

一种恒温箱温度控制系统的设计与实现

郭琦¹, 杨江涛^{2,3}

(1. 中北大学 计算机与控制工程学院, 太原 030051; 2. 中北大学 电子测试技术国家重点实验室, 太原 030051;
3. 中北大学 仪器科学与动态测试教育部重点实验室, 太原 030051)

摘要: 设计了一种以单片机 STC89C52 为核心的恒温箱温度控制系统, 通过简单的人机交互界面, 用户可以自由输入所需要的恒温箱的温度范围; 重点阐述了系统的硬件构成、各部分的主要作用及系统软件的设计过程, 通过 DS18B20 数字温度传感器可以准确地测量当前的实时温度, 并将采集的温度值送给单片机进行处理; 系统的测温范围设定在 22~80℃, 性能测试结果表明: 该系统可以实现测温精度优于 ±0.05℃ 的控制要求, 具有 ±0.01℃ 的分辨率, 并且可以实现多点测温, 具有很强的抗干扰性; 实际应用表明, 该系统具有结构简单、控制精度高、可靠性好、性能稳定及通用性强等优点, 具有广泛的应用前景。

关键词: STC89C52; DS18B20 温度传感器; 温度控制; 恒温箱

Design and Implementation of a Temperature Control System for Thermostat

Wu Qi¹, Yang Jiangtao^{2,3}

(1. School of Computer Science and Control Engineering, North University of China, Taiyuan 030051, China;
2. Science and Technology on Electronic Test and Measurement Laboratory, North University of China,
Taiyuan 030051, China; 3. Key Laboratory of Instrumentation Science&-Dynamic Measurement of Ministry of
Education, North University of China, Taiyuan 030051, China)

Abstract: A temperature control system for thermostat is designed with STC89C52 as the controlling core. Through a simple human-computer interaction, the user can freely enter the temperature range of the desired thermostat. The hardware structure of the system, the main function, and the process of the system software design are expounded emphatically. By DS18B20 digital temperature sensor accurately measures the current real-time temperature, and the acquisition of temperature value is given to microcontroller for processing. Temperature control system test is set to 22~80℃, and performance test results show that the system can realize temperature control requirements of accuracy better than ±0.05℃, with a ±0.01℃ resolution and can achieve multi-point temperature measurement, even more it has a strong anti-interference. Practical application shows that this temperature control system has a simple structure, high control accuracy, high reliability, stable performance, and high universality, so it has the very broad application prospects.

Keywords: STC89C52; DS18B20 temperature sensor; temperature control; thermostat

0 引言

近年来, 随着现代工农业技术的发展及人们对生活环境要求的提高, 国内外对于测温系统的研究越来越深入, 恒温箱被广泛应用于医疗保健、智能家居、工农业生产、航天科研等领域。但随着对测温精度和温度分辨率要求的不断提高, 一般的恒温箱很难满足实际应用要求。随着单片机的飞速发展, 并且其具有体积小、方便灵活、性价比高等特点, 把单片机应用到温度控制系统中可以起到更好的控温作用^[1-2]。因此, 本设计采用单片机 STC89C52 作为主控制器, 通过数字温度传感器 DS18B20 测得箱内温度, 并将温度信号送入主控制器, 实现温度的实时自动控制。软件程序采用 C 语言编写, 可灵活改变温度的设定值。性能测试结果表明: 该系统可以实现测温精度优于 ±0.05℃ 的控制要求, 具有 ±0.01℃ 的温度分辨率, 并且可以实现多点测温, 具有明显的优越性及一定的应用推广

价值。

1 系统的基本原理及组成

1.1 恒温箱系统的基本原理

恒温箱温度控制系统的核心是单片机, 而单片机所处理的是数字信号, 所以在选择温度传感器时, 本文直接选用数字温度传感器, 省去模数 (A/D) 转换, 使采集温度更准确, 更接近实际温度^[3-4]。在使用该恒温箱的过程中, 首先通过键盘按键给恒温箱输入温度范围, 之后单片机读取温度传感器采集到温度值, 并且把采集到的实时温度与所设定的温度范围进行比较, 判断是否启动升降温装置。如果当前温度低于温度范围下限值时启动升温装置, 点亮红色发光二极管模拟加热升温过程; 如果当前温度高于温度范围上限值时启动降温装置, 点亮绿色发光二极管, 模拟冷却降温过程。在升降温装置工作过程中, 单片机 I/O 口输出低电平, 利用三极管驱动光耦合器件工作, 从而驱动继电器闭合, 点亮发光二极管, 这样做一方面可以利用光耦的电气隔离技术防止现场强电磁干扰或工频电压干扰通过输出通道影响单片机控制功能; 另一方面利用继电器作为开关元件保证安全。在整个温控过程中通过 LCD 液晶显示

