

文章编号: 2096-1618(2017)05-0474-05

# 基于 Z-Stack 通信协议栈的红外地温采集电路设计

李要中<sup>1</sup>, 刘 钧<sup>2</sup>, 马尚昌<sup>1,3</sup>, 祁安俊<sup>1</sup>

(1. 成都信息工程大学, 四川 成都 610225; 2. 中国华云气象科技集团公司, 北京 102299; 3. 中国气象局大气探测重点开放实验室, 四川 成都 610225)

**摘要:**为适应气象现代化、智能化的发展需求,完善对不同下垫面地表温度的气象观测资料。设计了一种基于 ZigBee 通信应用软件 Z-Stack 协议栈的智能红外地表温度采集电路,该设计应用 Z-Stack 协议栈分层软件结构,协调调度软硬件在各层级之间的工作。设计将差分电压采集电路与单端电压采集电路相整合,通道 0 采用 128 倍增益差分测量目标温度,通道 1 单端 1 倍增益测量自身电阻值电压,用 Stefan-Boltzmann 方程修正传感器自身温度对目标温度的影响,使 IRR-P 红外传感器在-40℃~70℃ 可以获得较高的测量精度;并且能够实现对观测要素的数据采集、处理、存储等功能,设计测试结果表明:该设计能够实现对传感器信号的高精度采集与处理,提高了观测资料的准确性。

**关键词:**大气探测应用;电子与通信工程;红外地温;Z-Stack 协议栈;Stefan-Boltzmann 方程;数据采集

**中图分类号:**TN915.04

**文献标志码:**A

**doi:**10.16836/j.cnki.jcuit.2017.05.002

## 0 引言

随着传感器技术和微电子技术的发展及中国气象观测方式由人工观测向自动观测的转变<sup>[1]</sup>。以传感器网络技术和智能信息处理技术为支撑,结合地面气象观测的业务模式和服务需求,对基于 IEEE1451 标准的气象要素传感器智能化方案进行研究与设计。针对不同下垫面地表温度的气象观测,设计一种基于 ZigBee 通信应用软件 Z-Stack 协议栈的智能红外地表温度采集电路,该设计将差分电压采集电路与单端电压采集电路相整合,能够实现对地表温度观测的数据采集<sup>[2]</sup>、处理、存储等功能,设计主要考虑两个方面的问题:一是符合 IEEE1451 智能传感器接口标准<sup>[3]</sup>,二是符合现有地面气象观测业务标准,将现有地表温度气象要素观测技术指标考虑在内,同时还考虑了系统的工作稳定性与可靠性以及探测数据的完整性与准确性要求<sup>[4]</sup>。最终设计完成的红外地温采集电路能够兼容热插拔、即插即用、自动识别<sup>[5]</sup>等功能,能顺利接入智能气象站系统,且工作性能稳定、可靠。

芯片,底层采用 TI 公司 Z-Stack 协议栈,依托 IAR 软件开发平台编写嵌入式软件,植入 ZigBee 协议栈 Z-Stack,能够实现数据的采集、处理、存储等功能。红外地表温度采集电路主要由 MCU 核心电路,红外地温信号采集电路,外部时钟电路,通信电路四部分设计组成。外围电路包括:ZigBee 天线接口、高精度 A/D 转换、时钟电路、看门狗、电源电路、程序 FLASH、数据 FLASH、RS-232/485 接口、红外感应器件端口、扩充端口等。各结构采用独立模块设计,对单一结构的测试、维护、更新不会妨碍其他模块正常运行,加强了结构体系的稳定性。整体结构如图 1 所示。

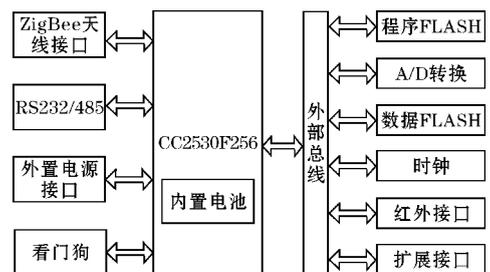


图 1 系统整体结构

## 1 系统总体设计

智能红外地温传感器采集电路系统从性能和成本两方面综合考虑,数据处理协调器模块采用高性能的 CC2530F256 射频收发处理器<sup>[6]</sup>作为模块的核心处理

