

实现温度自动调节的模糊控制器设计

李红岩^{1,2}, 侯媛彬², 王 秀¹

(1. 国家农业信息化工程技术研究中心, 北京 100089;

2. 西安科技大学 电气与控制工程学院, 陕西 西安 710054)

摘要: 为了实现工业上所需精度的温度检测与控制, 以 MSP430F149 单片机为核心, 设计一种实现温度自动调节的温度控制器, 给出控制器的硬件结构框架与软件设计方案。着重介绍了模糊控制器的设计方法。通过该模糊控制算法, 温度可达到自动调节。实践证明该系统具有良好的稳定性。

关键词: 单片机; MSP430F149; 模糊控制; 温度传感器

中图分类号: TP216+.1

文献标识码: A

文章编号: 1005-3751(2006)03-0149-03

Design of Fuzzy Controller with Temperature Automatic Regulation

LI Hong-yan^{1,2}, HOU Yuan-bin², WANG Xiu¹

(1. National Eng. Research Center for Inf. Techn. in Agriculture, Beijing 100089, China;

2. Sch. of Electric and Control Eng., Xi'an Univ. of Sci. and Techn., Xi'an 710054, China)

Abstract: In order to realize the temperature's measure and control of the necessary precision on industry, based on MSP430F149 singlechip, the temperature controller of a kind of realization with automatic temperature was designed. It also provided the hardware structure frame of the controller and the plan of design of software. The fuzzy controller design method was emphatically introduced. Through this fuzzy controlling algorithms, temperature can reach automatically. Practice has proved that it should have a good stability systematically.

Key words: singlechip; MSP430F149; fuzzy control; temperature sensor

0 引言

模糊控制作为一种新的控制方法, 比传统的 PID 等控制方法, 在强时变、大时滞、非线性系统中的控制效果有着明显的优势^[1]。将模糊控制技术应用到对温度的控制是越来越普遍的现象。而单片机是常用的控制器件, 把二者结合起来, 可以使控制器的性能指标达到最优。因此, 基于模糊控制技术的单片机控制的控温系统, 具有达到设定温度的时间短、稳态温度波动小、反应灵敏、抗干扰能力强等优点。

1 模糊控制介绍

模糊控制是一种新的控制方法, 在冶金、化工、电力和家电等工业部门都有比较成功的应用。模糊控制的最大作用是能将操作者或专家的控制经验和知识表示成语言变量描述的控制规则, 再用这些控制规则去控制系统^[1]。

1.1 模糊控制原理

一般的, 用模糊控制器对某一系统进行控制, 必须根

据输入的偏差及偏差变化率综合地进行权衡和判决。在对受控过程进行控制时, 测量或观测到的偏差值和偏差的变化速率是一些清晰的量, 经过模糊化以后得到偏差和偏差变化率所对应的某个模糊量的概念, 经过模糊决策后, 得到决策的控制输出模糊量。在用所得到的输出模糊量去执行具体的动作时, 必须将该模糊量进行反模糊化, 变成清晰量^[2]。其过程可以归结为: 将偏差 e 、偏差变化率 ec 的清晰量经模糊化得到对应的模糊量 E 和 EC , 将模糊近似推理分析得到的模糊控制量输出 U , 再经模糊决策判断, 得到清晰的控制量输出 u 去执行控制动作。具有上述功能的模糊控制系统方框图如图 1 所示。

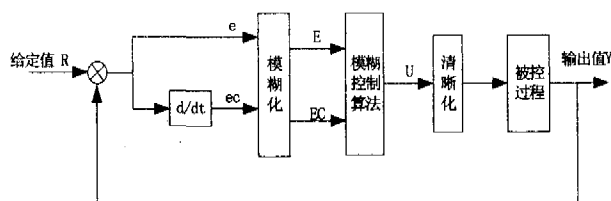


图1 模糊控制系统方框图

在图中, R 为设定值, y 为系统输出值, 它们都是清晰量。模糊控制器的输入量是系统的偏差 e 和系统的偏差变化率 ec , 它们也是确定的清晰量。通过模糊化处理, 用模糊语言变量 E 和 EC 来描述偏差和偏差变化率。模糊推理输出 U 是模糊变量, 在系统中实施控制时, 模糊量要

收稿日期: 2005-06-02

基金项目: 国家“八六三”计划资助项目(2003AA209080)

作者简介: 李红岩(1980—), 男, 山东东阿人, 硕士研究生, 研究领域为控制理论与控制工程、智能控制; 侯媛彬, 博士, 博士生导师, 研究领域为控制理论与控制工程、智能控制。