收稿日期: 2014-03-31; 修回日期: 2014-04-20。

作者简介: 郭琦 (1989-), 女, 山西大同人, 硕士研究生, 主要从事计算机仿真与图形图像处理方向的研究。

屏显示当前实时温度与温度范围上下限等信息^[5-6]。恒温箱系统原理如图 1 所示。

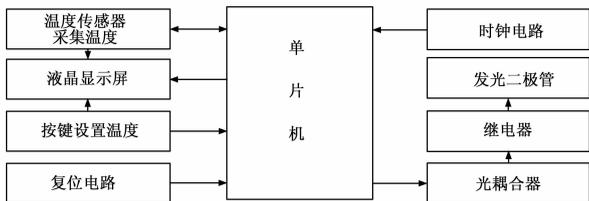


图 1 恒温箱系统基本原理框图

1.2 恒温箱系统的主要组成及功能

基本的组成部件包括：主控单元、温度传感器、输入输出设备及升温降温设备。本系统所设计的智能恒温箱，包括温度设定按钮、温度显示、温度调节、实时温度显示和预定温度显示转换按钮、温度采集等。显示系统除了显示实时的温度还能显示设定的温度上限和下限，即系统要求保持的温度范围。

2 硬件电路设计

本智能恒温箱系统的硬件设计主要包括 4 个模块，分别是：1) 主控 CPU 模块；2) 温度采集模块；3) 人机对话模块；4) 升降温控制模块。

2.1 主控 CPU 模块

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，是控制系统最关键的器件。系统设计选用单片机 STC89C52 作为主控制器，其内部有 8 KB 的 Flash 存储器和 512 B 的数据存储器，允许在线编程，可反复擦写，不需要扩展芯片。在用单片机 STC89C52 设计系统时，首先要构成一个最小系统，单片机才能正常工作，即将单片机接上时钟（晶振）电路和复位电路^[7]。

2.2 温度采集模块

本设计中采用的新型数字温度传感器 DS18B20 是支持“一线总线”接口的温度传感器，12 bit 精度的最大转换时间为 750 ms，DS18B20 的测量范围从 -55~+125 ℃，分辨率为 0.062 5 ℃^[8]，实验测试选取的温度范围为：22~80 ℃。温度传感电路如图 2 所示。

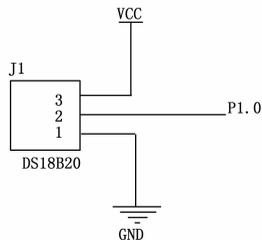


图 2 温度传感电路图

DS18B20 可以根据实际要求，通过简单的编程实现 9~12 bit 数字值读数方式，为了提高精度采用 12 bit。在采用 12 bit 转换精度时，温度寄存器里的值是以 0.062 5 为步进的，即温度值为温度寄存器里的二进制值乘以 0.062 5，就是实际的二进制温度值^[9]。采用 2 位显示小数，可以精确

到±0.05 ℃。

2.3 人机对话模块

在本系统的设计中采用 4 个按键进行温度的设定，其硬件连接如图 3 所示。

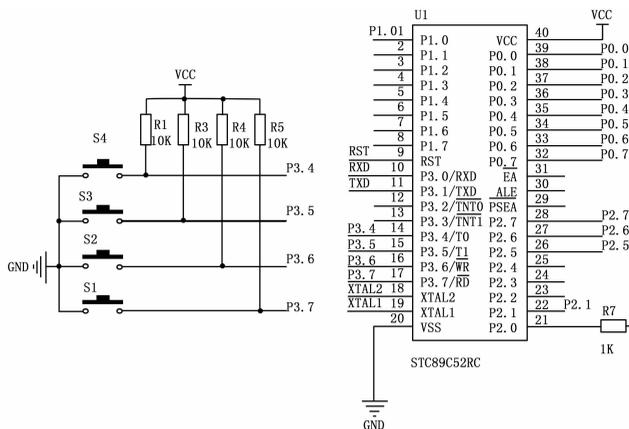


图 3 键盘与单片机接口电路

从图 3 可以看出，当按下任意按键时，就有一个低电平信号给到单片机上，单片机通过不断地扫描，通过软件编译每个按键的功能，其中 S3、S2 功能为加、减；S4、S1 为设置按键。

