

# 一种基于模糊控制的温度控制系统设计

黎惠成<sup>1</sup>, 曾碧<sup>1</sup>, 吴清泉<sup>1</sup>, 李愿<sup>2</sup>

(1. 广东工业大学 计算机学院, 广东 广州 510090;

2. 湖北工业大学 计算机学院, 湖北 武汉 430064)

**摘要:**为提高工业上所需温度的控制精度,文中介绍了一种以STC89C52单片机为核心,采用模糊控制算法的温度控制系统,并对模糊控制思想,包括模糊控制的基本结构和参数设计,及系统的软、硬件设计进行了详细阐述。在该系统中,通过采用模糊控制算法对温度实现了很好的控制,并且该系统正处于实际工业电阻炉温度控制的应用和试行阶段,也达到了满意的控制效果。实践表明,模糊控制方法提高了控制的实时性稳定性和精确度,并且实现了操作过程的简化,对于工程实际应用具有较强的借鉴意义。

**关键词:**模糊控制;单片机;温度控制系统

中图分类号:TP302.1

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2009)12-0236-04

## Design of a Temperature Control System Based on Fuzzy Control

LI Hui-cheng<sup>1</sup>, ZENG Bi<sup>1</sup>, WU Qing-quan<sup>1</sup>, LI Yuan<sup>2</sup>

(1. College of Computer, Guangdong University of Technology, Guangzhou 510090, China

2. College of Computer, Hubei University of Technology, Wuhan 430064, China)

**Abstract:** For improving the temperature control precision as the industry requires, a temperature control system, which takes STC89C52 single-chip as the core and adopts fuzzy control algorithm, has been presented, and the thinking of fuzzy control including the basic structure and the design of parameters as well as the design of software and hardware for the said system being expounded in detail. Using the algorithm of fuzzy control in the system, the temperature was controlled in good state. At present, the system has been used in the phase of the application and the pilot of the resistance furnace temperature in the actual industrial, and satisfying results were achieved. Practice shows that fuzzy control method improves the real-time performance, stability and accuracy of controlling and makes the operation simplified. The use for reference of the method was obviously in industrial application.

**Key words:** fuzzy control; single-chip; temperature control system

## 0 引言

随着现代工业技术的发展,被控对象和生产过程日益复杂,系统的非线性、时滞性和环境的不稳定性导致难以建立精确的数学模型,这使传统控制技术受到了严峻的挑战,但却为模糊控制技术提供了广泛的发展应用空间。模糊控制技术的控制算法由控制规则和推理机构组成,能方便地描述控制操作人员的控制经验,不需要被控对象的数学模型,便可达到较好的控制效果,该技术在中国已广泛地用于家用电器、仪器和工业控制等领域,非常适用于温度控制系统。通过对模

糊控制理论的学习和研究,结合目前应用广泛的单片机,设计实现了模糊电阻炉的温度控制系统。

## 1 模糊控制系统的设计

### 1.1 模糊控制系统的基本结构

基于工业过程对电阻炉温度稳定性和精确度的要求,并考虑到系统的性价比,因此选择二维模糊控制器。典型的二维模糊控制器的设计通常包括以下四个步骤:

步骤1:模糊化,采用正态分布确定模糊变量的赋值表,将温度误差和误差变化量的精确量转化成模糊量。

步骤2:模糊推理,按照IF-THEN语言规则进行模糊推理,求出系统全部模糊关系所对应的控制规则并置于规则库。

步骤3:模糊判决,用最大隶属度法、加权平均判

收稿日期:2009-03-06;修回日期:2009-06-05

基金项目:广东省自然科学基金资助项目(05001801)

