

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2016.06.06

基于 Zigbee 技术的高精度无线温度测试系统设计

张靖

(中航工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 以大空间温场均匀性测试为背景, 设计了一种准确度高、距离远的无线温度测试系统。以 CC2530 和 CC2592 作为无线收发的核心模块, 通过铂电阻传感器与 Zigbee 技术相结合实现了数据的采集和无线传输。该系统在测试中性能良好, 在大空间温场设备校准中具有较好的应用前景。

关键词: 温场测试; 无线温度检测系统; Zigbee; 大空间温场

中图分类号: TB942

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2016)06-0022-04

Design of Temperature Test System with High Precision Based on Zigbee Technology

ZHANG Jing

(Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: In the context of large space temperature test of homogeneity, this paper designed a wireless thermal detection system which performed with high precision and long distance. CC2530 and CC2592 are chosen as the key modules in wireless receiving and transmitting, and Zigbee and PT100 are combined to realize data acquisition and wireless transmission. The system can perform well in the test and have a good application prospect in large space temperature field equipment calibration.

Key words: temperature field test; wireless temperature test system; Zigbee; large space temperature field

0 引言

在大空间温场设备校准过程中, 传统方式均采用有线测试进行计量。但是有线的方式不可避免引入了引线误差, 而且布线过长容易引起短路或断路等不确定性因素, 给计量人员造成了很大不便。无线测试技术以其低成本、携带方便和组网快捷等优点成为了大空间环境试验设备温场测试的优选方式^[1]。

本系统采用 Zigbee 技术作为无线通讯方式, 采用比率法进行温度测试, 使整套系统在保证准确度和稳定性的前提下实现无线测试。

1 系统总体结构

系统分为三个部分, 分别是终端节点、协调器节点和上位机采集软件。终端节点是数据采集节点, 主要功能是铂电阻阻值数据的采集及无线发射。协调器主要负责无线数据的接收和统一处理, 并将其发送到上位机软件。上位机软件主要负责将电阻值转换为温

度数据, 然后将数据显示并保存, 如图 1 所示。

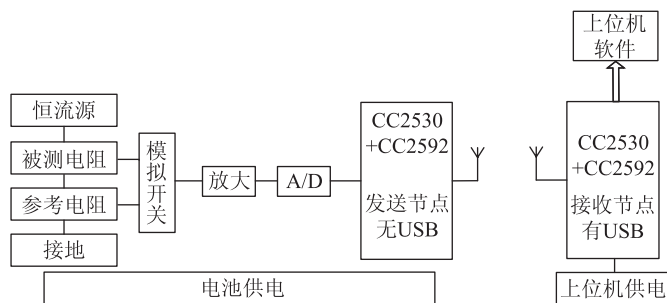


图 1 无线测试系统方案原理图

2 系统硬件设计

2.1 数据采集模块

数据采集部分使用铂电阻 Pt100 作为温度传感器。Pt100 铂电阻传感器具有线性度高、稳定性好、适用性强的特点。传感器温度值采用四线制的比率法进行测试, 恒流源产生标准 1 mA 的电流信号, 该电流分别经过被测电阻和标准电阻后, 将电阻信号转化为电压信号, 最后将电压信号经过放大后进入 AD 转换(本系统选用 AD7794 作为 AD 芯片, 它具有精度高、功耗低、

收稿日期: 2016-11-12

作者简介: 张靖(1993-), 男, 硕士研究生, 从事温度计量测试研究工作。

集成度高的特点), AD 转换之后的数据经采集后送入 CC2530 进行运算处理。

电阻值的采集常采用比率法的方式实现, 其基本测量原理如图 2 所示。

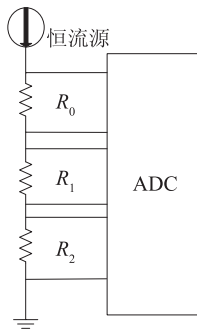


图 2 比率法测量原理图

图 2 中, R_0 是被测电阻, R_1 和 R_2 为 0.01% 的标准电阻。假设零输入误差为 D_i , 放大倍数均为 K , 则每路的输出电压关系为

$$V_i = KIR_0 + D_i, \quad i = 1, 2, 3 \quad (1)$$

由此可求得被测电阻值为

$$R_0 = R_2 \frac{(V_2 - V_0)(R_2 - R_1)}{V_2 - V_1} \quad (2)$$

比率法测试能够有效抑制恒流源输入的时漂和温漂的影响, 由此可见输出电阻值和恒流源电流大小、放大倍数等因素均无关, 这样进一步减小了系统误差。

恒流源电路设计如图 3 所示。对于一个实际的恒流源电路, 由于其参数的非理想特性, 所以在器件选型过程中要考虑到输出饱和、稳定性、电流输出限制、功耗和电阻平衡的匹配等问题。计算结果为 $I_{out} = V_{ref}/R_L$ 。

