

智能温控表的设计

黄彩霞¹, 齐晶晶², 王立鑫²

(1. 河南科技大学 软件学院, 河南 洛阳 471003; 2. 河南科技大学 电气工程学院, 河南 洛阳 471003)

摘要: 介绍了一种智能温控表的设计方法、系统构成和软件设计; 该智能温控表以 STC12C5A60S2 单片机为核心, 采用高精度 PT1000 铂电阻作为温度传感器, 通过内置的 10 位 A/D 转换器采集到电压信号, 实现对当前的环境温度采集, 将目标温度值与实际温度值经过增量式 PID 运算得出相应控制量数据, 可使得控制的温度稳定在与目标温度误差 2℃ 以内, 控制精确高, 可靠性好; 另外该智能温控表还具有通用性强, 可方便连接控制多种加热设备、便于检测和修改的模块化编程、参数可调和使用灵活等优点。

关键词: 单片机; 铂电阻; PID; 温控

Design of Intelligent Temperature Control Meter

Huang Caixia¹, Qi Jingjing², Wang Lixin²

(1. Software College, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China;

2. Institute of Electrical Engineering, Henan University of Science & Technology, Luoyang 471003, China)

Abstract: This paper introduces a kind of intelligent temperature control meter design method, system structure and software design, the intelligent temperature control meter adopts the STC12C5A60S2 microcontroller as the core, uses the high precision PT1000 platinum resistance as temperature sensor, through the built-in 10 bit A/D converter to achieve collection to the voltage signal, comparing target temperature value and the actual the temperature value by the incremental PID arithmetic to get the corresponding control data, can make the temperature control in and the target temperature error within 2℃, the control precision is high, the reliability is good, in addition, the intelligent temperature control meter also has the advantages of strong versatility, convenient connection control many kinds of heating equipment, the modular programming, parameter detection and modification adjustable and flexible operation.

Keywords: single chip microcomputer; platinum resistance; PID; temperature control

0 引言

在自动控制领域中, 温度检测与控制占有很重要地位。温度测控系统在工农业生产、科学研究和在人们的生活领域, 也得到了广泛应用。因此, 温度传感器的应用数量居各种传感器之首, 能否成功地将温度控制在需要的范围内关系到整个工作的成败^[1-2]。由于控制对象的多样性和复杂性, 导致采用的温控手段也具有多样性。采用 PID 控制原理研制成适用于小型电加热器的温度控制器, 该控制器能够达到很好的控制效果^[3-4]。

1 系统整体设计

1.1 总体框图

图 1 为一个温控系统的基本框图, 其中包括温度传感器, MCU, 加热器等器件, 且各主要模块之间形成闭环, 能够实现实时温度采集与控制。由于温控技术已比较成熟, 温度控制器的各个环节都有多种方案可供选择, 要结合现实情况, 对不同模块的相关方案进行论证和分析, 得到适用的最佳方案。

1.2 方案论证

在温度传感器的选择上, 有 DS18B20、热电偶、铂电阻等, 由于本系统要求的测温范围为 -50~500℃, 故数字式温度传感器 DS18B20 测温范围太窄而无法满足要求, 其他的数

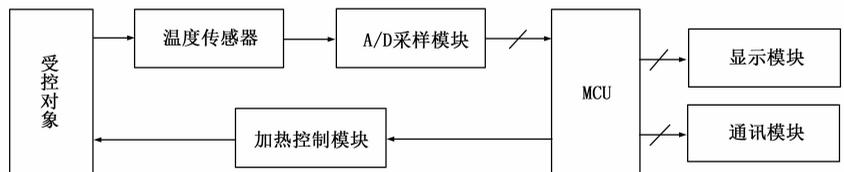


图 1 系统基本方案框图

字式温度传感器由于成本太高, 操作复杂等也不是最佳选择; 热电偶测温范围较宽, 但精度较低, 无法满足要求; 铂电阻 PT1000 从测温范围, 精度等方面均能满足要求, 本设计选用铂电阻 PT1000 作为温度传感器。

在显示模块的选择上, 鉴于显示温度值需要多个数码管, 操作复杂及工作不稳定, 而 LCD 串口传输需考虑时钟对速率的影响, 效率低而误差大, 故采用 LCD1602 并口传输方式。

在 A/D 转换模块的选择上, STC12C5A60S2 单片机内置 10 位 A/D 转换器, 且不用连接其他电路, 只需在程序中配置相应寄存器即可完成 A/D 转换; ADC0809 的分辨率则是 8 位, 还需接入 74LS373 等芯片, 使得电路较为复杂。因此无论从进度上还是易用性上都应该选择单片机内置 A/D 转换器。另外, 从成本上看, 一片 STC12C5A60S2 的价格为 6 元, 而一片 STC89C52 加 ADC0809 价格为 9 元, 使用 STC12C5A60S2 内置的 10 位 A/D 转换器是最佳选择。

