

基于模糊技术的温度控制系统研究^{*}

马永¹, 李刚²

(1 西北农林科技大学 信息工程学院, 陕西 杨凌 712100;

2 西安唐都科教仪器公司, 陕西 西安 710075)

[摘 要] 以模糊控制理论为基础, TDN-ACS+ 计算机控制技术试验系统为平台, 设计了一个基于模糊技术的计算机温度控制系统。该系统的核心模糊控制器, 是一个在试验基础上设计出的控制规则表, 其具有良好的控制效果, 使整个温度控制系统结构简单、性能优良、易于实现。通过与传统PD控制系统的试验比较, 采用模糊控制器的温度控制系统, 无论是在响应速度方面, 还是在鲁棒性方面, 均优于传统的控制系统。但由于模糊控制系统尚不具备自适应能力, 因此不宜用于被控对象和系统参数易发生变化的系统。

[关键词] 智能控制; 模糊控制; 计算机控制; 温度控制系统

[中图分类号] TP273⁺. 5

[文献标识码] A

[文章编号] 1671-9387(2005)10-0120-05

智能控制是一门新兴的理论和技術, 主要用来处理采用传统方法难以解决的复杂系统的控制问题。近十几年来, 国内外对智能控制的理论和应用研究十分活跃, 在理论方面提出了许多方法, 如模糊控制、神经网络控制、拟人智能控制和基因控制等^[1], 但目前主要的、较为成熟的智能控制方法, 仍是模糊控制。对于模糊控制系统, 其性能的优劣主要取决于模糊控制器的结构、所采用的模糊规则、合成推理算法以及模糊决策的方法等因素^[2]。本研究通过对一个基于双输入单输出模糊控制器的温度控制试验系统的设计与实现, 对模糊控制系统和模糊控制器进

行了分析、研究, 以期能使该技术在更多领域中获得应用。

1 模糊控制系统的组成

1.1 模糊控制系统的基本结构

本系统为采用模糊控制器的计算机控制系统, 其结构如图1所示^[1]。在本系统中, 模糊控制器采用了双输入单输出结构, 在控制过程中不仅对误差进行调节, 还对误差变化率进行调节, 可以很好地保证系统的稳定性。图中 e 为实际偏差, ec 为偏差的变化率, E 和 EC 为其对应的模糊化接口输出量。

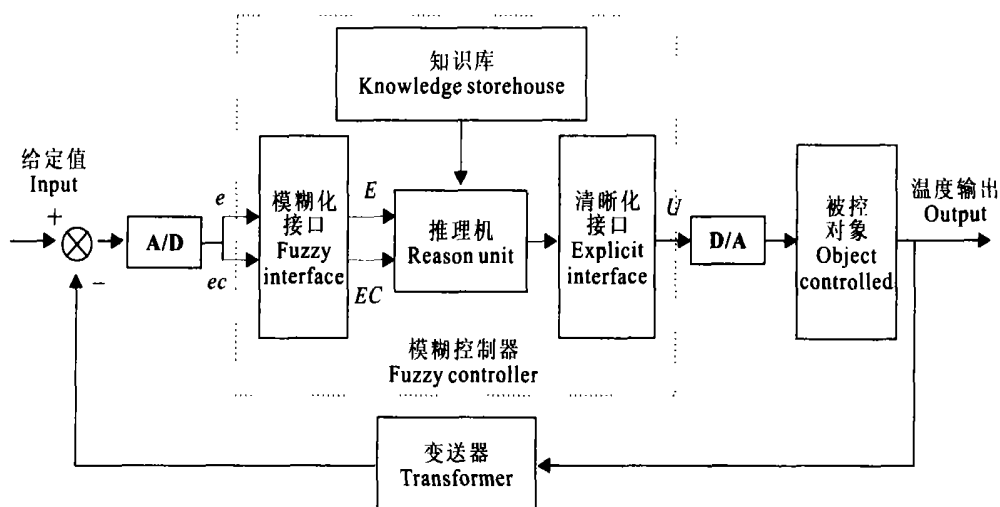


图1 模糊控制系统的结构

Fig 1 Fuzzy control system

[收稿日期] 2005-02-21

[作者简介] 马永(1947-), 男, 山东微山人, 副教授, 主要从事计算机应用研究。

1.2 模糊控制器设计

1.2.1 模糊化^[2,3] 设偏差 $e \in [-30, 230]$, 且取 $L = 5$, 则误差的比例因子 $\alpha_e = L / |e_{\max}| = 5/230$, 因而得:

$$E = \alpha_e \cdot e$$

采用就近取整原则, 得 E 的论域为:

$$E = \{-1, 0, +1, +2, +3, +4, +5\}$$

这里, 误差的语言变量在论域 E 中用 7 个模糊状态来描述, 即:

含义: 负小 零 正小 正中 正大 正大大 正大大大
符号: NS ZO PS PM PB PBB PBBS

设偏差变化率 $e_c \in [0, 9/s]$, 且 $m = 5$, 偏差变化率的比例因子 $\alpha_c = 5/9$, 这样就有:

$$EC = \alpha_c \cdot e_c$$

同样采用就近取整原则, 可得到 EC 的论域为:

$$EC = \{0, +1, +2, +3, +4, +5\}$$

用符号表示为: ZO, PS, PM, PB, PBB, PBBS。

与上述方法类似, 还可以得到输出量 U 的基本

论域为:

$$U = \{00H, 19H, 34H, 4dH, 66H, 7fH\}$$

用符号表示为: ZO, PS, PM, PB, PBB, PBBS。

在上述设计中应注意 α_e 和 α_c 的选择, 若 α_e 取值较大, 则系统响应较快, 但容易产生超调和振荡; 若 α_e 取值很小, 则系统响应变慢。与 α_e 相反, 若 α_c 值较大则系统响应变慢, 过渡过程时间加长; 而 α_c 取值过小, 又会产生较大的超调和振荡^[2]。

1.2.2 模糊控制表 在模糊控制系统中, 为了便于实现计算机实时控制, 可事先将各种偏差和偏差变化率对应的输出控制量设计成一个控制规则表。在系统工作过程中, 只需按输入的偏差 E 和偏差变化率 EC 查询模糊控制表, 就可得到清晰化的输出控制量 U 。在模糊控制器设计中, 被控对象不同, 控制规则表也不同。表 1 为本试验系统的模糊控制表, 系统工作在室温条件下, 被控对象为功率 400 W 的电烤箱。

表 1 模糊控制规则表(U)

Tabel 1 Fuzzy control rule

E	EC					
	ZO	PS	PM	PB	PBB	PBSB
NS	10H	10H	10H	00H	00H	00H
ZO	7fH	66H	34H	19H	00H	00H
PS	7fH	66H	4dH	19H	19H	19H
PM	7fH	66H	4dH	4dH	34H	34H
PB	7fH	66H	4dH	4dH	4dH	4dH
PBB	7fH	66H	66H	66H	66H	4dH
PBSB	7fH	7fH	7fH	7fH	7fH	7fH

控制规则表必须根据具体的被控对象和系统参数进行设计, 尽管本控制规则表是用于试验系统的, 但仍是经过反复试验与修改后才获得的。在设计控制规则表时, 表中的初始数据需要通过系统基本特性的分析和经验来确定。在做这张表时, 初始数据的确定依据主要有以下几点:

- (1) 误差值非常大时, 无论误差变化快或慢, 控制量都给最大值。
- (2) 误差值较大时, 总体控制量取较大值, 若误差正向变化较快, 则适当减小控制量; 若误差正向变化较慢或朝负向变化时, 则增大控制量。
- (3) 当误差较小时, 总体控制量取小值, 若误差正向变化较快, 则减小控制量; 若误差正向变化较慢或朝负向变化时, 则增大控制量。

模糊控制器是模糊控制系统的核心, 除了建立控制规则表外, 模糊化接口和清晰化接口, 即偏差 E , 偏差变化率 EC 和控制量 U 的论域, 均需要通过反复试验来确定, 这样才能找出各种量之间的关系和规律, 以确定较为合适的论域, 这些都是决定模糊控制器设计是否成功的关键。

1.3 系统的工作原理

本试验系统由 TDN-ACS+ 计算机控制技术试验系统、驱动单元电路、电烤箱和测温电路构成, 其工作原理如图 2 所示。TDN-ACS+ 试验系统通过 8255 并行接口的 PB10 口输出 PWM 脉冲信号, 经驱动电路放大后, 驱动固态继电器的吸合, 实现直流电压的脉冲宽度调制 (PWM)^[4], 调节加在电热元件上的电压, 从而控制电烤箱的温度。

测温电路采用了 $10\text{ k}\Omega$ 的热敏电阻, 通过其将被检测的温度变成相应的电压信号, 经 A/D 转换后反馈到系统输入端。由于热敏电阻是非线性元件, 输出的电压存在非线性问题, 因此可先通过试验将 A/D 转换值与对应的温度做成数据表, 用查表的方式来完成线性化处理^[5]。

