

集装箱智能温度控制器的研究设计*

辛利斌 张振国 邓得洋 李纪文

(上海理工大学 光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要: 通过对集装箱温度控制系统现状深入研究的基础上,针对集装箱温度控制系统成本高、精度低、自适应差的特点。将模糊PID控制算法与集装箱温度控制系统结合起来,创造性的提出了集装箱温度模糊PID控制理论。并基于该模糊PID控制原理,设计了一个温度自适应的模糊PID控制器。通过对模糊PID算法详细的阐述说明以及理论分析与实际集装箱温度控制结合起来,最终搭建了一个应用于集装箱温度控制的模糊PID控制系统,并将该系统在MATLAB/Simulink环境中进行系统仿真,通过对仿真结果的分析对比,验证了该控制器的可行性、准确性和稳定性。

关键词: 集装箱;温度控制;模糊PID控制;MATLAB/Simulink

中图分类号: TM714.3;TN701 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.8010

Study design of container intelligent temperature controller

Xin Libin Zhang Zhenguo Deng Deyang Li Jiwen

(Department of Electrical Engineering School of Optical-Electrical and Computer Engineering,
University of Shanghai for Science & Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: Based on the in-depth study of the current situation of the container temperature control system, the cost of the container temperature control system is high, low precision and adaptive error. Combining the fuzzy PID control algorithm with the container temperature control system, the fuzzy PID control theory of the container temperature is put forward creatively. Based on the fuzzy PID control principle, a temperature adaptive fuzzy PID controller is designed. Based on the fuzzy PID algorithm in detail and the theoretical analysis and the actual container temperature control combined fuzzy PID control system applied to ultimately build a container temperature control, and the system into system simulation in MATLAB/Simulink environment, through the comparative analysis of the simulation results, verify the feasibility of the controller accuracy and stability.

Keywords: container; temperature control; fuzzy PID control; MATLAB/Simulink

1 引言

随着社会的快速发展,不同种类、不同规格的冷冻装置在日常生活中得到广泛应用。冷冻冷藏食品因其卫生、新鲜、营养的优点受到大众追捧,冷冻贮藏和冷藏运输可最大程度的保存其商品价值。冷藏集装箱作为实现大批量冷冻贮藏和冷藏运输的载体,其有效使用率逐年上涨,需求量大规模增加。国内外对于温度控制系统的研究越来越多,也在不断的深入,尤其是在集装箱温度控制系统方面。

当前,国内的集装箱系统温度控制技术与国外相比还有一定的差距,尤其是在软件的控制算法方面。只有通过不断的改善控制算法才能弥补这些不足。但是国外的集装箱温度控制器,控制精度低,稳定性差,并且设计成本较高,例如在全部的温控控制范围内的控制精度比较低,自适应性

也不是很强,不能完全满足中国市场的实际需要状况。因此设计出一款适合中国市场需要的集装箱温度控制器就显得格外重要。

本文的研究对象即为集装箱制冷装置的核心部分——温度控制器^[1]。本文基于工程实际应用的出发点,将高可靠性的工业级PIC单片机应用于温度控制装置,设计出一个智能模糊PID温度控制系统。该控制器主要面对的服务对象为制冷装置的加工生产厂家,该产品可广泛应用于制冷空调装置、冷藏集装箱、冷藏陈列柜以及其他各类机械式制冷装置。本文所研究的智能温度控制器,成本低,稳定性好,售后服务方便,可以代替目前国外的同等产品。

2 模糊控制基本原理

从最近几年看来,模糊控制技术得到了突飞猛进的发

收稿日期:2016-10

* 基金项目:沪江基金(B1402/D1402)资助项目

展,基于模糊控制技术在对于不明确系统的控制方面有着极大的优势,越来越多的偏向实用型模糊控制器的相继诞生,标志在控制领域进入了一个全新的时代。这其中,模糊控制技术发挥了尤其关键的作用^[2]。它的基本原理是首先把控制系统的输入量转化为模糊量,再通过逻辑推理得到输出模糊量,最后通过解模糊得到精确输出量,其基本结构如图 1 所示。

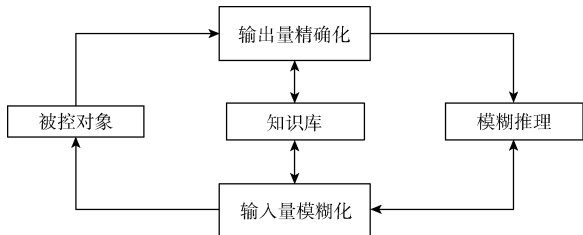


图 1 基本结构

运用模糊数学的控制思想,根据检测传感器所采样到的系统响应情况,采用模糊推理规则,从而进行自动整定 PID 控制参数以达到系统的最优控制目的,这就是模糊自适应 PID 控制^[3]。

