热电阻无线温度变送器的设计

赵华1 凌志浩1

摘要

介绍了一种基于 PT100 热电阻的无线温度变送器的设计方案,分析了提高系统测温精度、降低系统功耗的策略,讨论了如何结合 ZigBee 协议实现将测量结果传送至无线传感器 网络的协调器节点,乃至通过串口转发给上位机的方法. **关键词**

热电阻;温度测量;无线;变送器

中图分类号 TP23;TN372 文献标志码 A

收稿日期 2009-05-29

资助项目 上海市重点学科建设(B504);国家 863 计划(2007AA041201-4)

作者简介

赵华,男,硕士生,主要研究无线温度变送器在工业中的应用. 306434064@ qq. com

凌志浩(通信作者),男,教授,博士生导师. zhhling@ ecust. edu. cn

0 引言

Introduction

温度的测量广泛应用于各个领域,研究温度的测量方法和开发测温装置具有重要的意义^[1]. 铂热电阻作为常用的温度传感器之一,具有电阻温度系数分散性小、精度高、线性度和复现性好、灵敏度也较高等特点^[2]. 用它制作的温度计性能优良,非常适用于 -200 ~850 ℃中低温区的温度测量. 因此,本文设计的无线温度变送器采用PT100 铂热电阻作为温度信号采集元件.

目前,已有很多应用 PT100 铂热电阻设计的温度变送器,但它们大多采用有线的方式将测量结果传送到相应的设备. 比如,有传统的输出 4~20 mA电流信号供电动仪表显示的温度变送器^[3];也有输出数字信号供 LED、LCD 显示器显示的温度变送器. 但是,在布线和电源供给困难或一些危险的场合^[4],有线传输方式的应用就得到了制约. 因此,本文提出了一种应用 PT100 铂热电阻进行温度采集并结合ZigBee 无线网络传输协议无线收发信息的变送器设计方案.

1 硬件设计

Hardware design

无线温度变送器的硬件电路由电源部分(包括基准电路)、测温电阻网络、放大电路、A/D 转换电路、射频模块,仿真器接口以及按键、LED显示器等部分构成. 待测温度信号经过测温电阻网络转化为电压信号,经放大器放大后传送到 A/D 芯片转换成数字信号后,通过SPI 接口传到 CC2430 芯片,该芯片再对接收到的数据进行处理、组成ZigBee 通讯协议包后以无线方式发送出去. 该变送器的硬件电路可适用于协调器、路由节点和终端节点. 协调器节点不需要数据采集功能,它主要负责创建 mesh 网络、管理网络节点,并把其它节点传来的数据通过串口传给上位机;路由节点负责转发数据,同时也能采集数据;终端节点只能采集数据,并将数据传给邻近的路由节点或协调器节点.下面对温度变送器硬件电路中的各个模块作详细说明.

1.1 电源部分及基准电路设计

在本系统中,电源芯片主要用于对基准芯片、放大器、A/D 转换芯片和 CC2430 射频芯片进行供电. 电源部分的稳定对整个系统的稳定和误差的减小起着至关重要的作用. 电源电压不稳定将直接导致基

¹ 华东理工大学 信息科学与工程学院,上 海,200237

准电压漂移和 A/D 转换精度降低,甚至使其它芯片不能正常工作.本系统的核心是 CC2430,而其工作电压要求为 3.3 V,故周边芯片皆以 3.3 V 为基准去选择,以免不必要的电压转换. CC2430 发射接收功耗为 27 mA,外围芯片选用低功耗芯片,每片不超过 0.5 mA,累加后整个系统电流消耗应小于 30 mA,放一定余量后,设定电源管理芯片供电应大于 100 mA. 因此,可以考虑选用 Maxim 的 Max8881. 它的输入电压范围是 2.5~12 V,满足锂电池输入需要. 其最大输出电流200 mA,输出精度 ±1.5%. 功耗 3.5 μ A(12 V),具有负载短路保护、过热关断、反接保护等功能. 电源部分原理如图 1 所示. 图中, C_1 、 C_2 为滤波电容,采用钽电容.