在控制量计算过程中, 计算机先根据系统的给定值和反馈值计算出偏差值 e 和偏差变化率 ec ; 再经模糊化处理得到偏差 E 和偏差变化率 EC ; 最后查控制规则表, 得到对应的清晰化控制量 U 。根据 U 值即可产生相应的 PWM 脉冲信号, 控制烤箱的温度稳定在给定值。

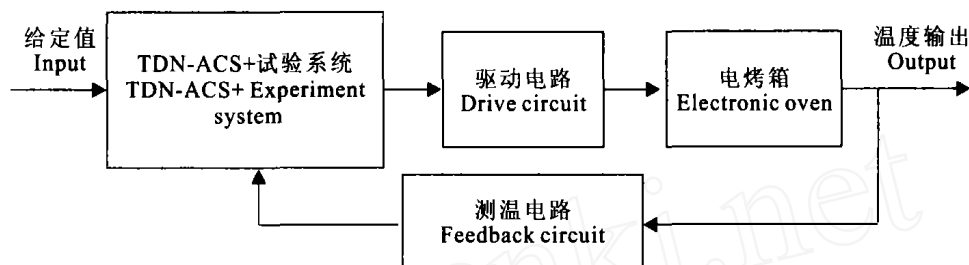


图2 试验系统的工作原理图

Fig 2 System principle

试验系统的接线如图3所示, 其中 OPCLK 为 $1.162\ 5\text{ MHz}$ 时钟信号, 经 8253 的 2 号通道分频输出

10 ms 的方波, 它既可作为 A/D 的启动信号, 又接入 8259 产生 IRQ 6 中断, 作为系统的采样时钟。

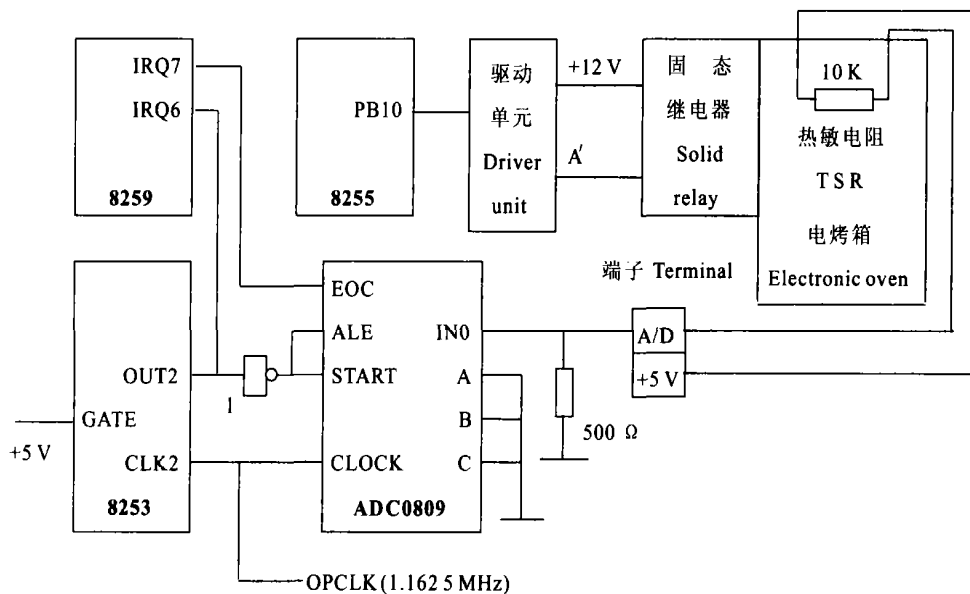


图3 试验系统的接线图

Fig 3 System connection circuit

系统的控制软件由主程序和中断子程序 IRQ 6, IRQ 7 等部分组成。其中, 主程序根据采样周期读取 A/D 转换值, 经计算、模糊化得偏差 E 和偏差变化率 EC , 再查模糊控制规则表, 获取控制量 U ; 中断子程序 IRQ 7 用于响应 A/D 转换完成后产生的中断, 读取采样值放入指定单元; 中断子程序 IRQ 6 控制采样计时, 每次中断响应都检测计时到否, 到则设置采样周期到标志, 否则计数器加 1。此外每次 IRQ 6 中断响应时, 还根据控制量 U 输出 1 个 PWM 脉冲。