在本系统设计中选用 LCD1602 作为显示部分的器件，它是一种专门用来显示字母、数字、符号等的点阵型液晶模块。在单片机系统中应用液晶显示器作为输出器件有以下几个优点：显示质量高、数字式接口、体积小、重量轻、功耗低等^[10]。

2.4 升降温控制模块

升降温控制模块作为恒温箱控制系统的重要组成部分，主要的功能是根据单片机发出的指令来开启或关闭升降温装置，以保证恒温箱系统内部的温度维持恒温。考虑到在实际应用中，大型的升降温装置的驱动电压和电流大多是高电压和大电流，本设计所选用的单片机的上电电压在 5 V 左右，为了防止现场强电磁干扰或工频电压干扰通过输出通道进入控制系统，必须采用电器上的隔离，一般选用光耦合器作为隔离装置；同时为了保证安全与方便，选用继电器作为开关元件，这样就由光耦合器、继电器、发光二极管以及其他必要的元件组成模拟升降温装置，电路图如图 4 所示。

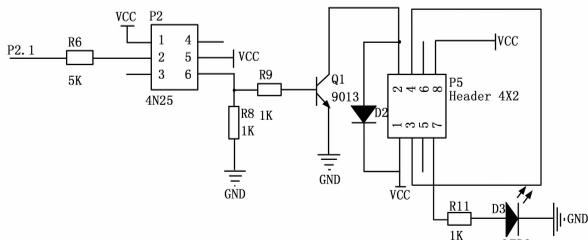


图 4 升降温装置图

3 软件设计

在本恒温箱温度控制系统中，软件编写是在硬件设计的基

础上对其进行合理地调配和使用, 从而完成应用系统所要完成的任务。本文主要采用 C 语言对硬件电路进行编译, 使指令更加简洁, 执行速度更快。

3.1 系统整体软件设计流程

软件设计整体流程如图 5 所示。

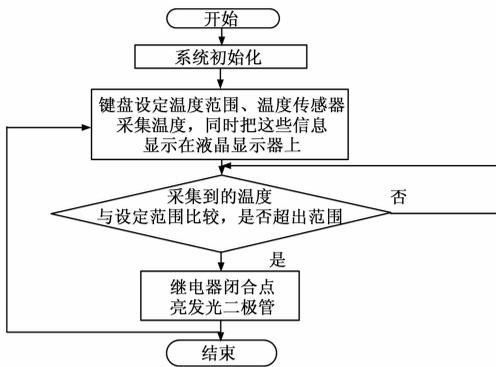


图 5 软件设计整体流程图

在本系统软件程序设计中, 由系统初始化、按键设定温度范围、温度传感器采集温度、温度比较控制模块及液晶显示模块 5 大部分组成。系统上电之后, 首先进入系统初始化、温度传感器初始化、液晶显示屏初始化等; 初始化成功后会通过按键进行温度范围设定, 并把当前采集的实时温度和温度范围显示到液晶显示屏上, 之后控制模块就会把当前采集的温度与温度范围进行比较, 判断当前温度是否超出所设定的温度范围, 从而确定是否打开继电器来启动升降温装置。整个过程中液晶显示屏都会显示实时温度和温度范围的上下限。

3.2 系统的初始化

系统的初始化主要是指在给单片机上电复位的过程时, 系统完成对温度传感器、液晶显示屏的初始化, 保证后续过程中采集温度和显示温度的准确性。

3.3 按键设置温度设计

在该恒温箱控制系统设计中采用 4 个按键来完成对温度范围的设置, 他们分别接到单片机的 P3.4~P3.7 口。核心程序如下:

```

sbit S1_SETL=P3^4; //定义按键“设置温度上限”
sbit S2_UP=P3^5; //定义按键“增加”
sbit S3_DOWN=P3^6; //定义按键“减少”
sbit S4_SETH=P3^7; //定义按键“设置温度下限”
  
```

当系统初始化之后, 系统会对键盘进行扫描检测, 检测到 S1_SETL 为低电平时进入设置温度下限过程, 检测到 S4_SETH 为低电平时进入设置温度上限过程; S3_DOWN 为低电平时温度减一, S2_UP 为低电平时温度加一。

3.4 温度传感器采集温度设计

DS18B20 数字温度传感器采用单总线与单片机通信, 其接口定义在 P1.0 口。首先 DS18B20 初始化, 复位 DS18B20, 然后单片机等待 DS18B20 的应答脉冲。一旦单片机检测到应答脉冲, 便发起跳过 ROM 匹配操作命令。成功执行了 ROM 操作命令后, 就可以使用内存操作命令, 启动温度转换, 延时一段时间后, 等待温度转换完成。再发起跳过 ROM 匹配操作