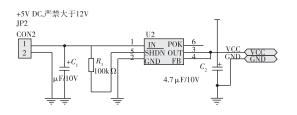


图 1 电源部分原理

Fig. 1 Schematic of the power supply part

基准电路需要为 A/D 转换芯片提供比较基准并且为测温电阻网络提供电压,它的精度和稳定性将直接影响到 A/D 的转换精度及转换结果的准确性. 故应选择精度较高温漂较小的型号,可以考虑选用 AD127. 它的精度为 \pm 0. 12%,最大温漂 3×10^{-6} °C,可输出稳定的 1. 25 V 基准电压.

1.2 测温电阻网络的设计

测温电阻网络是由热电阻和 $1 \land 1 k\Omega \ 1 \land 2 k\Omega$ 的精密电阻串联构成的分压网络,如图 2 所示. 图中: PT100表示热电阻: R_1 表示引线电阻. 热电阻

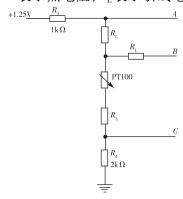


图 2 电阻网络结构

Fig. 2 Resistance network structure diagram

采用工业上最常用的 3 线制接法,分别对 $AB \setminus AC$ 两路电压进行测量,热电阻的阻值 $R_{\scriptscriptstyle L}$ 与 AB 端的电压 $V_{\scriptscriptstyle ab} \setminus AC$ 端的电压 $V_{\scriptscriptstyle ac}$ 的关系可表示为.

 $R_{\rm I} = (V_{\rm ac} - 2V_{\rm ab})/((1.25 - V_{\rm ac})/(R_3 + R_4)).$ (1) 从式(1)中可以看出热电阻的阻值 $R_{\rm I}$ 与引线电阻 $R_{\rm L}$ 无关,说明该测量方法消除了热电阻的引线电阻带来的误差. R_4 用于抬高 A、B、C 3 点的电位,以满足 A/D芯片对输入电位的要求. R_3 和 R_4 总共有 3 k Ω 的阻值,使经过 PT100 的电流维持在 0.4 mA 左右,以降低热电阻产生的自热对温度检测的影响. R_3 、 R_4 的精度及稳定性对整个系统的测量起着非常重要的作用,因此需选用高精度、低温漂的贴片电阻.

测温电阻网络的电压输入由基准芯片的输出经过电压跟随器来提供. 此电压跟随器应选用具有掉电模式的放大器来构成,目的是为了在不需要采集温度的时候停止对电阻网络的供电,以起到节能的作用. 因为作为无线网络的节点,通常采用电池供电,为了延长电池的寿命,应尽可能地降低系统功耗. 同时,该放大器的掉电模式可以对接触热电势影响及放大器输入漏电流等误差进行补偿^[5].

1.3 放大电路及 A/D 转换电路设计

传统设计方式是在 A/D 前端设置信号调理电路,现代微电子技术的发展使诸如滤波、零点校正、线性化处理、误差修正、量程切换等原属信号调理电路完成的工作都可用软件实现,大大简化了电路设计. 因此,只需侧重考量放大电路本身的信号放大功能、阻抗和精度. 本设计中,采用 2 片低功耗的 AD627 对图 2 中 AC、AB 两路电压信号进行放大. 它的最大工作电流只有 85 μ A,且增益精度高、温漂小、共模抑制比大,仅需 1 个电阻就能实现 5 ~ 1 000倍的增益,其放大倍数的计算公式见式(2). 对于 AC 两端的电压,采用 5 倍的增益,无需外接电阻;对于 AB 两端的电压,采用电阻值为 1 $k\Omega$ 、精度为 \pm 0. 1%、温漂为 5 × \pm 10 \pm 6 \pm 0 的精密电阻实现 205 倍的增益.

$$G_{\rm ain} = 5 + 200/R_{\rm g}.$$
 (2)

其中, R_{g} 的单位为 k Ω .

为了提高测温精度,没有直接采用 CC2430 中自带的 14 位 A/D 转换器,另外选用精度更高的带可编程输入缓冲器的 A/D 芯片 AD7792. 它是高精度的 16 位 Σ - Δ A/D 转换器,具有最多 3 路差分输入,各路输入通道具有可编程输入缓冲器,可将其增益调节为 1~128 倍,共 8 档. 可以根据不同的量程,设置 AD7792 可编程输入缓冲器的放大倍数,对输入

信号进一步放大. AD7792 在掉电模式下仅耗电 1 μA,并对 50 Hz、60 Hz 的工频干扰具有一定的抑制能力. 测温电阻网络的电压信号 AC、AB 分别通过放大器 AD627 放大后输入到 AD7792 的引脚 AIN1 + 和引脚 AIN2 + 进行模数转换. A/D 转换结束后,数据通过SPI 总线传到 CC2430,具体原理如图 3 所示.