### 1.1 MCU 核心电路

MCU 核心电路主要由 CC2530 最小系统组成,是红外地温气象要素传感器智能化模块的核心,负责实现各部分电路之间的信息交互,协调各部分电路的功能,电子数据表格(TEDS)信息的存储与使用,数据处理及数据封包等。CC2530 最小系统主要包括 CC2530F256 芯片及外围电路、射频电路等。其中,信

号采集通信基于 ZigBee 通信 Z-Stack 协议栈的无线通信方式,CC2530F256 的最小系统可以实现 ZigBee 通信电路<sup>[7]</sup>。CC2530F256 芯片分别提供 32 MHz 和

32.768 kHz 两种外接晶振,能够为 MCU 的应用提供对应不同的时钟源,在电源输入端加入去耦电容,加强系统稳定性。最小系统电路如图 2 所示。

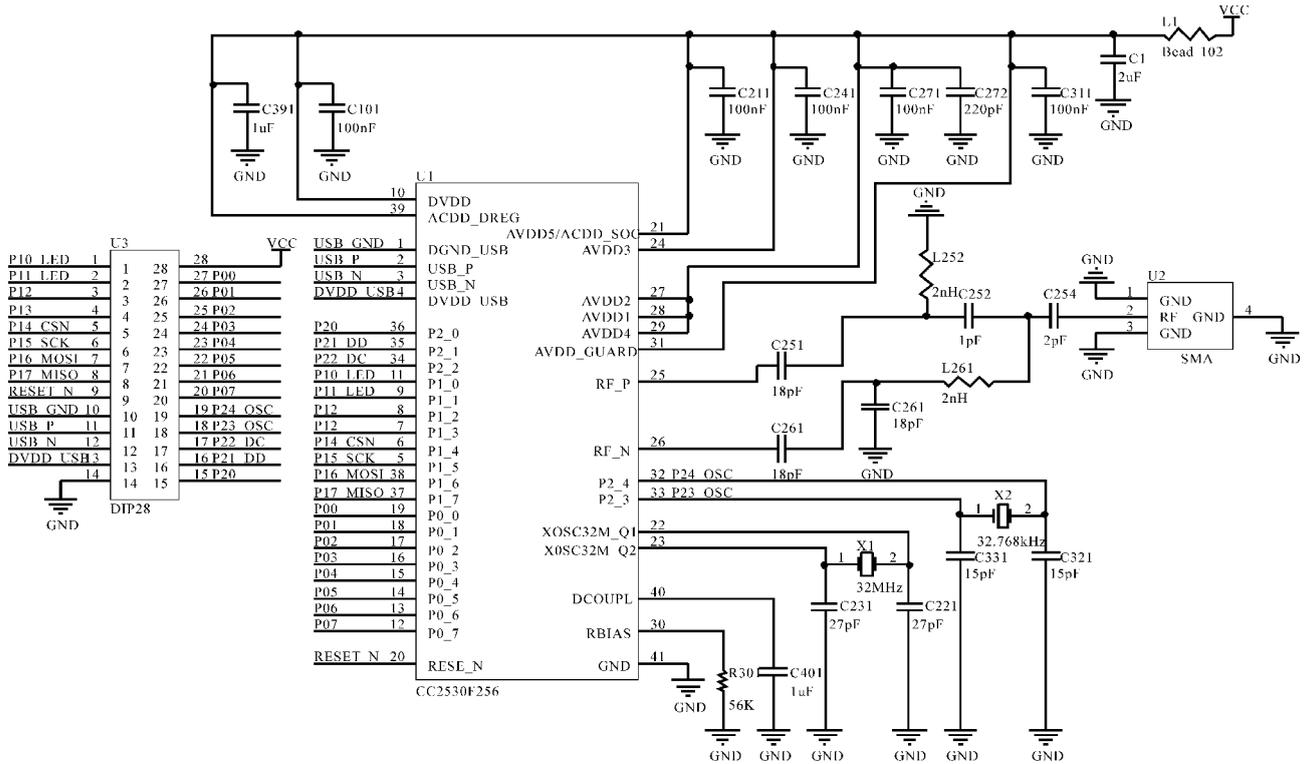


图 2 最小系统电路

### 1.2 外部时钟电路

外部时钟电路的设计主要采用的是 DS3231 芯片,它是一款工业级、低功耗的多功能时钟芯片,采用的是 I2C 总线接口,内部集成 32.768 kHz 晶体能够提供高稳定高频率的时钟震荡,且经过测试该芯片在 -40 °C ~ 85 °C,一年的计时精度可以达到 ±2 分钟。该性能使得 DS3231 成为当前要求高计时精度应用的最佳解决方案,I2C 总线上的 DS3231 时钟芯片通过与 MCU 发送的地址数据进行符合比对,接受 MCU 发来的数据。时钟电路如图 3 所示。