转化为清晰量,因此要进行清晰化处理,得到可操作的确定值 u ,这就是模糊控制器的输出值。

1.2 模糊控制器的组成

模糊控制器的基本组成如图 2 所示。

它包含有模糊化接口、规则库、模糊推理、清晰化接口等部分。输入变量是过程实测变量与系统设定值的差值。输出量是系统的实时控制修正变量。模糊控制的核心部分是包含语言规则的规则库和模糊推理。模糊推理就是一种模糊变换,它将输入变量模糊集变换为输出变量的模糊集,实现论域的转换。

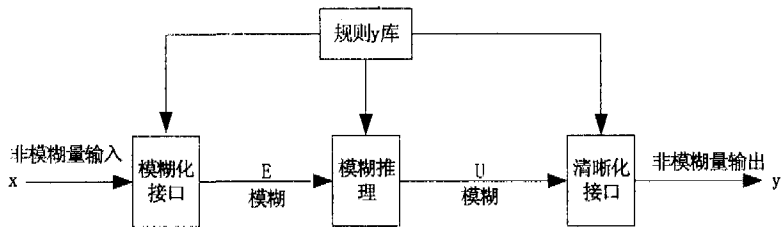


图 2 模糊控制器组成

2 系统设计

2.1 硬件设计

1) 硬件电路。

本温度自动调节器以单片机 MSP430F149 为核心,由温度检测电路、温度滤波电路等辅助模块构成。原理框图如图 3 所示^[3]。

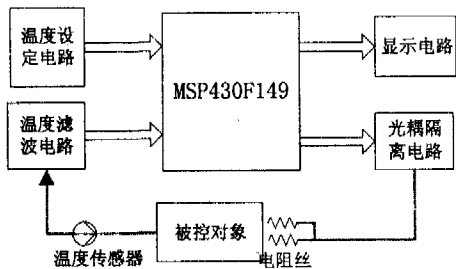


图 3 硬件电路原理框图

① MSP430F149 单片机。本温度调节器的核心部件,温度控制就是用它来控制软件实现的。它提供了丰富的资源,外围硬件扩展只需做很少的工作,不仅设计变得非常简单,而且该控制器体积小、可靠性高^[4]。

② 温度设定电路。通过按键输入到单片机来调节温度的设定值。

③ 显示电路。单片机通过动态扫描的方法将设定的温度值输出,数码管上可显示设定温度以及传感器所测量的温度。

④ 温度滤波电路。将传感器所测信号中无用的干扰信号滤去,使所测量的信号更准确。

⑤ 光耦隔离电路。通过光耦将加热强电电路与单片机隔离,可使单片机稳定工作。单片机的输出控制信号控制电热丝的断通,从而调节温度的大小。

2) 工作原理。

由热电偶、放大电路、V/F 转换电路和单片机所构成的采样电路每秒钟对温度值采样 1 次,MCU 先将采样到的频率信号转换成对应的毫伏信号,再应用牛顿插值法将毫伏信号转换成相应的温度值,最后调用模糊控制计算出相应的 PWM 控制输出量。温度传感器(热电偶)及有关电路将温度转化为电脉冲的脉宽,单片机将测得的脉冲宽度的值转化为与之对应的温度值^[5]。与设定的温度相比较后,以温度偏差及其变化量为输入、加热量(PWM 控制量)为输出,通过模糊控制算法,达到温度自动调节的目的。

2.2 模糊控制器设计

模糊控制器可按如下步骤设计。

1) 确定模糊控制器的输入、输出语言变量。

模糊控制器的输入语言变量可选为偏差 e 和偏差变化率 ec ,其中 $e = T_{\text{给定}} - T_{\text{测量}}$,输出为继电器的控制电压的变化量所对应的 PWM 值 u 。即模糊控制器为双输入单输出的模糊控制器^[6]。

2) 确定语言变量偏差 E 和误差变化率 EC 赋值表。

在本系统的设计中,偏差 e 的基本论域为 $[740^{\circ}\text{C}, 760^{\circ}\text{C}]$,选定 E 的离散论域 X 为 $\{-1.00, -0.66, -0.33, 0.00, +0.33, +0.66, +1.00\}$,则为 E 选取 7 个语言变量: $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$ 。偏差 ec 的基本论域为 $[-2^{\circ}\text{C}/\text{s}, +2^{\circ}\text{C}/\text{s}]$,选定 E 的离散论域 X 为 $\{-1.00, -0.66, -0.33, 0.00, +0.33, +0.66, +1.00\}$,则 $E = (T_{\text{测量}} - 750)/10$,为 EC 选取 7 个语言变量: $\{PB, PM, PS, ZO, NS, NM, NB\}$ 。