2 系统性能的验证

本试验以功率为 400 W 的电烤箱作为被控对象, 在室温环境下进行。其中温度给定值为 100°C , 起始温度约 25°C 。为了验证该系统的控制效果, 在相同的试验条件下将其与数字 PD 控制系统进行了比较。TDN-ACS+ 试验系统的温度变化曲线见图 4。

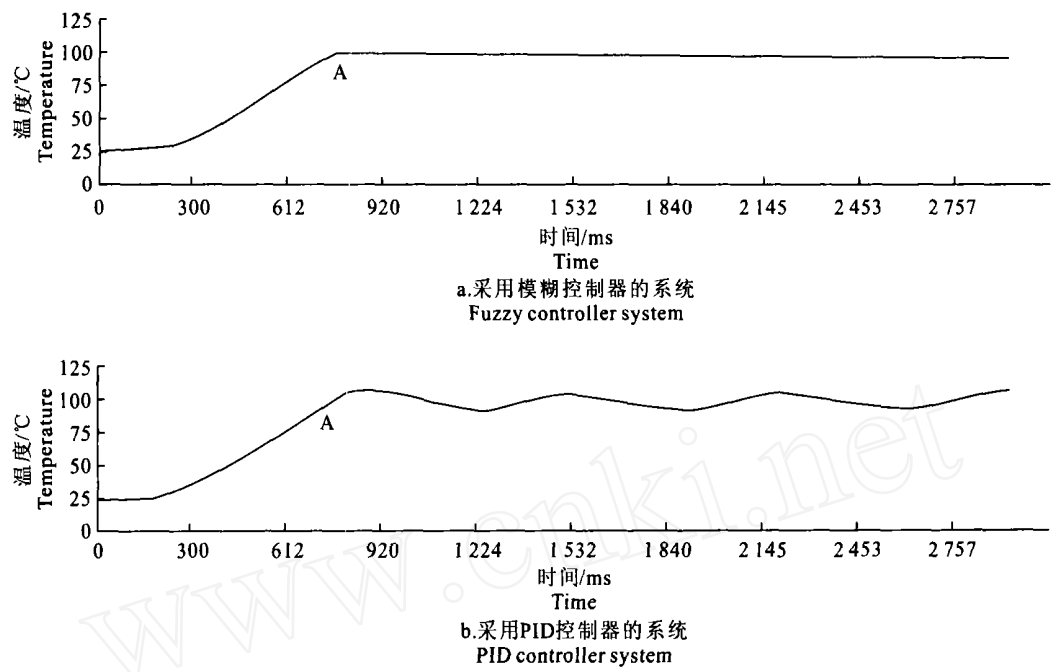


图 4 电烤箱的温度变化曲线

Fig 4 Fluctuation curve of electronic oven temperature

由图 4a 可以看出, 采用模糊控制器的控制系统不仅温度上升速度快(上升时间 $t_r \approx 765 \text{ ms}$), 而且温度变化平稳, 在温度上升的过程中几乎没有超调(最大超调量 $M_p \approx 0$)和振荡^[6], 与 PID 控制系统(图 4b)比较, 虽然 PID 控制系统温度上升时间与模糊控制系统基本相同, 但 PID 系统有较明显的超调量 ($M_p \approx 6\%$)和较多的振荡次数。