## 2 红外地温信号采集电路设计及原理

红外地表温度采集电路采用 CPU 外置的 A/D 转换器 AD7792,它是一种低噪声、低功耗、完整模拟前端的适合高精度测量的 16 位 ADC,具有 3 个差分模拟输入通道,典型运行电流仅为 400 μA,具有低噪声的可编程增益仪表放大器及片内偏执电压发生器,同时自带可编程电流源及基准电压源。采集电路将差分电压采集电路和单端电压采集电路整合到一起,电路原理如图 4 所示。

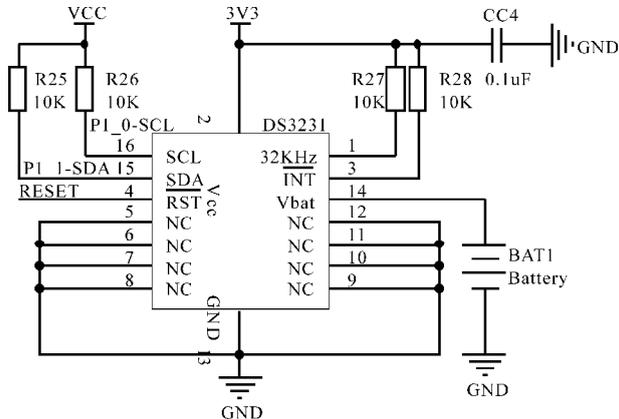


图 3 外部时钟电路

设计采用 IRR-P 高精度红外温度传感器,在信号输入与 AD7792 之间添加一个电压跟随器,主要是为了增加 AD7792 的输入阻抗,提高信号质量。通道 0 采用 128 倍增益差分测量目标温度,通道 1 单端 1 倍增益测量自身电阻值电压。IRR-P 由一个热电堆和一个热敏电阻组成,热电堆用来测量被测物体的表面温度,热敏电阻用来测量传感器自身的温度,热电堆和热敏电阻都以毫伏电压信号<sup>[8]</sup>输出,应用 Stefan-Boltzmann 方程,修正传感器体温对目标温度产生的影响<sup>[9]</sup>。

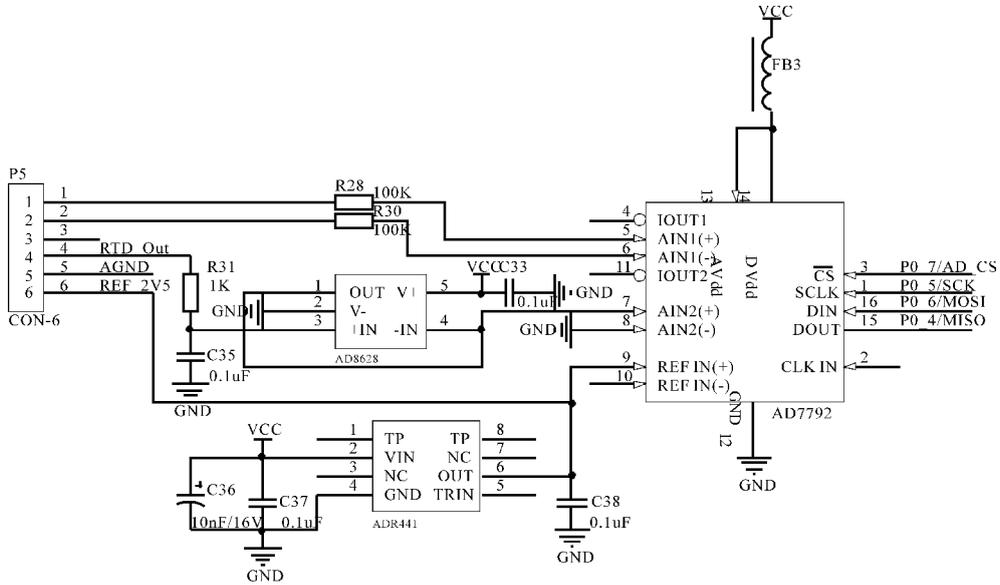


图4 红外地温信号采集电路

设测得的自身温敏电阻值为  $R$ ,  $V1$  为测得的传感器单端输出的电压 (单位  $mv$ ), 则有:

$$\frac{V1}{2500} = \frac{24.9}{R + 24.9}$$

将其换算成本身的摄氏温度。

则测得本身的摄氏温度  $ST$ :

$$ST = \frac{1}{(A2 + (A1 \cdot \log(R) + A0 \cdot (\log(R) \cdot \log(R) \cdot (\log(R)))))) - 273.15}$$

设中间变量  $M$  和  $B$ , 有:

$$M = mC2 \cdot SBTemp \cdot SBTemp + mC1 \cdot SBTemp + mC0$$

$$B = bC2 \cdot SBTemp \cdot SBTemp + bC1 \cdot SBTemp + bC0$$

换算本身的成华氏温度  $STC$ :

$$STC = ST + 273.15$$

即得到目标的摄氏温度:

$$\sqrt{\sqrt{STC^4 + M \cdot V2 + B}} - 273.15$$

其中  $V2$  代表 AD 转换器测得的传感器差分输出电压 ( $v$ ),  $A2, A1, A0$  代表热敏电阻参数,  $mC2, mC1, mC0, bC2, bC1, bC0$  代表红外地表传感器探头参数。

使用 Stefan-Boltzmann 方程, 使得 IRR-P 在  $-40^\circ\text{C}$  ~  $70^\circ\text{C}$  可以获取较高的测量精度。

### 3 软件系统设计

红外地表温度采集电路软件系统采用 C 语言为

主要开发语言, 以 IAR 作为系统软件开发平台, 植入 ZigBee 协议栈 Z-Stack<sup>[10]</sup>, 具有实现数据的采集、处理、存储等功能。软件系统设计包括 Z-Stack 协议栈程序设计、传感器应用程序设计。

#### 3.1 Z-Stack 协议栈程序设计

协议栈主要描述采集电路通信在硬件和软件不同层级之间是如何协调调度工作的, ZigBee 通信应用软件协议栈采用 TI 公司的 Z-Stack 2007 Pro。整个 Z-Stack 协议栈采用分层的软件结构, 主要由硬件抽象层、操作系统抽象层、和 ZigBee 协议各层 3 部分组成<sup>[11-12]</sup>。基于 Z-Stack 协议栈的软件应用编程主要实现红外地温采集板中 ZigBee 协调器与智能气象站主采集器 ZigBee 协调器之间的协调通信功能, 其中应用层软件在 SAPI\_ProcessEvent 任务实现。通过采集电路获取红外地温传感器数据包, 采集板中的 ZigBee 协调器将红外地温信号按照从高层到低层依序通过各个协议层, 每一层的任务实体按照气象要素数据格式向数据信息中加入质控信息。在智能气象站主采集器端数据包依次朝上通过协议栈, 每一层的任务实体按照预定的数据格式获取需要在在本层任务中处理的数据信息, 智能气象站主采集器程序对最终得到的气象要素信息进行数据融合、处理。为了拒绝“非法”设备的接入, 保护数据传输的安全性, 在传输协议中加入入网安全认证机制, 数据加密传输。Z-stack 协议栈主程序如图 5 所示。