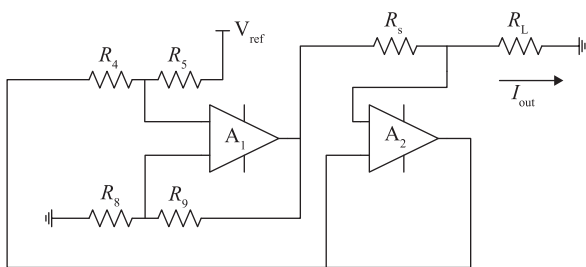


图 3 恒流源电路原理图

2.2 无线收发模块

CC2530 是 TI 公司的一款 51 内核的片上 Zigbee 技术芯片。它的内部集成了一个适用于 IEEE 802.15.4 协议的 RF 收发器, 最大输出功率可达 4.5dBm, 有较好的抗干扰能力, 并且只有很少的外部匹配元件。

CC2530 运行在 TI 公司研发的 Z-stack 协议栈上。

本系统中, 由于大空间测试时对传感器的传输距离有较高的要求, 所以采用了 PA 模块, 使得放大器的功率最大为 22dBm。由 P11, P14 和 P07 控制 CC2592 终端的活动模式和增益模式^[2]。核心板模块电路如图 4 所示。

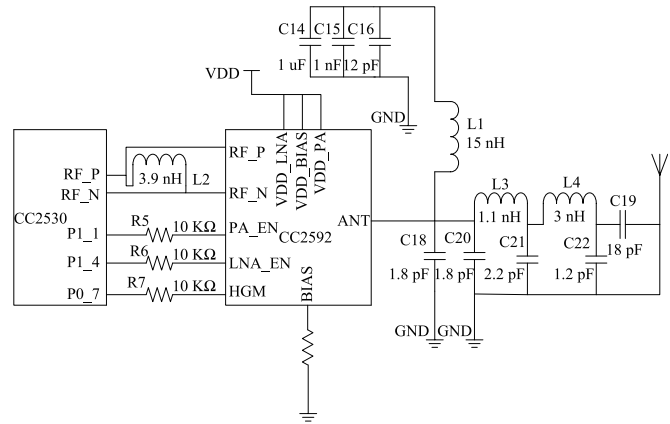


图 4 核心板模块电路图

3 系统软件设计

3.1 软件总体架构

Z-stack 协议栈是 TI 公司研发的专用于 Zigbee 协议的实现方式。Z-stack 协议栈是基于轮询式的操作系统, 根据事件优先级的不同进行统一调度^[3]。系统软件均在应用层目录实现, 任务由以下模块构成:

A/D 转换模块: 主要负责将铂电阻阻值转换为数字量, 经滤波处理后由终端节点发送给协调器。

低功耗休眠: 主要由定时器进行定时唤醒和休眠, 因此来节省电池的能量。

串口: 在协议栈中将串口和 DMA 模块相结合, 在实际操作时只需配置字符串格式, 并修改相关设置即可实现串口通信。

3.2 数据采集系统软件

数据采集软件主要分为 AD 转换和滤波程序。操作 AD7794 时, 首先需要读取 ID 寄存器和状态寄存器, 以确保 ADC 的型号及运行状态, 然后配置模式寄存器和配置寄存器。模式寄存器用来选择工作模式, 更新速率和时钟源; 配置寄存器主要配置极性, 缓冲模式, 增益和输入通道等^[4]。考虑到系统低功耗和高精度的要求, 本设计采用定时连续转换模式, 读取数据后, 对于采集到的 16 组数进行滤波处理, 程序操作流程图如下图 5 所示。

本系统中采用的滤波方法, 主要思路是首先根据

经验判断,确定十六次采样允许的最大偏差值 X 。如果本次采样结果与上次采样结果的差小于最大偏差值 X ,则保留这采样值,否则本次采样值无效,仍保留上次采样结果。这样经过次采样得到的数据再进行平均处理就得到最终的采样值。这样的滤波方式能够有效克服因偶然因素引起的脉冲干扰。

