 基于 LabVIEW 的风力发电综合实验平台监控系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2013, 21 (12): 3206-3208.
 [6] 郝少杰. 基于模糊 PID 参数自整定的温度控制系统的研究 [J]. 现代电子技术, 2011, (7): 196-198.