3) 确定模糊控制规则。

采用原有的控制规则,其表格如表 1 所示。

表 1 模糊控制规则表

U \ E	EC	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
PB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO	
PM	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	NS	
PS	PB	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	
ZO	PB	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	
NS	PM	PS	ZO	NS	NM	NB	NB	
NM	PS	ZO	NS	NM	NM	NB	NB	
NB	ZO	ZO	NS	NM	NM	NB	NB	

4) 生成模糊控制表。

经过模糊运算,最后生成的控制表如表 2 所示。

表 2 模糊控制表

0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00	0.00
0.00	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.00	0.00
0.00	1.00	1.00	0.66	0.66	0.33	0.00	-0.33
0.00	1.00	1.00	0.66	0.33	0.00	-0.33	-0.66
0.00	1.00	0.66	0.33	0.00	-0.33	-0.66	-1.00
0.00	0.66	0.33	0.00	-0.33	-0.66	-1.00	-1.00
0.00	0.33	0.00	-0.33	-0.66	-0.66	-1.00	-1.00
0.00	0.00	0.00	-0.33	-0.66	-0.66	-1.00	-1.00

5) 控制流程图。

控制程序流程图如图4所示。

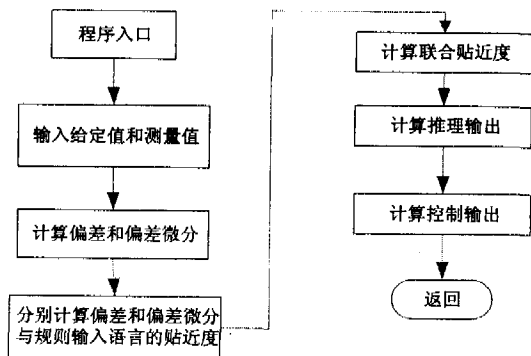


图4 控制程序流程图

根据流程图编写出程序,这里给出部分控制程序,具体程序略。

```

uint FuzzyCtrl (float temp)
{ float subjectionuee[8],subjectionuee[8],subjectiontab[8][8];
float fuzzyout, tempue, tempuee, ep; int ic,jc;
static float temp0=0.0, tempk=1.0, tmpout0=850.0, tempue0=0.0;
if (temp<740.0) //保证升温斜率为1;0~739;
{ fuzzyout=1; } //保证升温斜率为1,end;
else if (tempSRF==0) //740~760度时的温度模糊控制
{ tempSRF=0x5A;
tempk=1.0;
tempue=(750.0-temp)/10.0;
temp0=temp;
tempue0=tempue;
fuzzyout=0.0; tmpout0=1200.0; }
else if (tempSRF==0x5A) //设置控制标志字;
tempue=(750.0-temp)/20.0; //求偏差 740~760:0.5~-0.5;
temp0=temp; if (tempue>0.0125) // * * * 模糊自适应
{ tempk+=0.05; //小于749.75增大比例系数; }
else if (tempue<-0.0125)
{ tempk-=0.05; //大于750.25减小比例系数; }
if (tempk>1.6) { tempk=1.6; //比例系数上限; }
else if (tempk<0.8) { tempk=0.8; //比例系数下限; }
tempuee=(tempue-tempue0)*20.0; //求偏差变化率
if (tempuee<=-1.0) { tempuee=-1.0; } //钳位
else if (tempuee>=1.0) { tempuee=1.0; }
tempue0=tempue; //为下次计算 tempuee 作准备
tempue*=2.0; //740~760:1.0~-1.0;
if (tempue<=-1.0) { tempue=-1.0; }
else if (tempue>=1.0) { tempue=1.0; }
subjectionuee[1]=Subjection(0.66,1.0,1.5,tempue);
subjectionuee[2]=Subjection(0.33,0.66,1.0,tempue);
subjectionuee[3]=Subjection(0.0,0.33,0.66,tempue);
subjectionuee[4]=Subjection(-0.33,0.0,0.33,tempue);
subjectionuee[5]=Subjection(-0.66,-0.33,0.0,tempue);
subjectionuee[6]=Subjection(-1.0,-0.66,-0.33,tempue);
subjectionuee[7]=Subjection(-1.5,-1.0,-0.66,tempue);
;
subjectionuee[1]=Subjection(0.66,1.0,1.5,tempue);
subjectionuee[2]=Subjection(0.33,0.66,1.0,tempue);
subjectionuee[3]=Subjection(0.0,0.33,0.66,tempue);
subjectionuee[4]=Subjection(-0.33,0.0,0.33,tempue);
subjectionuee[5]=Subjection(-0.66,-0.33,0.0,tempue);
subjectionuee[6]=Subjection(-1.0,-0.66,-0.33,tempue);
subjectionuee[7]=Subjection(-1.5,-1.0,-0.66,tempue);
;
ep=0.0; fuzzyout=0.0;
for (ic=1;ic<=7;ic++) {for (jc=1;jc<=7;jc++)
{if(subjectionuee[ic]>subjectionuee[jc]) {subjectiontab[ic][jc]=subjectionuee[jc];}else {subjectiontab[ic][jc]=subjectionuee[ic];}
fuzzyout=fuzzyout+subjectiontab[ic][jc]*TempFuzzyCtrTab[ic][jc]; ep=ep+subjectiontab[ic][jc]; }
if (ep<=0.0) {ep=0.001; }
fuzzyout=fuzzyout/ep;
if (fuzzyout>1.0) {fuzzyout=1.0; }
if (fuzzyout<-1.0) {fuzzyout=-1.0; } fuzzyout*=tempk; }
fuzzyout*=10.0; tmpout0+=fuzzyout; //保存上一次输出
fuzzyout=tmpout0; fuzzyout*=35.0;
return ((uint)fuzzyout); //PWM 输出
}