3 模糊 PID 控制器设计

模糊自整定 PID 控制器的输入变量为误差 $e(k)$ 和误差变化率 $ec(k)$,最终输出参数 k_p, k_i, k_d 。将误差 $e(k)$ 和误差变化率 $ec(k)$ 作为输入,可以实时调节任意时刻 $e(k)$ 和 $ec(k)$ 所需的最佳 PID 参数。模糊自整定 PID 控制器的最终目的就是用模糊控制规则实时修整 PID 参数,在参数 k_p, k_i 和 k_d 与偏差 $e(k)$ 和偏差变化率 $ec(k)$ 之间建立了动态自动调整的函数关系^[4],使系统在不同的运行状态下都能达到对常规 PID 控制器参数不断检测、判断和调整的目的,对 PID 参数实现了智能调节,结构如图 2 所示。

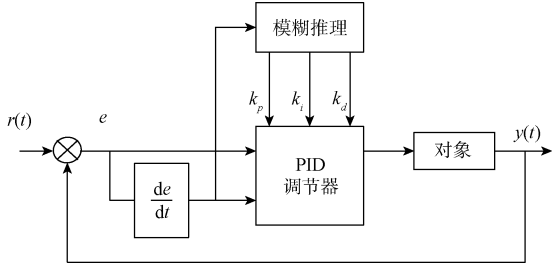


图 2 模糊 PID 控制器结构

结构图可知,该系统由标准 PID 控制器和模糊参数调节器共同组成。控制目标为使被控对象输出 $y(t)$ 达到指定值,PID 控制器由闭环误差产生控制信号,模糊参数调节器调节 PID 控制器的参数。

3.1 参数自整定原则

在计算机上实现的 PID 控制算法,离散 PID 控制数学

模型^[5]如下:

$$U(k) = K_p e(k) + K_i \sum_{i=0}^{k-1} e(i) + K_d [e(k) - e(k-1)] \quad (1)$$

式中: $u(k)$ 为第 k 个采样时刻控制器的输出量, $e(k)$ 为第 k 个采样时刻控制器的输入量; k_p, k_i 和 k_d 分别为控制系统的比例、积分、微分系数。从系统的各项性能指标来综合考虑,得出了 k_p, k_i 和 k_d 的基本整定原则^[6]如下:

- 1) 若检测到 e 较大时,可以取较大的 k_p 和较小的 k_d , 同时应尽量减小 k_i , 使系统的响应超调量降低,可以取 $k_i = 0$ 。
- 2) 若检测到 e 值合理,可以选取较小的 k_p , 从而减少系统的响应超调量。而 k_d 的值如果过大将使系统响应过激,应取得小一些。
- 3) 若检测到 e 较小时,可以将 k_p 和 k_i 的取值尽量取的稍微大些,以减少系统的稳态误差,同时为了消除系统的动态平衡振荡以及增强系统的抗干扰性能, ec 较大时 k_d 应取的稍微小些; ec 较小时 k_d 可取得大一些。

3.2 隶属度函数的建立

控制系统的输入输出量与模糊控制器处理量不同,在本控制系统中,需要将系统检测的物理量和处理后的输出量与模糊量之间转化^[7]。即将 $e(k), ec(k), k_p, k_i, k_d$ 进行模糊化处理。本文选定 e, ec 的论域为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, k_p, k_i 和 k_d 的论域也为 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$, 语言变量值为 $PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB$, 这些值分别代表正大、正中、正小、零、负小、负中、负大^[8]。 e, ec 隶属度函数选用三角形曲线建立,参数 k_p, k_i 和 k_d 的隶属度函数的建立也选用三角形曲线,如图 3、4 所示。曲线密度的设置时使相邻两个模糊量的交点在 $0.3 \sim 0.7$ 。

