

智能温度传感器系统设计*

马赛飞¹, 刘 钧², 马尚昌^{1,3}

(1. 成都信息工程大学 电子工程学院, 四川 成都 610225;

2. 中国华云气象科技集团公司, 北京 100000;

3. 中国气象局 大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

摘 要: 气象站在温度测量中, 需要精度高的温度数据, 而且实时数据的远程获得和设备方便携带成为一种趋势。为了满足智能气象站对温度测量的高精度和无线传输要求, 提出了使用感应器件铂电阻 Pt100 与数据处理模块通过 4 芯屏蔽电缆连接, 采用四线制引线方式, 设计出基于 ZigBee 模块的铂电阻温度传感器系统。通过传感器应用程序的编写, 对数据进行处理, 传输给集成处理器, 最终实现对温度的采集。经过测试, 该传感器具有测量范围广, 性能优异, 误差范围小, 易于调试等优点, 能够满足智能气象站温度采集的需求。

关键词: 智能气象站; Pt100; ZigBee; 温度传感器

中图分类号: TP212 **文献标识码:** A **文章编号:** 1000-9787(2016)04-0097-03

Design of intelligent temperature sensor system*

MA Sai-fei¹, LIU Jun², MA Shang-chang^{1,3}

(1. School of Electronic Engineering, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China;

2. China Huayun Meteorological Science and Technology Corporation, Beijing 100000, China;

3. CMA Key Laboratory of Atmospheric Sounding, Chengdu 610225, China)

Abstract: In temperature measurement weather station needs high precision temperature data, remote acquisition of real-time data and portable equipment has become a trend. Aiming at meeting requirements of high precision for temperature measurement and wireless transmission in intelligent weather station, propose using platinum resistance Pt100 induction device to connect with data processing module, through 4-core shielded cable, use the way of four-wire leads, a platinum resistance temperature sensor system based on ZigBee module is designed. By compiling sensor application software, processing data, transmit to integrated processor, complete collection of temperature. The results indicate that, the sensor has advantages of wide measurement range, excellent performance, small error range, easy to debug, etc, which can meet the needs of temperature collection of intelligent weather station.

Key words: smart weather station; Pt100; ZigBee; temperature sensor

0 引 言

现代社会的很多方面都与温度测量有着十分密切的关系, 温度作为一个重要的物理量, 与人们的生活环境、生产活动和科学研究等领域密切相关, 是自然界中和人类息息相关的物理参数之一^[1], 实时有效的温度计量和监测在工农业生产和国民经济各部门具有重要影响力和非常广泛的应用。温度是表征物体冷热程度的物理量, 是工农业生产过程中一个很普遍的测量参数^[2], 它可以通过物体随温度的变化的某些特征来间接测量。随着科学技术的不断更新, 温度测量范围要求不断扩大, 温度测量的精确性要求不

断提高。在温度的计量和监测中, 要将温度信号转变为电信号则离不开温度传感器。随着各种电子产品的便携化, 可用于片上测温的集成温度传感器的发展便越趋灼热化。传感器属于信息技术的前沿尖端产品, 尤其在气象探测领域, 由于温度测量的普遍性, 温度传感器的数量在各种传感器中居首位, 约占 50%^[1]。传统气象站温度传感器必须接入主采集器进行气象数据的传输, 需要解决传统气象站需要大量布线以及偏远地区人工读取数据困难的问题^[2], 就要对温度传感器系统进行改进。

本文设计加入 ZigBee 无线传输模块^[3], 同时采用四线

收稿日期: 2016-03-08

* 基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项项目(2012YQ110205)

制,设计了可以无线传输温度数据的 Pt100 铂电阻智能温度传感器系统,可以应用于智能气象站中的温度测量,满足数据的准确性与实时性要求^[4]。

1 传感器方案设计

由于铂电阻的性能稳定,测量温度范围宽,抗振抗冲击性好,测量精度高^[5,6],所以,在标准测量装置和高精度的温度测量中经常使用铂电阻制成温度传感器。按照 IEC751 国际标准,现在常用的 Pt100 是以温度系数 $TCR = 0.003851$ 为标准统一设计的铂电阻。其阻值与温度的关系为

当 $-200\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2 + C(t - 100)t^3] \quad (1)$$

当 $0\text{ }^{\circ}\text{C} < t < 850\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时

$$R_t = R_0 [1 + At + Bt^2] \quad (2)$$

式中 R_t 为在 $t\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值, R_0 为在 $0\text{ }^{\circ}\text{C}$ 时的电阻值(一般为 $100\text{ }\Omega$), $A = 3.9083 \times 10^{-3}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-1}$, $B = -5.775 \times 10^{-7}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-2}$, $C = -4.183 \times 10^{-12}\text{ }^{\circ}\text{C}^{-4}$ 。