命令, 然后读取暂存器, 将转换结果读出, 并转为显示码, 送到液晶显示。

3.5 温度控制模块设计

在本系统设计中温度控制模块起到非常关键的作用, 负责维持环境温度在合理范围内。在单片机上电初始化之后, 首先开始对按键进行扫描, 等待用户按键输入温度范围, 如果没有输入温度范围, 就执行系统默认的温度范围值。之后, 单片机发出指令给温度传感器, 读取温度传感器所采集的温度值, 与设定的温度范围值进行比较, 根据比较的结果来控制单片机的 P2.0、P2.1 口输出值, 其中 P2.0 控制升温装置, P2.1 控制降温装置, 如果当前温度超出温度范围值, 就通过相应的 I/O 口 P2.0、P2.1 输出低电平, 触发连接的外部光耦合器来启动继电器开关, 点亮发光二极管, 模拟加热或者冷却装置。温度控制过程流程图如图 6 所示。

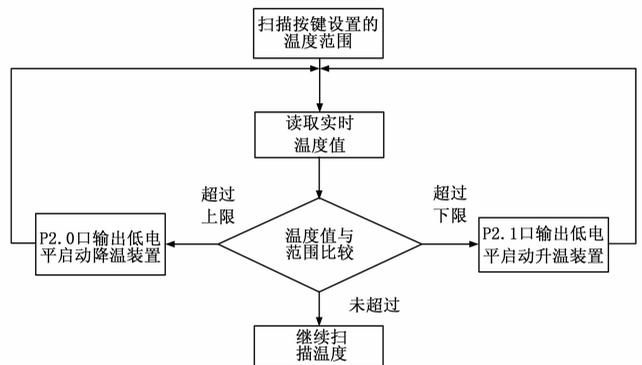


图 6 温度控制过程流程图

3.6 液晶显示屏显示温度设计

液晶显示屏在单片机进行上电复位时或者是手动按键复位时都会经历初始化, 初始化后开始进行显示。液晶显示过程为: 1) 开始; 2) LCD 初始化; 3) 设置第一行显示位置; 4) 显示第一行内容; 5) 设置第二行显示位置; 6) 显示第二行内容。

4 性能测试分析

针对整个设计方案的设计与恒温箱温度控制系统的性能, 对该系统进行性能测试。使用精度为 0.01 °C 的标准温度计作为标准来标定, 经过多次设置不同的温度, 实验记录数据如表 1 所示。

表 1 标定结果

设定温度 / (°C)	显示温度 / (°C)	实际温度 / (°C)	温度误差 / (°C)
22.00	21.98	21.97	0.01
30.00	30.01	30.03	0.02
40.00	40.00	39.99	0.01
50.00	49.98	49.97	0.01
60.00	60.00	60.03	0.03
70.00	70.02	70.00	0.02
80.00	80.01	80.05	0.04

根据实际实验结果可知: 通过 DS18B20 数字温度传感器

能够准确地测量当前的实时温度。从表 1 可以看出：显示温度和实际温度的差值都在 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ 以内，具有较高的控制精度，满足设计要求。

为了测试该系统能否针对当前温度进行实时升降温控制，进行实验测试，结果如表 2 所示。

表 2 实验测试结果

设定测温范围 / $^{\circ}\text{C}$	当前显示温度 / $^{\circ}\text{C}$	系统升降温控制 / $^{\circ}\text{C}$
24.00~34.00	23.98	升温
35.00~45.00	45.04	降温
46.00~56.00	48.00	保持
57.00~67.00	67.01	降温
68.00~78.00	67.97	升温

从表 2 可以看出，该系统具有 $\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的分辨率，即当前显示温度超过设定温度范围上限或低于下限 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时，恒温箱系统就会立即启动降温和升温装置，能及时、准确、快速地反映恒温箱内温度的变化情况，实现温度的实时自动控制。

5 结束语

本文针对目前温度控制系统中存在的问题，对恒温箱温度控制系统的硬件和软件进行了系统的设计。以单片机 STC89C52 作为控制核心，数字温度传感器 DS18B20 为控制对象，来实现恒温箱温度的实时自动控制。软件程序采用 C 语言编写，可灵活改变温度的设定值。从系统性能测试结果可知：该系统的温控精度优于 $\pm 0.05\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，温度分辨率为

$\pm 0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ ，满足设计要求。控制系统性能稳定，操作方便，通用性强，具有明显的优越性，可以满足科学研究及工业场合较高的精度要求，拥有广泛的应用前景。