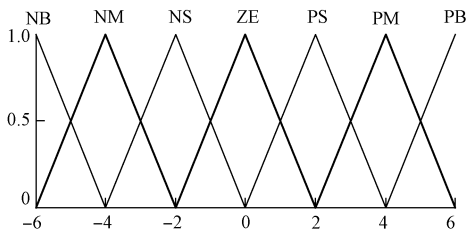


图 3 e, ec 的隶属度函数

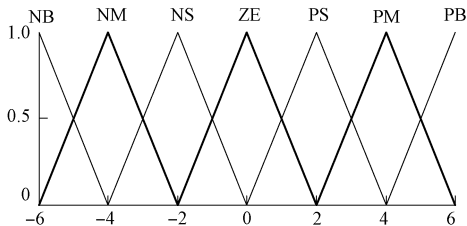


图 4 k_p, k_i 和 k_d 的隶属度函数

4 模糊控制策略的设计

模糊控制特点在于对控制对象的模型无要求,它主要将实际的控制经验方法转化为模糊规则,为了进一步提高系统的执行速度,采用改进的控制器。控制器原本是控制 k_p 、 k_i 、 k_d ,而现在控制的是 k_p 、 k_i 、 k_d 的增量,即 Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 。这3个增量的变化比较小,需要的计算量较 k_p 、 k_i 、 k_d 明显减少。在模糊控制器之后有一保留器,其作用是保留的是上一次 k_p 、 k_i 、 k_d 的值 k'_p 、 k'_i 、 k'_d ,然后加上模糊控制器的输出值,再作用于控制对象,推理过程用计算机进行控制^[9]。总结一般过程中阶跃输入的响应情况,得到PID控制器在实际工作中通过 e 、 ec 时,推算出最优 k_p 、 k_i 和 k_d 的模糊控制规则。由PID参数的模糊矩阵表查出得修正参数代入式(2)~(4)计算,流程如图5所示。

$$k_p = k'_p + \Delta k_p \tag{2}$$

$$k_i = k'_i + \Delta k_i \tag{3}$$

$$k_d = k'_d + \Delta k_d \tag{4}$$

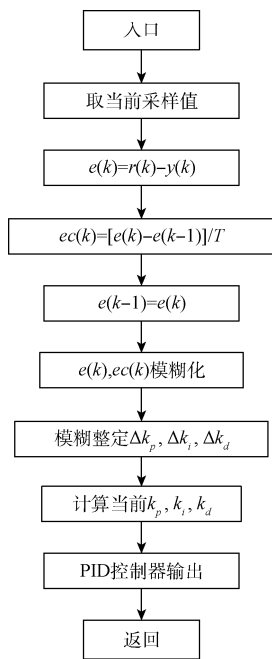


图5 PID参数在线自校正工作流程

5 集装箱温度控制系统的模糊PID控制仿真

该集装箱温度控制器设计为两输入三输出,根据集装箱控制器的调温范围为 $-30\text{ }^\circ\text{C} \sim 30\text{ }^\circ\text{C}$,所以设 e 的基本论域为 $[-60, +60]$,按照实际的温度误差变化情况,选择 ec 的基本论域为 $[-1.5, +1.5]$, Δk_p 、 Δk_i 、 Δk_d 的基本论域分别为 $[-6, +6]$, $[-0.05, +0.05]$, $[-10, +10]$ 。将系统的输入变量和输出变量模糊集统一取做 $\{PB, PM, PS, ZE, NS, NM, NB\}$,量化论域取做 $\{-6, -5, -4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4, 5, 6\}$,则量化因子^[10] $K_e = 0.1$, $K_{ec} =$

0.1,比例因子分别为1、0.008、1.67。本文采用MATLAB工具箱^[10]设计出模糊PID温度控制器,并在Simulink环境下搭建出集装箱温度控制系统的仿真结构图,如图6所示。

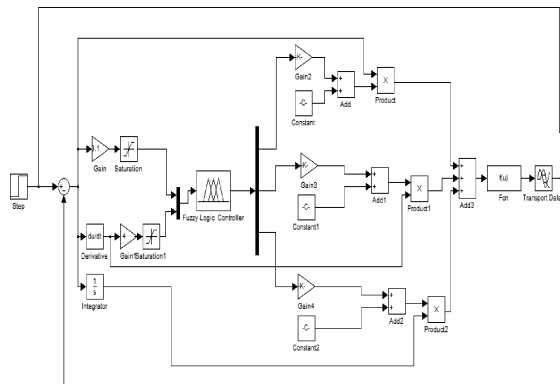


图6 集装箱温度控制模糊PID控制仿真结构

为了验证本文所设计的温度控制器,设置初始温度为 $0\text{ }^\circ\text{C}$,分别在 $25\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-15\text{ }^\circ\text{C}$ 、 $-25\text{ }^\circ\text{C}$ 三个条件下进行系统仿真,如图7~9所示。