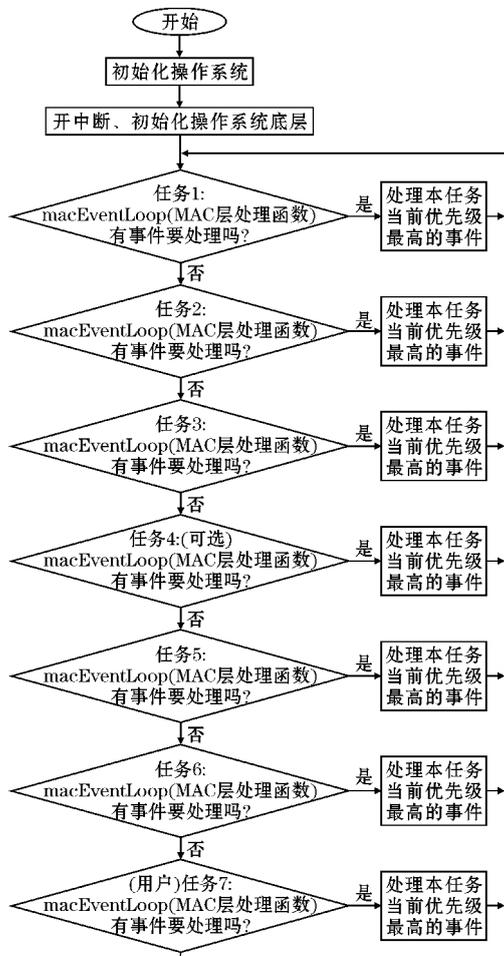


图 5 Z-Stack 协议栈主程序流程

### 3.2 传感器应用程序设计

传感器应用程序主要实现系统时钟保护、数据采集、数据处理、数据存储等功能。其中红外地表温度的采集使用了状态机<sup>[13]</sup>机制,状态分为空闲、采集、完成、复位 4 个状态;对采集到的数据经过一定的算法得到相应的气象要素值,再经过数据质量控制算法将红外地表温度气象要素值输出,并得到质量控制编码<sup>[14]</sup>;当到达新的一分钟时,需要先进行分钟数据的统计,再实现分

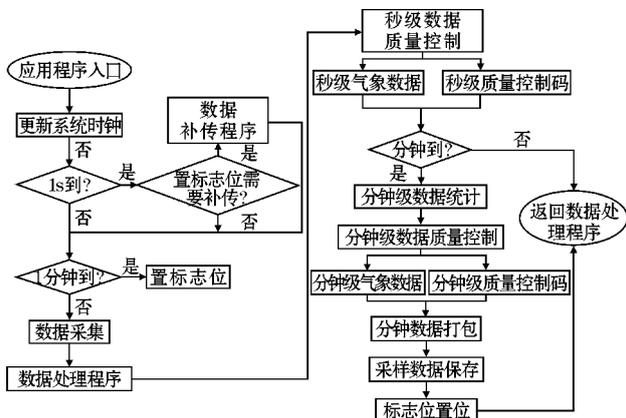


图 6 传感器应用程序设计流程

钟数据质量控制以此得到分钟气象数据以及分钟质量控制码,实现分钟数据的打包,采样数据的保存,相关标志位置位。程序的流程如图 6、图 7 所示。

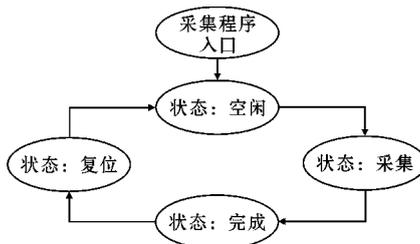


图 7 传感器数据采集流程

## 4 系统测试及结果



图 8 设计测试结果

基于 Z-Stack 通信协议栈的红外地温采集电路,通过软件状态识别方式来配置传感器输出信号的采集模式<sup>[15]</sup>。将红外地温传感器采集电路中的 ZigBee 协调器协议的通道号 (PD) 和信道号 (CH) 与主采集器上的 ZigBee 主协调器协议通道号 (PD) 和信道号 (CH) 设置成相同的,才能保证传感器采集电路与主采集器 Z-Stack 协议栈之间的正常通信。在植入 ZigBee 协议栈 Z-Stack 的基础上,通过 IAR 软件开发平台编译软件代码。通过串口助手对红外地表温度采集电路的数据采集功能进行测试,打开 COM3 串口调试界面,输入秒级数据测试代码“#FFFBG,1”,红外地温传感器首先完成与主采集器的 CI 认证,然后对应输出 SEC 秒级瞬时采集数据及整条 MIN 分钟红外地表温度数据格式,结果显示串口数据输出正常,测试结果如图 7 所示。该采集电路能够实现对红外地表温度的实时数据采集功能。

## 5 结束语

提出一种基于 Z-Stack 通信协议栈的红外地温采

集电路设计与实现方法,通过串口软件的调试验证,测试结果符合设计要求,红外地表温度采集电路能够按照对数据状态信息的要求格式正确输出,该采集电路能够实现红外地表温度的实时数据采集功能。设计具有较高的稳定性、灵活性、实用性,提高了对红外地表温度气象要素参数的监测能力与智能化要求,解决并完善了对不同下垫面地表温度的气象观测资料。