参考文献：

- [1] Liu X R, Gao G H. Temperature Monitoring System Based on AT89C51 [J]. Advances in Computer Science, Intelligent System and Environment, 2011, 104: 601-605.
- [2] 汤锴杰, 栗 灿, 王 迪, 等. 基于 DS18B20 的数字式温度采集报警系统设计 [J]. 传感器与微系统, 2014, 33 (3): 99-102.
- [3] Zhang Z Y, Guo T L. Design of Water Bath Temperature Control System Based on DS18B20 [J]. Advanced Materials Research, 2012, 462: 753-756.
- [4] 于水娟, 李振璧. 全自动孵化控制系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (11): 2952-2954.
- [5] 李 艳. 基于 AT89C51 的多点温度巡测及控制系统 [J]. 仪表技术与传感器, 2009, (4): 44-45.
- [6] 张俊谟. 单片机中级教程原理与应用 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.
- [7] 张毅刚. 单片机原理与应用设计 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2008.
- [8] 吕俊亚. 一种基于单片机的温度控制系统设计与实现 [J]. 计算机仿真, 2012, 29 (7): 230-233.
- [9] 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 (12): 1219-1221.
- [10] 楼然苗, 李光飞. 51 系列单片机设计实例 [M]. 北京: 北京航空航天大学出版社, 2006.

(上接第 2440 页)

实现。而有比例阀输入电压限幅时。PID 类型的模糊控制器比 PID 控制器，角位移超调小，调整时间短，稳态误差小，控制精度高，表 4 是液压缸在 $0\sim 900\text{ mm}$ 之间往复运动时采集到的实际值与设定值，从数据可以看出误差在 $\pm 0.5\text{ mm}$ 以内，平均控制精度在 98% 以上。

表 4 实验数据表 (mm)

设定值	试验值	设定值	试验值	设定值	试验值
300	300.10	510	510.20	723	723.07
390	390.09	590	589.90	789	788.95
440	439.91	635	635.50	802	802.05
493	493.07	694	693.94	886	885.97

4 结语

本文针对液压油缸非线性、时变性的特点，利用 LABVIEW 软件将鲁棒性强的 Fuzzy 算法与具有消除静态误差的 PID 算法有效结合，设计出油缸位移 Fuzzy-PID 位移控制系统，并通过 LABVIEW 仿真模块进行了系统仿真和实际运行。数据表明：模糊 PID 位移控制系统具有动态响应快、调整时间短、稳态误差小及超调量小等特点。从而证明了液压油缸在试验（耐压试验、行程检测试验、容积效率等）过程中，采用 Fuzzy-PID 自适应控制算法，对被检测工件的位移进行控制有很好的应用前景，可以获得理想的控制效果。

参考文献：

- [1] 李中山. 基于 LABVIEW 的组台式液压实验台测控系统设计 [D]. 南宁: 广西大学, 2008, (06): 28.
- [2] 何春华, 蔡志岗. 基于 LABVIEW 的模糊 PID 控制系统 [J]. 仪表技术, 2010, 7 (3): 57-58.
- [3] 邓 华, 李许岗, 段小刚. 重载操作机夹钳角位移控制策略研究 [J]. 控制工程, 2013, 20 (2): 235-236.
- [4] Habera R E, Toro R M, Gajate A. Optimal fuzzy control system using the cross-entropy method. A case study of a drilling process [J]. Information Sciences, 2010, 180: 2777-2792.
- [5] Armendariz J, Treesatayapun C, Baltazar A. Force feedback controller based on fuzzy-rules emulated networks and Hertzian contact with ultrasound [J]. Mechanical Systems and Signal Processing, 2012, 227: 534-550.
- [6] Celik O, Ertugrul S. Predictive human operator model to be utilized as a controller using linear, neuro-fuzzy and fuzzy-ARX modeling techniques [J]. Engineering Applications of Artificial Intelligence, 2010, 23: 595-603.
- [7] 陈力立, 彭东林, 杨继森, 等. 基于 LABVIEW 的时钟脉冲式位移测量系统 [J]. 计算机测量与控制, 2012, 20 (3): 648-650.
- [8] 庄欠伟. 土压平衡式盾构电液控制系统集成技术及其应用 [D]. 杭州: 浙江大学, 2005.
- [9] 车江鹤, 骆艳洁, 麦云飞. EPS 试验台模糊 PID 控制器设计 [J]. 制造业自动化, 2011, 33 (12): 1-3.