1.3 详细方案

系统的详细框图如下图 2 所示, 其中 PT1000 温度传感器与烙铁头保持接触, 其阻值变化通过电阻桥及放大电路转换为电压信号, STC12C5A60S2 通过内置十位 A/D 转换器采集到电压值, 经过相关计算得到当前温度值送给 1602 显示, 同时将此

收稿日期: 2014-10-14; 修回日期: 2014-12-26。

基金项目: 河南省科技攻关项目(092102210400)。

作者简介: 黄彩霞(1977-), 女, 河南偃师人, 讲师, 硕士, 主要从事自动化控制和计算机图形与图像处理技术方向的研究。

温度值与按键输入的目标温度值进行比较和 PID 运算, 如果实际值高于目标值一定限度, LED 即会闪烁报警, PID 运算结果转化成相应数据控制继电器的开闭, 通过调节继电器通断电时间来达到控制温度的目的。另根据 PID 计算结果输出 PWM 波, 经 V/I 变换电路后转换为 4~20 mA 标准电流信号。

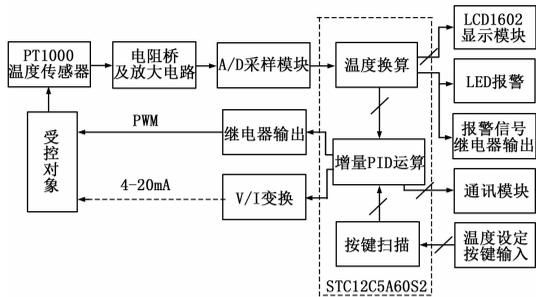


图 2 系统详细框图

2 关键模块设计

2.1 温度检测模块

如图 3 是用铂电阻做检测元件的桥式电路的差动放大电路, D1 为可控精密稳压源 TL431。其工作时 1, 3 脚电压为固定 2.5 V, 用两个电阻就可以得到所需要的 10 V 输出电压; J3 两端接 PT1000 铂电阻, 在 0 °C 时它的标称电阻为 1 kΩ, 因其阻值较大, 可忽略接线电阻的影响。本电路采用对称电桥, 即电桥四臂中有两个臂分别相同。这里取上臂 22 kΩ, 由于本设计所测温度范围为 -50~500 °C, 故下臂取铂电阻 -50 °C 的阻值, 即 800 Ω, 桥路的输出电压 e 可由下公式求得:

$$e = \frac{R4\Delta R * V_D}{(R4 + R5)(R4 + R0)}$$

式中, V_D 为桥路多加的电压, ΔR 为铂电阻阻值变化量。

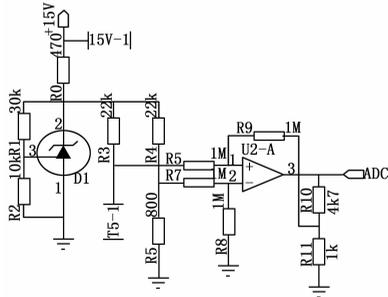


图 3 温度采集电路

通过代入相关参数求得桥路的灵敏度 (温度变化 1 °C 时, 相应桥路的输出电压的变化值) $e_0 = 1.583 \text{ MV}/\text{°C}$, 由被测温度变化范围为 -50~500 °C, 则桥路相应输出为 0~0.871 V。因此放大电路的最大增益:

$$A_{\max} = \frac{5V}{0.871V} = 5.74$$

分析原理图易知, 放大电路的增益表达式:

$$A = 1 + \frac{R10}{R11}$$

电路中取 $R10 = 4.7 \text{ k}$, $R11 = 1 \text{ k}$, 其理论增益为 5.7, 实际测得 $R10 = 4.74 \text{ k}$, $R11 = 1.03 \text{ k}$, 放大电路的实际增益为 5.6。

在软件方面, 系统根据硬件电路的相关参数进行精确计算, 同时采用了截尾平均值算法, 使得温度测量误差大大减小。部分代码如下:

```

for(i=0;i<8;i++)
{
    Read_init(7); //ADC 初始化,选择 ADC 通道 7
    ADC_Read (); //调用 ADC 转换程序
    Voltage[i] = (float)num * Vref/1024; //Vref 为参考电压,此
    处为 5V
    sum += Voltage[i];
    DELAY_MS(100);
}
buffer = sum - max(Voltage,8) - min(Voltage,8);
Temperature = (buffer * 1000.0/6.0/5.6/1.583) - 50;
    
```