作者简介:黎惠成(1984-),男,硕士研究生,研究方向为计算智能、智能信息处理;曾碧,教授,硕士生导师,研究方向为计算智能、智能信息处理和智能机器人。

决法等方法得到控制参数的模糊量。

步骤 4:去模糊化,把模糊判决后的结果由模糊量转化成为可以用于实际控制的精确量。

将这样的模糊控制器应用于电阻炉温度控制系统中,形成一个闭环控制系统。计算机将采集到的温度与设定值相比较,得到温度误差  $e$ ,并通过微分环节得到温度误差的变化量  $ec$ 。并对  $e$  和  $ec$  这两组数据进行模糊化处理,确定其隶属度,从而得到模糊推理的输入量  $E$  和  $EC$ 。根据熟练工人的经验,离线制定控制量查询表。该表以 IF-THEN 的规则形式存储于规则库中,用于在系统运行期间模糊推理过程中进行查询。推理所得到的输出量用加权平均判决法进行模糊判决,从而得到相应的控制参数。对这一控制参数进行去模糊化的处理,从而得到用于实际控制的精确值,并用来对控制固态继电器开合的脉冲宽度进行调节,从而作用于被控对象(即电阻炉)的温度。这一温度同时又被温度检测通道加以采集,用以进行下一个周期的温度监测与控制<sup>[1]</sup>。该电阻炉温度模糊控制系统原理图如图 1 所示。

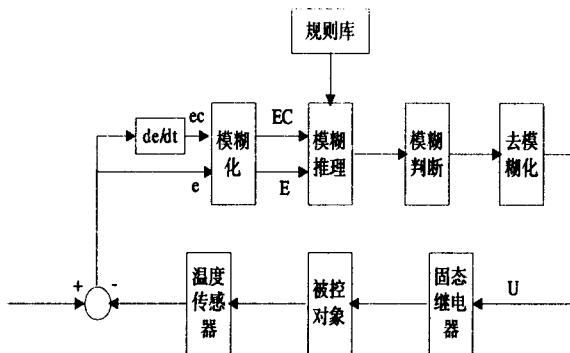


图 1 电阻炉温度模糊控制系统原理图

### 1.2 模糊控制系统参数设计

在单片机中对输入的模糊量进行模糊推理,须将所有描述控制过程的控制规则存储在单片机 EEPROM 中。把专家知识和现场经验转换为用语言表达的模糊控制规则,即设计控制规则库<sup>[2]</sup>。该系统中,温度误差  $E$ 、温度误差变化率  $EC$  和控制量的变化的模糊子集都分为五档,记为 NB(负大)、NS(负小)、Z(零)、PS(正小)、PB(正大)。设温度误差  $e$  的论域为  $\{-4, -3, -2, -1, 0, 1, 2, 3, 4\}$ ,温度误差的变化量  $ec$  的论域为  $\{-2, -1, 0, 1, 2\}$ ,输出控制量  $U$  的论域为  $\{-3, -2, -1, 0, 1, 2, 3\}$ 。

结合电阻炉加温操作经验及温度变量的特点,此温控系统的模糊控制规则表的设计原则,以温度误差为负的情况说明。当误差为负大时,若误差变化为负,表明此时误差有增大的趋势,为尽快消除已有的负大误差并抑制误差进一步增大,所以控制量的变化取正

大。当误差为负而误差变化为正时,系统本身已有减少误差的趋势,所以为尽快消除误差且又不超调,应取较小的控制量。故当误差为负大且误差变化为正小时,控制量的变化取为零。若误差变化为正大时,控制量不宜增加,否则将会造成较大的超调,出现正误差,因此这时的控制量变化取为负大。当误差为负小时,系统接近稳态。若误差变化为负时,选取控制量变化为正大,以抑制误差往负方向变化;若误差变化为正,系统本身有消除负小误差的趋势,选取控制量变化为负小即可。可见选取控制量变化的原则是:当误差大或较大时,选择控制量的大小以尽快消除误差为主;而当误差较小时,选择控制量要注意防止超调,以使系统稳定为主要出发点。因此总结出模糊控制规则表如表 1 所示。

表 1 模糊控制规则表

温度误差 E	温度误差变化量 EC				
	NB	NS	Z	PS	PB
NB	PB	PB	PS	Z	NB
NS	PB	PB	PS	NS	NB
Z	PB	PS	Z	NS	NB
PS	PB	PS	NS	NB	NB
PB	PB	Z	NS	NB	NB