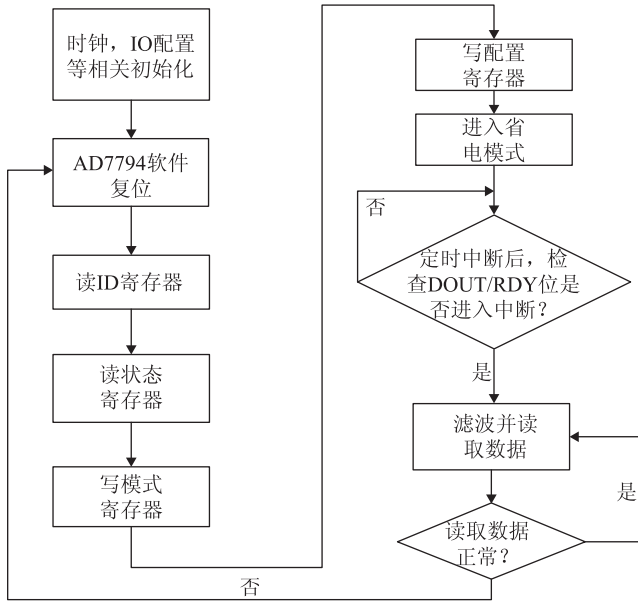


图5 数据采集软件流程图

3.3 无线收发软件

系统在入网过程中,终端节点上电,首先进行网络扫描,周期性扫描协调器广播的消息。当扫描到网络后,终端节点会向协调器发送入网请求,并等待协调器响应,如果协调器同意加入网络则会分配一个网络地址给终端节点,此时终端节点向协调器发送一个确认帧,此时终端入网成功。流程如图6所示。

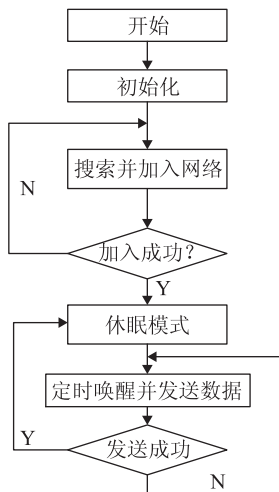


图6 终端节点工作程序流程图

协调器是网络运行的核心,主要负责整个网络的建立与维护,还作为整个网络数据的集中器。协调器上电后首先进行初始化,然后选择无线通信信道,设置网络 PANID。建立网络后不断监听是否有终端节点加入,并给这些节点分配网络地址,最后进行判断并不断监听网络中的消息。判断消息有三种类型:一是入网的请求,二是终端节点网络配置成功信息,三是终端节点发来的数据信息。第一部分由协议栈实现,第二三部分由用户配置。用户在终端节点入网成功后,发送配置信息给协调器,配置成功收到终端节点反馈后,再进入监听模式,接收传感器的电阻值消息。协调器收到终端节点传来的消息后,将其统一到串口,并将字符串发送到上位机软件。工作流程如图7所示。

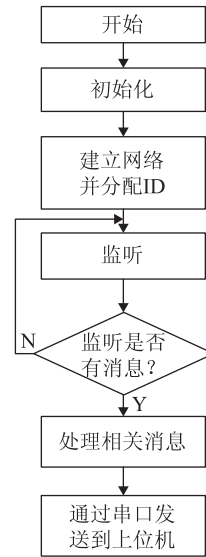


图7 协调器节点工作流程图

4 实验结果

依据 JJG 229-2010《工业铂、铜热电阻检定规程》可知,铂电阻温度值和电阻值之间的换算关系如式(3)所示,其中, A_0 , B_0 , C_0 的值分别为 $+3.9083 \times 10^{-3}$, -5.775×10^{-7} , -4.183×10^{-12} 。其中 R_{nd} 是铂电阻温度变化时的电阻值, R_0 是铂电阻在 0°C 时的温度值。

$$R_{nd} = R_0 [1 + A_0 T + B_0 T^2 + C_0 (T - 100) T^3], T < 0 \quad (3)$$

$$R_{nd} = R_0 [1 + A_0 T + B_0 T^2], T > 0 \quad (4)$$

根据温度和阻值的关系,电阻对温度求解公式如式(5)和式(6)所示。其中 $\alpha_0 \sim \alpha_5$ 的值由铂电阻分度表拟合得到,分别为 -2.4202×10^2 , 2.2228×10^0 , 2.5857×10^{-3} , -4.8266×10^{-6} , -2.8152×10^{-8} , 1.5224×10^{-10} 。