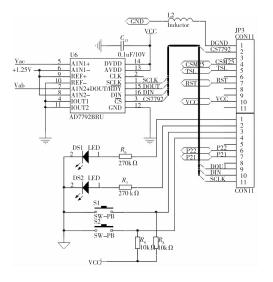


图 3 A/D 转换电路原理

Fig. 3 Schematic of A/D converter circuit

1.4 射频模块设计

射频模块主要功能是将 AD7792 传送过来的数据进行适当地处理,转化成温度值后再转发给无线网络中的协调器或路由器. 它由 CC2430 芯片和一些相关的外围器件构成. CC2430 是符合 IEEE 802. 15. 4 规范的 2. 4 GHz 射频收发器芯片. 它将射频单元与一块符合工业标准的增强型 8051MCU 集成在一起,提高了集成度,减小了芯片间干扰. 其主要特性及内部资源如下:8 k Ω RAM,32~128 k Ω FLASH,工作电压 2. 1~3. 6 V. 超低电流消耗(R_x :27 mA),高接收灵敏度(-99 dB),高抗邻频道干扰能力(39 dB). 内部集成有 VCO、LNA、PA 以及AES128 协处理器、8 路 14 位 A/D 转换器、电池监控器、温度传感器、双串口、看门狗、CSMA/CA等模块.

CC2430 拥有 21 个可编程的 I/O 引脚,其中 PO、PI 是完整的 8 位 I/O 口,P2 口只有 5 位,通过软件设置作为 I/O 还是作为 ADC、USART 或中断源. PIN7、20、23、41、47 为电源引脚,接至 VCC. PIN24 为 1.8 V 电压输出端,连接至 PIN25、27~31、33、35~40、42 引脚,分别为模拟部分的前置放大、功放、压控振荡器、滤波器、预定标器、混频器等提供精准的电源电压. PIN19、21 引脚连接

MCU 的 32 MHz 的主晶振, PIN43、44 引脚连接 32.768 kHz 辅助晶振. PIN32 和 34 分别为射频发射和接收引脚. PIN10 为复位引脚, PIN22 连接偏置电阻.

在实际设计过程中,将具有数据采集功能的器件集成在一块 PCB 板上,把射频部分、天线单独制作成射频模块,中间采用接插件连接,如图 3 所示,采集板提供 2 排 11 脚的插座 JP3、JP4 来连接射频模块. 这样做可以避免射频模块的高频信号对数据采集部分的干扰,而且可以缩小整个系统的横向面积.

1.5 仿真器接口及按键、LED 部分的设计

仿真器接口是为了在调试时给 CC2430 下载程序提供的接口. 它只需要将 CC2430 的 P2.1、P2.2、复位引脚以及电源、接地5个信号引出即可. 对协调器来说,该接口作为串口负责与上位机的通信.

按键和 LED 部分负责提供人机接口,其原理见图 3. 操作员可以通过按键控制节点采集数据或者给网络其它节点发送命令(如绑定命令),而网络状况或电路的工作状况可以通过 LED 显示. 比如,用 LED1 表示系统已经上电并初始化完成,用 LED2 表示收到其它节点发送过来的信息等. 需要强调的是,考虑到功耗问题,这里的按键信号采用中断的方式传递给 CC2430 的 8051MCU,8051MCU 默认处于睡眠状态,当按键中断信号到来时,8051MCU 为其执行中断服务程序,执行完毕后又进入睡眠状态.

2 软件设计

Software design

变送器的软件设计内容包含 Z_Stack 协议栈配置、数据采集、数据处理、数据收发、串口通讯等内容. 针对终端节点、路由节点、协调器节点和上位机的不同功能,需要编写不同的程序.

终端节点在初始化后,首先需查询协调器的信标.若不是自己的信标则进入定时休眠状态,定时时间到后可由定时器触发中断再次查询协调器的信标;如果是自己的信标,则读取协调器的请求信息,并返回确认帧,判断该信息是参数设置还是数据采集命令.如果是参数设置命令,则需先进行相应参数的设置,然后初始化 A/D,进行数据采集;否则,可以直接进行采集.接着对采集的数据进行滤波、线性化等处理后转化成温度值发送给协调器.在收到协调器的确认帧后,再次进入定时休眠状态.具体流程如图 4 所示.路由节点的程序和终端节点相似,仅多了接收其它节点发送的信息并进行转发的功能.