根据表 1 的控制规则,按式(1)、(2)进行模糊推理:

$$\mu R_k(U) = \min\{\mu E_i(E), \mu E_{cj}(E_c), \mu U_k(U)\} \quad (1)$$

$$\mu R_k(U) = \max\{\mu R_k(U)\} \quad (2)$$

在推理得到的模糊集合中取一个能最佳代表这个模糊推理结果可能性的精确值的过程称非模糊化过程,采用加权平均判决法具有更平滑的输出推理控制,即对应于输入信号微小变化其推理的最终输出也会发生一定的变化且这种变化较平滑。

于是用式(3)的加权平均判决法,对每个模糊子集  $R$  进行清晰化,得出对应于每组  $E$ 、 $EC$  的  $U$ ,并对计算值进行圆整优化,从而得出模糊控制表如表 2。

$$U = \left[ \frac{\sum_{i=1}^k \mu(U_i) \times U_i}{\sum_{i=1}^k \mu(U_i)} \right] \quad (3)$$

表 2 模糊控制表

e	ec				
	-2	-1	0	1	2
-4	3	3	1	0	-3
-3	2	3	1	0	-2
-2	3	3	1	-1	-3
-1	2	2	0	-1	-2
0	3	1	0	-1	-3
1	2	1	0	-2	-2
2	3	1	-2	-2	-3
3	2	1	0	-2	-2
4	3	0	-2	-3	-3

## 2 系统的硬件设计

电阻炉温度控制系统是以 STC89C52 单片机为核心,采用模糊控制方法,使电阻炉温度得到较为理想的控制。该系统所要控制的电阻炉加热功率 1500W,温度范围为常温~400℃,使用电压范围 0~220V(AC),控制精度达到±2℃。系统硬件结构图如图 2 所示。

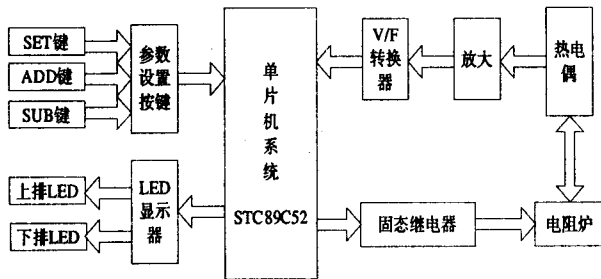


图 2 系统硬件结构图

整个系统由 5 部分组成,即由单片机 STC89C52 构成的单片机应用系统;由 K 型热电偶、运算放大电路和 V/F 电压频率转换器构成的温度检测通道;显示模块;设置温度设定值和系统功能参数的按键模块;由固态继电器构成的输出控制通道。当系统工作时,通过按键输入温度设定值,并在 LED 上显示,热电偶把温度转换成电压信号,通过 V/F 转换器把电压信号转换为一定频率的方波信号,然后利用单片机的两个 16 位定时/计数器进行数据处理,单片机计算出相应的温度后送由 LED 显示,同时与系统的温度设定值进行比较,按照模糊控制算法进行运算,通过输出 PWM 信号去控制固态继电器的导通时间,从而控制电阻炉的平均输入功率,实现电阻炉温度的控制。

### 2.1 单片机应用系统

在整个单片机控制系统中,CPU 既是运算处理中心,又是控制中心,是控制系统中最关键的器件<sup>[3]</sup>。该系统中选用与 MCS-51 系列兼容的 STC89C52 单片机,它是一种低功耗、高性能、CMOS 8 位微处理器。STC89C52 可构成真正的单片机最小应用系统,缩小系统体积,提高系统可靠性,降低系统成本<sup>[4]</sup>。

### 2.2 温度检测通道

该系统选用 K 型热电偶,V/F 电压频率转换器由 VFC32 芯片构成。通过热电偶把温度信号转换成电压信号输入到  $V_{IN}$  端<sup>[5]</sup>,经过 V/F 转换器处理后输出一定频率的方波信号。其输出电压频率转换公式如下: $f_{out} = V_{IN}/(7.5R_{IN}C)$ ,通过此公式计算出热电偶在不同温度时的电压值对应的频率值。计算出一定的对应值,得到对应表。