系统每 100 ms 读取一次温度检测电路输出电压, sum 为取连续 8 次电压的累加值, 减去其中的一个最大值和最小值得到 buffer, 将 buffer 除以 6 得到电压平均值, 再除以电路放大倍数和桥路灵敏度得到相对于 -50 °C 的温度值, 再加上 -50 °C 即得到实际环境温度。

2.2 PID 运算模块

PID 的发展过程, 很大程度上是它的参数整定方法和参数自适应方法的研究过程。自 Ziegler 和 Nichols 提出 PID 参数整定方法起, 有许多技术已经被用于 PID 控制器的手动和自动整定。PID 控制是迄今为止最通用的控制方法。大多数反馈控制用该方法或其较小的变形来控制。PID 调节器及其改进型是在工业过程控制中最常见的控制器 (至今在全世界过程控制中用的 84% 仍是纯 PID 调节器, 若改进型包含在内则超过 90%)^[5-6]。

在计算机直接数字控制系统中, 控制器是通过计算机 PID 控制算法程序实现的。PID 计算机直接数字控制系统大多数是采样数据控制系统。进入计算机的连续时间信号, 必须经过采样和量化后, 变成数字量, 方能进入计算机的存储器 and 寄存器, 在数字计算机中, PID 控制规律的实现, 必须用数值逼近的方法。当采样周期相当短时, 用求和代替积分, 用差商代替微商, 使 PID 算法离散化, 将描述连续时间 PID 算法的微分方程, 变为描述离散时间 PID 算法的差分方程, 即为数字 PID 位置型控制算式, 如下公式:

$$u(k) = K_P[e(k) + \frac{T_s}{T_i} \sum_{i=0}^k e(i) + T_d \frac{e(k) + e(k-1)}{T_s}]$$

式中, $u(k)$ 为 k 采样周期时的输出, $e(k)$ 为 k 采样周期时的偏差, T_s 为采样周期。

$$K_I = K_P \cdot \frac{T_d}{T_i}$$

$$K_D = K_P \cdot \frac{T_d}{T_s}$$

即有

$$u(k) = K_P e(k) + K_I \sum_{i=0}^k e(i) + K_D [e(k) + e(k-1)]$$

其中: K_P 、 K_I 、 K_D 分别为比例、积分、微分系数。

由于增量式 PID 算法计算复杂, 占用内存较大, 应用不太方便, 如采用增量型 PID 控制算式则可以避免该项繁琐计算, 是比较适宜的。

$$\Delta u(k) = u(k) - u(k-1) = K_P [e(k) - e(k-1)] + K_I e(k) + K_D [e(k) - 2e(k-1) + e(k-2)] = K_P \Delta e(k) + K_I e(k) + K_D \Delta e(k)^2$$

而 $u(k)$ 可由如下地推算式获得

$$u(k) = \Delta u(k) + u(k-1)$$

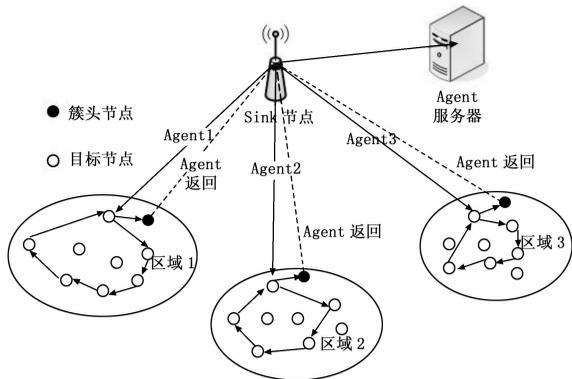


图 5 基于多 Agent 的无线传感器网络分层融合

簇成员节点级。根据应用需求，sink 节点为每一个监测区域派遣 Agent，Agent 根据事先规定好的迁移路径和迁移策略对监测区域内的传感器节点进行数据采集和融合。通过对网内所有节点的遍历，最终将最后的融合结果返回给 sink 节点，再有 sink 节点将所有 Agent 所收集的数据进行分析和处理。基于多 Agent 的无线传感器网络分层融合可以有效地缩小整个网络的数据融合时间和降低节点的能量消耗。

参考文献:

[1] Akyildiz L F, Weilian S, Sankarasubramaniam Y. Wireless Sensor Networks; A Survey [J]. Computer Networks, 2002, 38 (4): 393-422.