```

```

subjectionuee[6]=Subjection(-1.0,-0.66,-0.33,tempue);
subjectionuee[7]=Subjection(-1.5,-1.0,-0.66,tempue);
;
subjectionuee[1]=Subjection(0.66,1.0,1.5,tempue);
subjectionuee[2]=Subjection(0.33,0.66,1.0,tempue);
subjectionuee[3]=Subjection(0.0,0.33,0.66,tempue);
subjectionuee[4]=Subjection(-0.33,0.0,0.33,tempue);
subjectionuee[5]=Subjection(-0.66,-0.33,0.0,tempue);
subjectionuee[6]=Subjection(-1.0,-0.66,-0.33,tempue);
subjectionuee[7]=Subjection(-1.5,-1.0,-0.66,tempue);
;
ep=0.0; fuzzyout=0.0;
for (ic=1;ic<=7;ic++) {for (jc=1;jc<=7;jc++)
{if(subjectionuee[ic]>subjectionuee[jc]) {subjectiontab[ic][jc]=subjectionuee[jc];}else {subjectiontab[ic][jc]=subjectionuee[ic];}
fuzzyout=fuzzyout+subjectiontab[ic][jc]*TempFuzzyCtrTab[ic][jc]; ep=ep+subjectiontab[ic][jc]; }
if (ep<=0.0) {ep=0.001; }
fuzzyout=fuzzyout/ep;
if (fuzzyout>1.0) {fuzzyout=1.0; }
if (fuzzyout<-1.0) {fuzzyout=-1.0; } fuzzyout*=tempk; }
fuzzyout*=10.0; tmpout0+=fuzzyout; //保存上一次输出
fuzzyout=tmpout0; fuzzyout*=35.0;
return ((uint)fuzzyout); //PWM 输出
}

```

程序调试成功后,烧写入单片机的 flash 中,就可上电自动运行,封装后可当作成品来使用。

3 结束语

基于模糊控制技术的单片机控制的控温系统,具有达到设定温度的时间短、稳态温度波动小、反应灵敏、抗干扰能力强等优点,且硬件简单、体积小,易于使用。经过现场应用实践,证明该系统具有良好的稳定性。

参考文献:

- [1] 诸静. 模糊控制原理与应用[M]. 北京:机械工业出版社, 2002.
- [2] 李士勇. 模糊控制·神经控制和智能控制论[M]. 哈尔滨:哈尔滨工业大学出版社, 1996.
- [3] 胡大可. MSP430 系列 FLASH 型超低功耗 16 位单片机[M]. 北京:北京航空航天大学出版社, 2001.
- [4] Texas Instruments Co. MSP430 Assembler, Linker, and Librarian Programming Guide[Z]. TX: Texas Instruments Corporation, 2000.
- [5] 雷建龙. 基于模糊控制的水温自动调节器[J]. 单片机及嵌入式系统应用, 2003(6):136-139.
- [6] 谢宋和, 甘勇. 单片机模糊控制系统设计与应用实例[M]. 北京:电子工业出版社, 1999. 120-145.