### 2.3 按键模块

为了实现温度设定值和系统功能参数的设置,该

系统用三个直接和控制器 I/O 口连接的按键来实现,分别代表功能键(SET 键)、加 1 键(ADD 键)和减 1 键(SUB 键)。

根据功能键 SET 被按下的时间长短,系统可以进入不同的工作模式<sup>[6]</sup>。例如,当功能键被按下的时间为 1 秒时,系统进入修改温度设定值模式,按加 1 键或减 1 键可以修改温度设定值;当功能键被按下的时间为 5 秒时,系统进入修改系统功能参数模式。不按功能键或修改模式返回时,系统进入正常工作模式。

### 2.4 显示模块

此系统采用 8 位 LED 数码管来显示温度<sup>[7]</sup>,上排和下排各 4 个,在系统正常工作模式下,上排 LED 显示实际测量温度值,下排 LED 显示温度设定值。

由于静态显示方式需要的元器件较多,体积大、功耗大、成本高,因此采用动态扫描方式。

### 2.5 输出通道

执行器件采用过零型固态继电器,它可以与 TTL 电平直接联结,省去了 D/A 转换器,仅用一个 I/O 口,通过软件支持,输出可以改变占空比的 PWM 波信号,就能改变固态继电器在一个模糊控制周期内的通断时间,从而达到调节温度的目的。

## 3 系统的软件设计

系统程序总体结构图如图 3 所示。系统程序结构

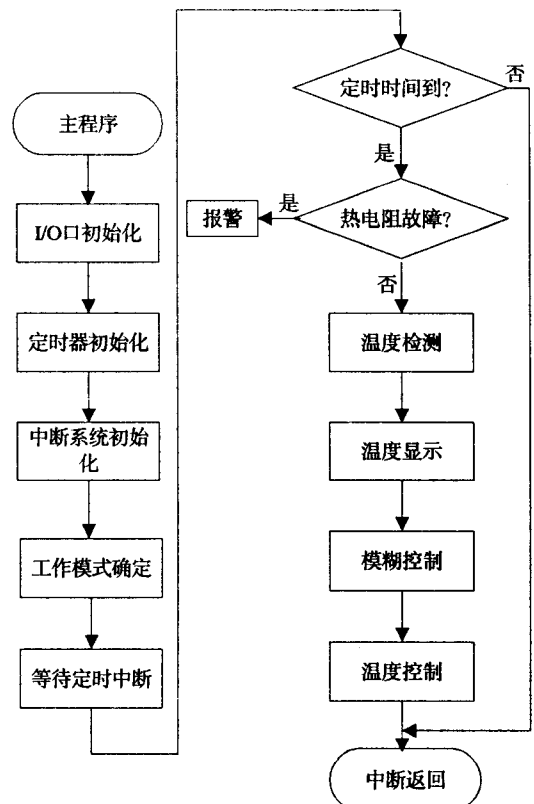


图 3 系统程序总体结构图

属中断方式,系统功能均在中断服务子程序中完成。主程序首先进行初始化,包括 I/O 口、定时器、中断系统的初始化<sup>[8]</sup>,然后判断功能键 SET 是否被按下以及按下的时间,确定系统工作模式,最后等待定时器中断。在定时器中断服务子程序中,完成检测温度,刷新显示温度,进行模糊控制并输出控制结果等功能,并对电路故障发出报警<sup>[9]</sup>。

#### 4 系统的测量结果

在此控制系统中,可以根据需要修改温度设定值,不同的温度设定值,其对应的温度测量值最后也会相应地稳定在某个范围内。

此系统取模糊控制周期为 6 秒,其温度测量值变化范围和温度设定值的关系如表 3 所示。在恒温阶段,控制精度达到  $\pm 2^{\circ}\text{C}$ 。