系统采用铂电阻 Pt100 作为温度感测元件^[7],为消除内引线电阻带来的误差,同时消除连接导线的误差^[8]。采用四线制接入方式,接入硬件电路数据处理模块,进行温度传感器的设计与实现,使用锂电池进行供电并且配有太阳能板可对其进行充电。系统处理器通过各个引脚控制外围电路,实现对温度要素的采集与无线传输。传感器系统适配各种微控制器,在硬件的基础上通过软件来实现采集、传输功能,其智能化程度也取决于软件的开发水平。同时为了更好地对观测数据的解析和软件算法实现,采用统一的质量控制标识码。气象要素设备级数据采样算法和质量控制,是获得准确探测数据的重要过程。传感器级质量控制是基本的质量控制,是对采样值转换为气象要素的过程进行质量控制,其质量控制对象为气象要素的采样值。

1.1 系统硬件的构建

本文设计的温度传感器系统由铂电阻探头、数据处理模块组成。铂电阻探头采取不锈钢封装,不锈钢外壳与铂电阻器的良好接触保证了良好的导热性。为了提高系统的抗干扰能力,不锈钢外壳与传输线的屏蔽层应相连。数据处理模块包括硬件和应用软件,其中硬件包含高性能处理器(CPU)、高精度 A/D 转换电路^[9]、高精度时钟电路、程序存储器、数据存储器、供电单元、通信接口、铂电阻、监控电路和指示灯等,传感器中的数据处理模块 RS-232 通信接口与外置电源接口统一采用一个 5 芯孔型航空插头,其中 1 脚为电源正,2 脚为电源负,3 脚为 TX,4 脚为 RX,5 脚为 RS-232 的 GND。系统硬件构成如图 1 所示。

为了减小传感器体积,采用内置锂电池供电,外置电源接口连接太阳能板或其他充电设备,通过电源转换模块给

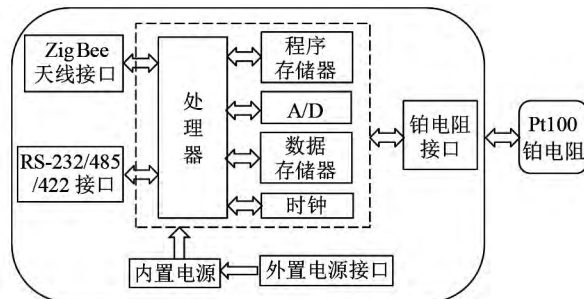


图 1 系统硬件构成图

Fig 1 Constitution diagram of system hardware

内置电池充电,外接电源供电电压为 $5 \sim 15\text{ V}$ 。无线通信天线应选用频率 2.4 GHz 、增益 $< 12\text{ dBi}$ 的天线,安装位置须能保障正常通信。自带高精度实时时钟,时钟走时误差不大于 1 s/日 ,接受集成处理器定时校时,校时误差小于 1 s 。选择 16 位以上的 A/D 转换电路,满足传感器测量精度要求。程序存储器为非易失性的,容量应满足应用软件容量要求,并具有 50% 的余量。数据存储器选择非易失性的,容量满足数据存储需要,并有 50% 余量。天线接口用于安装 ZigBee 外置天线,RS-232/485/422 接口用于串口通信与调试,铂电阻接口用于连接感测器件 Pt100 铂电阻。同时外接电路还有系统运行状态指示灯和通信状态指示灯。

1.2 应用软件的构成

软件主要分为三个功能模块,包括数据采集模块、数据处理模块和数据上传模块。其中,数据采集模块主要采集气象信息,数据处理模块主要完成采样算法计算、数据质量控制和存储;数据上传部分主要为集成处理器提供分钟和 5 min 气象要素,其交互方式可采用串行通信或无线网络通信。无线通信应用软件协议栈为 Z-Stack 2007 Pro,RS-232 通信协议设置为 1 位起始位,8 位数据位,1 位停止位,无奇偶校验,默认 9600 bit 。软件数据流程如图 2 所示。

2 实现功能与测量性能

2.1 实现功能

设计好的温度传感器具备基本的数据采集、处理、通信、存储和传感器级质量控制等功能,输出数字信号。能够完成气象要素采集,将采集到的信号处理成气象数据,具有质量控制,包括采样值质控和瞬时值质控,自带高精度实时时钟,响应集成处理器定时授时,并且时钟走时误差不大于 1 s/日 ,具有内置数据存储功能,容量能满足 10 天的分钟观测要素和状态要素存储要求,支持 ZigBee 无线传输和 RS-232/485/422 串口有线传输。传感器在每整分钟的 5 s 内将分钟数据准备好,分钟数据即每分钟进行传输,每次上电时主动发送连接字符给集成处理器。

2.2 测量性能

设计系统测量范围为 $-50 \sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$;分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$;

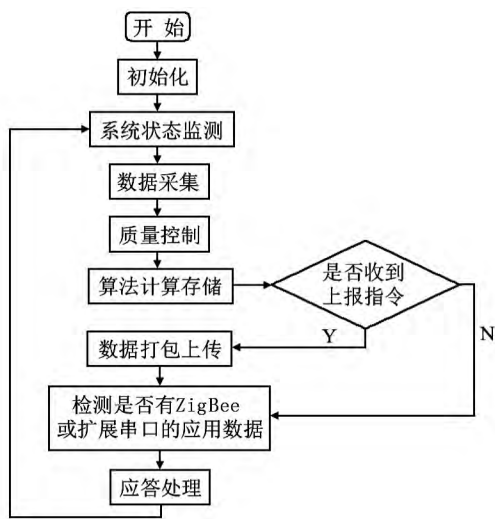


图 2 软件流程图

Fig 2 Flow chart of software

最大允许误差为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$; 时间常数为 $\leq 20\text{ s}$ (通风速度 2.5 m/s); 稳定性为 2 年偏差在最大允许误差内。