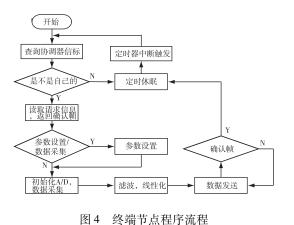


Fig. 4 End point node program flowsheet

对于协调器节点,在系统初始化后,先广播信标,以发现临近的子节点进行组网.接着,不断查询上位机和温度变送器终端子节点有没有发送请求信息.若上位机发送了请求信息,则读取上位机的命令信息,然后转发给对应的终端子节点,进行数据采集或参数设置等操作,待收到确认帧后返回查询状态;如果是温度变送器终端子节点的请求,则对终端子节点的请求作出响应,接收该子节点发送的温度信息并返回确认帧,再将温度信息转发给上位机,然后回到查询状态.其流程如图 5 所示.

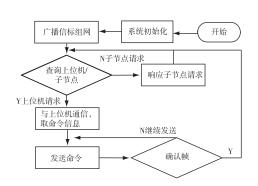


图 5 协调器程序流程

Fig. 5 Coordinator program flowsheet

上位机程序可以通过编写人机界面程序发布数据采集和参数设置命令.该命令可以通过与上位机相连的串行总线发送到协调器,协调器经处理后再将结果通过串行总线返回给上位机.最后,上位机存贮收到的温度信息并通过人机界面显示出来.

3 结语

Conclusion

通过用 0.01 级的精密电阻箱和 3 根相同长度的导线模拟 3 线制 PT100 热电阻对本设计的变送器进行测试,发现最大绝对误差为 0.045 Ω ,即相当于 0.12 $^{\circ}$ 0.14 ,具有较高的测量精度.同时,该变送器设计方案还具有较低的功耗、较宽的量程和无线收发数据等优点,能适应温度测量的基本需求.

参考文献

References

- [1] 蔡彬彬,包亚萍,陶卉,等. 基于铂电阻 PT100 的 USB 测温仪的设计[J]. 微计算机信息,2008,24(1):186-188
 CAI Binbin,BAO Yaping,TAO Hui,et al. A design of USB thermoscope based on platinum resistance [J]. Microcomputer Information,2008,24(1):186-188
- [2] 瞿咏梅.0 ℃~419.527 ℃标准铂电阻温度计大区比对的评述 [J]. 计量学报,2004,25(1):27-30 QU Yongmei. Comments on interlaboratory comparison around the country about standard platinum resistance thermometer in the range from 0 ℃~419.527 ℃[J]. Acta Metrologica Sinica,2004, 25(1):27-30
- [3] 程胜革,朱邦太,马战群,等. 热电阻温度变送模块的设计与实现[J]. 新技术新工艺,2006,9;58-60 CHENG Shengge, ZHU Bangtai, MA Zhanqun, et al. A design of thermal resistance temperature transmitter [J]. New Technology and New Craft,2006,9;58-60
- [4] 刘国巍. 低功耗无线温度传感器的设计与实现[J]. 工矿自动化,2007,4:72-74 LIU Guowei. A design of low power consumption wireless temperature sensor[J]. Industry and Mine Automation,2007,4:72-74
- [5] 李殊骁,郝赤,龚兰芳,等. 高精度三线制热电阻检测方法研究 [J]. 仪器仪表学报,2008,29(1):135-139 LI Shuxiao, HAO Chi, GONG Lanfang, et al. Research on high precision measurement of 3-wire thermal resistance [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument,2008,29(1):135-139

A design of wireless temperature transmitter based on thermal resistance

ZHAO Hua¹ LING Zhihao¹

1 College of Information Science and Engineering, East China University of Science & Technology, Shanghai 200237

Abstract The paper introduces a design of wireless temperature transmitter based on PT100 thermal resistance, analyzes the strategies of increasing the temperature measurement precision and reducing the power consumption of the system, and then discusses how to combine ZigBee wireless protocol to transmit the measurement results to the coordinator node of the wireless sensor network and furthermore transmit them to the upper computer by the serial port.

Key words thermal resistance; temperature measurement; wireless; transmitter