表 3 系统测量结果表

温度设定值	温度测量值范围
50 $^{\circ}\text{C}$	49 $^{\circ}\text{C}$ ~ 51 $^{\circ}\text{C}$
100 $^{\circ}\text{C}$	99 $^{\circ}\text{C}$ ~ 101 $^{\circ}\text{C}$
150 $^{\circ}\text{C}$	148 $^{\circ}\text{C}$ ~ 151 $^{\circ}\text{C}$
200 $^{\circ}\text{C}$	198 $^{\circ}\text{C}$ ~ 202 $^{\circ}\text{C}$
250 $^{\circ}\text{C}$	248 $^{\circ}\text{C}$ ~ 252 $^{\circ}\text{C}$
300 $^{\circ}\text{C}$	299 $^{\circ}\text{C}$ ~ 302 $^{\circ}\text{C}$
350 $^{\circ}\text{C}$	348 $^{\circ}\text{C}$ ~ 352 $^{\circ}\text{C}$
400 $^{\circ}\text{C}$	398 $^{\circ}\text{C}$ ~ 402 $^{\circ}\text{C}$

(上接第 235 页)

文中介绍的 Oracle 集成工具能够即席查询和在线报表,对提高口岸的服务水平,提高口岸效率,降低口岸运营成本具有积极意义,这也使得数据仓库技术首次应用于口岸物流就取得了比较好的效果。但口岸物流流程十分复杂,而且流程具有不确定性,要计算整个流程中各个阶段的时间效率需要对时间做大量的处理,而且有关时间的处理也是一件十分复杂的事情,因此口岸数据仓库的设计需要经过较长的时间才能慢慢完善,而且要达到智能管理系统的程度还有很多工作要去。

#### 参考文献:

- [1] 邢郁达. 港口生产数据仓库设计研究[D]. 大连:大连理工大学,2007.
- [2] Inmon W H. Building the Data Warehouse[M]. [s. l.]: John Wiley & Sons, Inc, 2003.

#### 5 结束语

文中介绍了用模糊控制的电阻炉温度控制系统,实践表明,模糊控制方法提高了控制的实时性、稳定性和精确度,并且实现了操作过程的简化。目前,该系统处于实际工业电阻炉温度控制的应用和试行阶段,取得了良好的效果。

#### 参考文献:

- [1] 刘喜梅,王波,于飞. 工业电炉温度的模糊控制系统设计[J]. 微计算机信息, 2007(25):73-75.
- [2] 李红岩,侯媛彬,王秀. 实现温度自动调节的模糊控制器设计[J]. 计算机技术与发展, 2006, 16(3):149-151.
- [3] 余永权,曾碧. 单片机模糊逻辑控制[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1995.
- [4] WU Zhiqiao, Mizumotom. PID-type Fuzzy Controller and Parameters Adaptive Method[J]. Fuzzy Set and Systems, 1996, 78(1):23-26.
- [5] King P J, Mamdani E H. The application of fuzzy control systems to industrial process[J]. Automatic, 1997(3):235-242.
- [6] 何立民. 单片机应用系统设计[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 1990.
- [7] 吴金戎,沈庆阳,郭庭吉. 8051 单片机实践与应用[M]. 北京:清华大学出版社, 2002.
- [8] Narendre K S, Muldaoppadhyay S. Adaptive control of non, near multivariable systems using neural networks[J]. Neural Networks, 1999, 7(5):737-752.
- [9] 赵世涛,马莉,王现君,等. 一种自适应的模糊关联规则挖掘算法[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(5):64-66.

- [3] 王珊. 数据仓库技术与联机分析处理[M]. 北京:科学出版社, 1998.
- [4] Kimball R, Reeves L, Ross M. The Data Warehouse Lifecycle Toolkit: Export Methods for Designing, Developing, and Deploying Data Warehouse[M]. 北京:电子工业出版社, 2003.
- [5] 黄玉明,毛宇光. 数据仓库中粒度划分的层次编码解决方案[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(10):1-4.
- [6] 周蓝桢,周肆清,杨炼. 数据仓库技术在医院病情诊疗分析中的应用研究[J]. 计算机技术与发展, 2008, 18(8):230-232.
- [7] 陈京民. 数据仓库与数据挖掘技术[M]. 北京:电子工业出版社, 2000.
- [8] 王秀娟,曹宝香. 基于面向对象原型法的 N 层数据仓库设计[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(1):117-120.
- [9] Oracle Database 11g for Data Warehousing and Business Intelligence[M]. Oracle white paper, 2007.