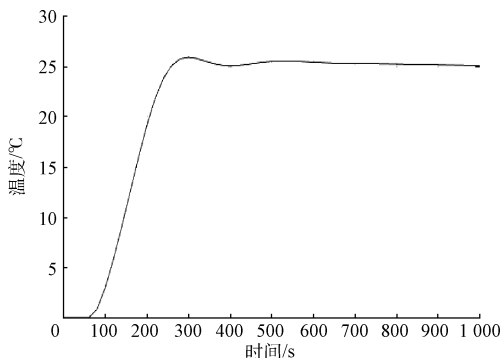


图7 0~25℃模糊PID控制器仿真结果

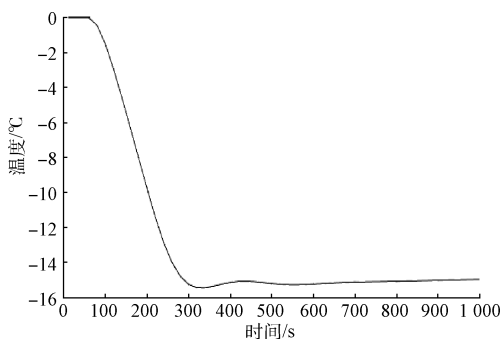


图8 0~-15℃模糊PID控制器仿真结果

通过对比分析所得到的仿真图像,可以看出本文所设计的控制器响应时间短、超调量小,能够在一定程度上克服系统振荡,使系统的各方面性能更稳定,达到了对于该模糊PID控制器的预定期望要求。

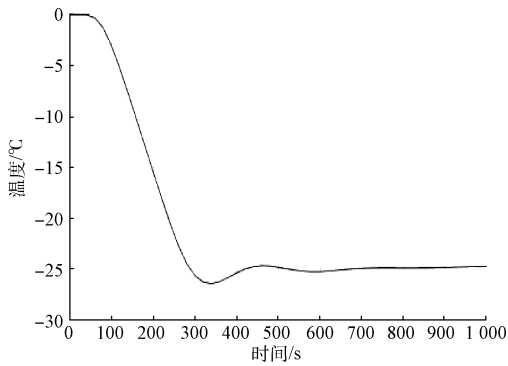


图 9 0~-25 °C 模糊 PID 控制器仿真结果

6 结 论

本文主要介绍了基于集装箱温度控制系统的自适应 PID 控制器。在整个 PID 控制器的设计过程中,重点介绍了参数整定的原理与规则,以及隶属函数的建立过程,并将各个模糊量之间的关系,通过函数关系表达式来表示出来。最后对于控制策略的流程进行了说明介绍,通过 PID 参数在线自校正工作流程图可以很清晰表现出整个模糊控制的全过程。最终通过将模糊 PID 控制算法与集装箱温度控制结合起来,在 MATLAB/Simulink 环境下建立仿真模型进行仿真。通过仿真结果可以看出,本文所研究设计的集装箱智能温度控制器控制效果明显、响应速度快、稳定性好。

参 考 文 献

- [1] GILKRE C, LIU H, XU J H. Research of hybrid fuzzy-PID control technology based on the temperature and humidity control [J]. International

Symposium on Computational Intelligence and Design, 2008.

- [2] 饶中浩. 冷藏集装箱及其节能关键技术研究进展[C]. 第六届全国食品冷链大会, 2008.
- [3] 朱建明. 冷藏货物集装箱运输的发展情况[J]. 科技信息, 2012, 31(7): 349-350.
- [4] 姜忠良, 陈秀云. 温度的测量与控制[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [5] 刘坤, 方芳, 王伟. 基于 MATLAB/RTW 的通信模块的设计与实现 [J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(2): 296-301.
- [6] 赵梅, 胡宏平. 基于 ARM 的嵌入式系统在温控仪表中的应用[J]. 自动化仪表, 2007, 28(11): 32-33.
- [7] LIU H, XU J H. Research of hybrid fuzzy-PID control technology based on the temperature and humidity control [C]. International Symposium on Computational Intelligence and Design, 2008.
- [8] 黄强, 滕召胜, 唐享, 等. 电子分析天平温度漂移补偿算法研究 [J]. 仪器仪表学报, 2015, 36(9): 1987-1995.
- [9] 贾森, 王新华, 龚华军, 等. 基于模糊 PID 的直升机增稳控制系统设计与实现 [J]. 电子测量技术, 2015, 38(11): 70-73.
- [10] 张峰. 智能 PID 温度控制技术研究及应用[D]. 南京: 南京工业大学, 2005.

作者简介

辛利斌, 1988 年出生, 硕士研究生, 主要研究方向为电力电子与电力传动。

E-mail: 923015589@qq.com