3 测试结果与应用

测试前,将测试仪表 ZX54 型实验室直流电阻箱(带屏蔽线)与传感器数据处理模块电路板连接,再用串口线将电路板与电脑相连,通过串口调试助手查看所设计的传感器好坏,是否显示数据。采用 WLR-2D 型制冷恒温槽对传感器进行测试,与精度 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$ 高精度自校式标准数字测温仪进行温度标定^[10]。待恒温槽进入恒温阶段后,根据性能指标和标定系数,测试时将铂电阻探头和高精密标准温度计探头一同置于制冷恒温槽中,在 $-50\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 范围内,系统每隔 $10\text{ }^{\circ}\text{C}$ 进行一次温度测量。在串口助手上发送命令,从电脑界面上查看串口输出的数据是否已接近标准器数值,当各个数值在相邻时间内的变化量接近于 0 时,即为稳定状态,此时进行读取并记录下数据。温度测量对比结果如表 1 所示。

表 1 温度测量对比结果($^{\circ}\text{C}$)

Tab 1 Temperature measurement comparison results($^{\circ}\text{C}$)

标称温度值	测量温度值	修正后温度值	加入系数后的误差
-50.38	-50.552	-50.34	0.04
-40.30	-40.517	-40.33	-0.03
-30.29	-30.470	-30.30	-0.01
-20.28	-20.430	-20.28	0.00
-10.19	-10.379	-10.25	-0.06
-0.23	-0.331	-0.23	0.00
9.90	9.850	9.93	0.03
19.91	19.894	19.94	0.03
29.95	29.940	29.96	0.01
39.98	39.999	39.99	0.01
50.02	50.056	50.01	-0.01

通过测试数据分析,本文设计的铂电阻温度传感器在以上各测试点的最大温度差为 $-0.06\text{ }^{\circ}\text{C}$,符合设计要求的,最小分辨力 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$,最大允许误差为 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$ 的要求。温度传感器温度测量范围($-50\sim 50\text{ }^{\circ}\text{C}$)和测量精度均能达到要求,使用效果良好。

最后将设计好的温度传感器放置在观测场的百叶箱中,连接好锂电池和太阳能板,进行实验,通过超级终端,集成处理器可以接收到温度传感器通过无线模块发送过来的数据。在观测场经过长时间的测试,系统可以稳定的运行。

4 结束语

本文设计的基于 Pt100 铂电阻和 ZigBee 模块的无线智能温度传感器系统,由内置锂电池供电,外置电源接口连接太阳能板或其他充电设备,恒流源驱动,采用四线制,同时加入无线模块,实现了系统模块化设计。经实测:温度传感器在 $-50\sim +50\text{ }^{\circ}\text{C}$ 温度范围内,最大允许误差优于 $\pm 0.1\text{ }^{\circ}\text{C}$,最小分辨力为 $0.01\text{ }^{\circ}\text{C}$,具有高精度、高可靠性、低功耗、便携等特点。系统同时具备自动调零、自补偿、自校准、设备状态自监测等功能,解决了短距离无线通讯、数据传输协议、传感器无线组网管理等关键技术,系统具有一定的推广和实用价值。

参考文献:

[1] 王召光.我国传感器产业的技术和应用趋势[J].电子技术与软件工程 2014(4):151.

[2] 朱育红.工业铂电阻精确测温的方法[J].中国测试技术,2007(4):50-52.

[3] 刘外喜,胡晓,唐冬,等.基于 ZigBee 的无线温度传感器网络的设计[J].传感器与微系统 2009 28(4):69-71.

[4] 李芸婷,万振凯.Pt 100 温度传感器数据实时采集系统[J].仪器仪表用户 2007(5):24-26.

[5] 罗文广,吴彤峰.高准确度温度变送器的研制[J].传感器与微系统 2003 22(5):20-22.

[6] 梅加兵,刘景全,江水东,等.用于低温环境的铂电阻温度微传感器[J].传感器与微系统 2013 32(4):119-120.

[7] 陈德龙,秦会斌.基于 Pt 100 的电子温度表设计[J].杭州电子科技大学学报 2005 25(4):42-45.

[8] 汪定国,王怡苹.一种高精度铂电阻温度测量方法[J].电子测量技术 2012(11):104-107.

[9] 易先军,文小玲,刘翠梅.基于铂电阻的温度高精度测量研究[J].传感器与微系统 2009 28(1):49-51.

[10] 张建敏,罗旭,吕文华.气象计量测试指南[M].北京:中国质检出版社 2011:11.

作者简介:

马赛飞(1990-),男,河南新乡人,硕士研究生,主要研究方向为大气探测信息处理。