## 参考文献:

- [1] 张霁琛. 现代气象观测[M]. 北京:北京大学出版社,2000.
- [2] 童英华. 基于 Z-Stack 的无线温湿度采集系统[J]. 现代电子技术,2012,35(23):115-117.
- [3] 吴仲城,孙怕宁,虞承端,等. 网络化智能传感器/执行器的设计及接口标准 IEEE1451.2[J]. 仪表技术与传感器,2000,7:1-3.
- [4] 储呈敏,马尚昌,张素娟,等. 地表温度测量方法研究综述[J]. 电子设计工程,2014,22(6):187-189.
- [5] 朱晓博,马尚昌,张素娟,等. 传感器智能化及电子数据表格更新方式的研究[J]. 成都信息工程学院学报,2014,29(1):59-64.
- [6] 李俊斌,胡永忠. 基于 CC2530 的 ZigBee 通信网络的应用设计[J]. 电子设计工程,2011,19(16):108-111.
- [7] 周艳红,马尚昌,赵静,等. 基于 C#的常规气象要

素采集监控系统设计与实现[J]. 成都信息工程学院学报,2015,30(6):551-554.

- [8] 程昌玉,梁海河,王柏林. 红外与铂电阻地表温度测值分析对比[J]. 气象科技,2010,38(4):450-455.
- [9] 李薇,张宏升,康凌,等. OS530 系列红外辐射温度表测量地表温度的应用[J]. 气象水文海洋仪器,2003,(1):13-17.
- [10] 朱苗苗,牛国锋,程宏斌. 基于 Z-Stack 协议栈的无线温湿度采集系统[J]. 计算机系统应用,2016,25(10):258-262.
- [11] 周淙,马小敏,陈伟根,等. 基于 Zigbee 和零序电流增量法的配网单相接地故障定位方法[J]. 电力系统保护与控制,2012,40(9):62-68.
- [12] 何伟刚,李政林,章帆,等. 基于 ZigBee 的煤矿井下无线传感器节点设计[J]. 现代电子技术,2017,40(2):122-124.
- [13] 王春武,程礼邦,刘春玲,等. 状态机在嵌入式系统设计中的应用[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2016,16(9):12-14.
- [14] 中国气象局综合观测司. 自动候站功能规格需求书[Z]. 北京:中国气象局,2015:1-183.
- [15] 叶湘滨,李文,杨雪,等. “即插即用”智能变送器模块的设计与实现[J]. 仪表技术与传感器,2009,10:28-30.

## Design of Infrared Temperature Acquisition Circuit based on Z-Stack Communication Protocol Stack

LI Yao-zhong<sup>1</sup>, LIU Jun<sup>2</sup>, MA Shang-chang<sup>1,3</sup>, QI An-jun<sup>1</sup>

(1. Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225, China; 2. China Huayun Meteorological Science and Technology Corporation, Beijing 102299, China; 3. Key Laboratory of Atmospheric Sounding, CMA, Chengdu 610225, China)

**Abstract:** In order to adapt to the needs of the development of meteorological modernization and intelligence, and improve the meteorological observation data of surface temperature on different underlying surfaces, a design of temperature acquisition circuit of Z-Stack protocol stack of ZigBee communication software based on the intelligent infrared surface is designed. It applies the Z-Stack protocol stack hierarchical software structure, hardware and software at all levels of coordination between the work. The design of the differential voltage acquisition circuit with single ended voltage acquisition circuit integration, channel 0 by 128 times the gain differential measurement of target temperature, channel 1 single ended 1 times its resistance value of the voltage gain measurement, using the modified Stefan-Boltzmann equation of sensor temperature influence on the measurement accuracy of the target temperature, IRR-P infrared sensor in  $-40\text{ }^{\circ}\text{C}$  -  $70\text{ }^{\circ}\text{C}$  can get a higher measure precision; moreover, it can realize the functions of data acquisition, processing and storage of observations and etc. The design of test results show that the design can achieve high precision acquisition and processing of sensor signals, and it can improve the accuracy of observation data.

**Keywords:** atmospheric sounding applications; electronic and communication engineering; infrared temperature; Z-Stack protocol; Stefan-Boltzmann equation; data acquisition