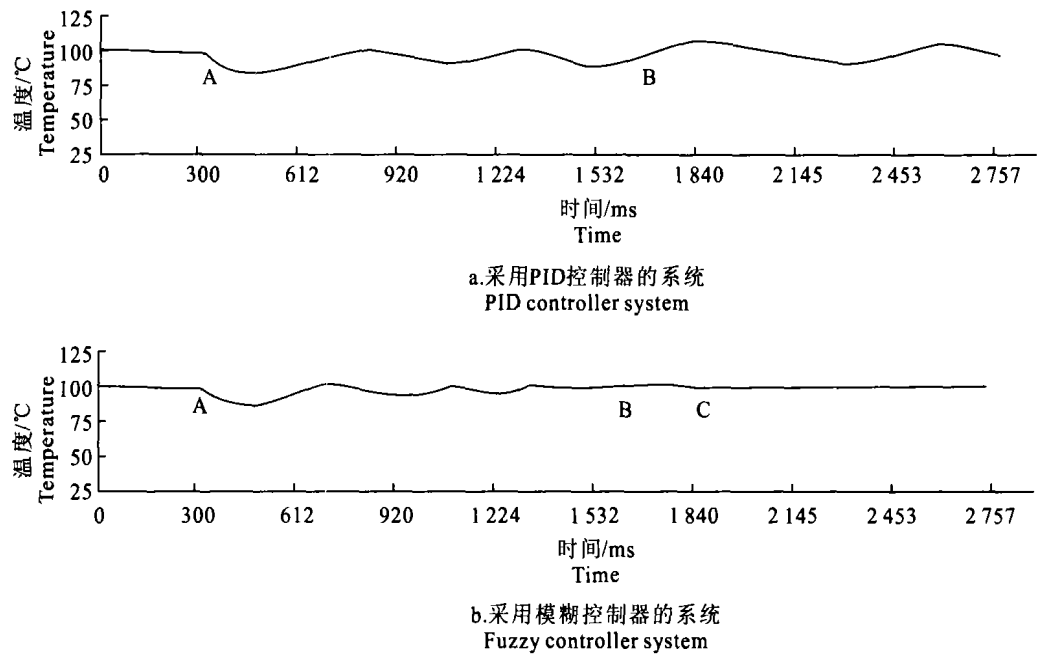


图 5 外界扰动对电烤箱温度的影响

Fig 5 Electronic oven temperature affected by environment disturbance

模糊控制技术属于智能控制的范畴, 系统一般具有很好的鲁棒性^[1]。当系统稳定时, 给系统突然加 1 个扰动量, 例如把电烤箱的箱门打开, 这样可以观察系统对环境干扰的敏感程度, 即系统的鲁棒性。图 5 是系统突然受到外界干扰时的温度变化曲线。在图 5 中, A 点为对应箱门被打开的时刻, B 点为对应

箱门被关上的时刻, C 点是系统趋于稳定的时刻。图 5a 显示的是 $P D$ 控制系统, 当箱门打开和关闭时, 箱内温度有较大波动, 并出现一定的振荡; 图 5b 显示的是模糊控制系统, 当箱门打开和关闭时, 箱内温度只有很小的波动, 并且很快恢复到稳态值, 系统几乎没有振荡。

综上所述, 采用一个设计合理、性能良好的模糊控制器, 较采用传统的 $P D$ 控制器获得的控制效果更好。该控制器不仅使控制系统具有很好的动态特性, 而且具有很好的鲁棒性和抗干扰能力。

3 结 论

通过上述分析可以看出, 具有智能控制特点的

模糊控制系统具有以下特点: 模糊控制器结构简单、容易实现, 但控制规则表设计是系统控制性能优劣的关键。具有良好的控制性能。对比试验表明, 作为智能控制的模糊控制系统无论是在响应速度方面, 还是在鲁棒性方面, 都优于传统控制系统。由于模糊控制器不具备自学习能力, 其控制规则表只适用于 1 个固定的被控对象。如果被控对象或系统参数因为某种原因发生改变, 原来的控制规则表则不再适用, 需重新设计, 因此其不具备自适应能力^[7], 不宜用于被控对象和系统参数容易发生变化的系统。

[参考文献]

- [1] 曹承志 微型计算机控制新技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.
- [2] 于海生, 潘松峰, 于培仁, 等. 微型计算机控制技术[M]. 北京: 清华大学出版社, 1999 129- 138
- [3] 张国良, 曾 静, 柯熙政, 等. 模糊控制及其MATLAB 应用[M]. 西安: 西安交通大学出版社, 2002
- [4] 赖寿宏 微型计算机控制技术[M]. 北京: 机械工业出版社, 1996 183- 184
- [5] 薛弘晔 计算机控制技术[M]. 西安: 西安电子科技大学出版社, 2003 101- 102
- [6] 邹伯敏 自动控制理论[M]. 北京: 机械工业出版社, 2002 51- 54
- [7] 陶永华, 尹怡欣, 葛芦生. 新型 $P D$ 控制及其应用[M]. 北京: 机械工业出版社, 2001.

Research on temperature control system based on fuzzy technology

MA Yong¹, LI Gang²

(1 College of Information Engineering, Northwest A & F University, Yangling, Shaanxi 712100, China;
2 Xi'an Tangdu Science & Education Apparatus Company, Xi'an, Shaanxi 710075, China)

Abstract: Based on fuzzy control theory and the computer control technology of TDN-ACS+ experimental system, a computer control system of fuzzy technology was designed. As the core of system, the fuzzy controller designed by fuzzy rules table simplifies the system and performs well. Compared with traditional $P D$, temperature control system regulated by fuzzy controller is better than traditional control system in both the velocity response and credibility. Nevertheless fuzzy control have no capacity of adaptation, so it can't be applied on the occasion of changeable parameter of controlled object.

Key words: intelligence control; fuzzy control; computer control; temperature control system