$$T = \frac{-A_0 + \sqrt{A_0^2 - 4B_0(1 - \frac{R_{rd}}{R_0})}}{2B_0}, T > 0 \quad (5)$$

$$T = \sum_{i=0}^n \alpha_i (R_{rd})^i, T < 0 \quad (6)$$

数据采集部分电路将铂电阻的阻值数据通过无线的方式发送到协调器，而电阻和温度值之间的转换关系则在上位机中进行，这样有效减少了单片机资源的消耗，减小了功耗。

为了验证测试系统的设计方案可行，采用环境试验箱、标准铂电阻和 FLUKE1529 测温仪对传感器整机进行测试和标定。测试结果发现平均偏差和被测电阻近似呈线性关系，多次测量将其结果拟合并标定后，得到电阻值测试结果如表 1 所示。

表 1 测试标定实验结果

温度值/℃	标准值/Ω	实测值/℃	示值误差/℃
-50	-50.12	-50.52	0.40
0	0.11	0.03	0.08
50	50.32	50.53	0.21
100	100.45	100.06	0.39
120	119.74	120.21	0.47

实验结果表明：该系统可以通过 Zigbee 网络进行数据传输，电阻准确度达到 0.5℃ 以内。利用 SmartRF studio 软件进行测试时，在丢包率小于 1% 的情况下，室外传输距离达到 90 m 以上，并且实现了多对一的数据传输。传感器实物如图 8 所示。



图 8 无线温度传感器实物图

5 总结

本文设计了一种无线温度测试系统，完成了其结构功能设计和软硬件实现，实现了 Zigbee 无线星型组网实验。采用了功放模块延长了系统的传输距离，室外传输距离达到了 90 m 以上。采用比率法提高了测量准确度，在 -50~120℃ 范围内准确度达到 0.5℃。

参考文献

- [1] 戴吉, 丁恩杰, 王昕, 等. 无线传感网络的井下温度监测系统[J]. 传感器与微系统, 2009, 28(4): 102-107.
- [2] Texas Instruments. Using CC2592 Front End With CC2530[M/OL]. [2015-06].
- [3] 孙利民. 无线传感器网络[M]. 北京: 清华大学出版社, 2005.
- [4] Analog Device. AD7794 Datasheet[M/OL]. [2007-10-01].
- [5] JJG 229-2010 工业铂、铜热电阻检定规程[S]. 北京: 中国计量出版社, 2010.

《化学分析计量》2016 年第 6 期目次

标准物质

铜-铬-钼合金光谱分析用标准物质的研制

分析测试

异烟肼在多壁碳纳米管修饰碳糊电极上的电化学反应及其在应用

六极杆碰撞反应池-ICP-MS 法测定海水中痕量金属元素

吹扫捕集-气相色谱-质谱法同时测定环境水中 101 种挥发性有机物

气相色谱法测定橡皮擦中甲醛衍生参数的影响分析

超高效液相色谱法测定虾青素

氢化物发生-原子荧光法测定地下水中的镉

双柱串联-便携式气相色谱法测定室内空气中苯系物

聚酸性铬蓝 K 修饰电极测定对乙酰氨基酚

氢氧化钡沉淀-碘量法对高锰酸钾和锰酸钾共存时的分别测定

UPLC-MS-MS 同时测定人参中 4 种植物生长调节剂残留量

HPLC-ELSD 法测定三乙醇胺单、双、三酯季铵盐的含量

气相色谱-质谱法测定地表水中硝基苯

高效液相色谱法同时测定食品中丙酸钙(钠)和双乙酸钠

固相萃取-气相色谱-串联质谱法测定茶叶中 9 种农药残留量

热辐射通量对沥青改性 PMMA 燃烧特性的影响

液相色谱-串联质谱法测定甘蓝中 4-羟基百菌清的残留量

石墨炉原子吸收分光光度法测定水中钛

电热鼓风干燥箱解吸-火焰原子吸收光谱法测定地质样品中金的含量

ICP-AES 法测定铬镍不锈钢中锰、铬、镍、硅、磷、铜、钨的含量

ICP-AES 法测定硼铝复合材料中的硼

铜精矿中二氧化硅含量的快速测定

水质 COD 测定方法的改进研究

铬天青 S-盐酸氯丙嗪-溴化十六烷基三甲铵光度法测定水样中的铁离子

离子色谱法同时测定氟化钠中微量氯离子和硫酸根离子

计量技术

无机标准溶液的稳定性

实验室管理

环境标准中 pH 值限值的合理性探讨

综述

饲料中常见的兽药及其检测技术