[2] 魏永红, 李科杰. 移动 agent 模式的无线传感器网络性能 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28 (4): 1490-1494.
 [3] 吴小兵, 陈贵海. 无线传感器网络中节点非均匀分布的能量空洞问题 [J]. 计算机学报, 2008, 31 (2): 253-261.
 [4] 王汝传. 无线传感器网络中间件技术 [M]. 北京: 科学出版社, 2011.
 [5] 党小超, 姚浩浩, 赫占军. 基于移动 Agent 的 WSN 多层分簇算法 [J]. 计算机工程, 2013, 39 (7): 142-147.
 [6] 陈秋红, 郭 猛. 基于 PSO-BP 的无线传感器网络数据融合算法研究 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (4): 1212-1214.
 [7] 刘述钢, 刘宏立. 无线传感器网络中能量有效的多层分簇算法 [J]. 计算机应用研究, 2011, 28 (6): 2257-2260.
 [8] 陶雪丽, 郑延斌. 多 Agent 层次任务分配方法 [J]. 计算机工程与设计, 2013, 34 (5): 1797-1801.
 [9] 杨晓飞, 吴晓蓓, 黄锦安. 无线传感器网络多代理平台中间件设计 [J]. 南京理工大学学报 (自然科学版), 2011, 35 (1): 11-15.
 [10] 任 宇, 张维勇, 金 麒. 基于移动 Agent 的无线传感器网络管理模型 [J]. 合肥工业大学学报 (自然科学版), 2009, 32 (1): 55-57.
 [11] Jiang L, Zhang R. An autonomous task allocation for multi-robot system [J]. Journal of Computation Information Systems, 2011, 7 (11): 3747-3753.
 [12] Tang S Y, Zhu Y F, LI Q, et al. Survey of task allocation in multi agent systems [J]. Systems Engineering and Electronics, 2010, 32 (10): 2154-2161.

(上接第 2593 页)

系统采用的增量式 PID 运算函数如下:

```
double PIDCalc( PID * pp,double NextPoint )
{
double dError,Error;
Error = pp->SetPoint - NextPoint; // 偏差
pp->SumError += Error; // 积分
dError = pp->LastError - pp->PrevError; // 当前微分
pp->PrevError = pp->LastError;
pp->LastError = Error;
return (pp->Proportion * Error // 比例项
+ pp->Integral * pp->SumError // 积分项
+ pp->Derivative * dError); // 微分项
}
```

3 系统调试

系统调试通常包括硬件调试、软件调试、总体测试等环节。首先要进行系统硬件各模块调试;调试成功以后,有了良好的硬件保证,开始进行软件调试,软件调试完成后将完整程序烧写至单片机中,系统上电后通过按键设置多个不同的目标温度值,观察实际控制效果。经过大量数据测试,系统稳定时的实际温度与设定值的误差均在 2℃之内,较好地完成了设计要求。部分数据如下:

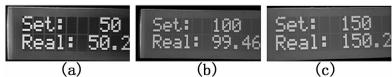


图 4 温控测试结果图

表 1 系统温控测试数据表

设定温度/℃	50	100	150
实际温度/℃	49.5~50.4	99.4~100.5	149.6~150.5

4 结束语

该智能温控表以 STC12C5A60S2 单片机为核心,通过温度检测电路,单片机通过内置的 10 位 A/D 转换器实现温度采集,采集的温度值与实际温度值误差基本在 1℃之内。系统的四位独立按键可以设定 0~500℃的目标温度范围,单片机将目标温度值与实际温度值经过增量式 PID 运算得出相应数据,据此数据来控制与加热器连接的继电器通断时间比,经过反复调节 PID 参数,最终可以使加热器的温度稳定在与目标温度误差 2℃以内,较好地完成了控制要求。

另外,由于时间,成本等原因,该智能温控表还有诸多待改进之处,如采用智能模糊控制,神经元控制等算法,减小系统温度惯性;用可控硅代替继电器作为控制器件减小对单片机的电磁干扰;在扩展性方面采用 485 总线与上位机通讯,采用 MODBUS 协议实现多点温度采集与控制等。

参考文献:

[1] 胡 朝. 基于单片机的温度控制系统的开发应用 [J]. 商场现代化, 2010 (14): 62-65.
 [2] 黄祯祥, 邓怀雄. 基于 MCS-51 单片机的温度控制系统 [J]. 现代电子技术, 2005 (6): 22-24.
 [3] 张开生, 郭国法. MCS-51 单片机温度控制系统的设计 [J]. 微机计算机信息, 2005 (7): 68-69.
 [4] 李晓妮. 单片机温度控制系统的设计 [J]. 九江学院学报 (自然科学版), 2005 (2): 20-23.
 [5] 龚红军. 单片机温度控制系统 [J]. 电气时代, 2002 (10): 17-18.
 [6] 马江涛. 单片机温度控制系统的设计及实现 [J]. 计算机测量与控制, 2004 (12): 1219-1229.