

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106950

人体红外测温枪的温度测量补偿研究*

任晶秋 钟攀 张琳 樊宗源

(东北石油大学 电气信息工程学院 大庆 163318)

摘要: 由于红外测温仪在新冠肺炎疫情中需要近距离对被测者进行体温的测量,并且测量精度比较低,导致体温测量安全性不高及造成误判的风险。为了提高红外测温设备检测人体温度的精度,研究了提高红外温度精度的距离温度补偿方法,设计了一款测距远、测量准、应用广的红外测温枪系统。该系统以STM32F103为主控制器,采用AMG8833红外热像仪传感器模块、OLED显示器模块、激光测距模块、蜂鸣器等进行外围设计。将红外热像仪传感器模块采集到的一组单独的红外点阵温度读数进行光感及距离温度的补偿,并采用快速降序排序法对采集的不同距离的温度点进行处理,通过多次的线性函数进行拟合,对不同距离的温度点进行补偿,以实现精度的提高,并得到不同距离排序钝化后的温度补偿。经过多次实验调试验证,在没进行距离温度补偿时误差很大,进行距离温度补偿后的温度值与基准温度值相比误差很小,能够满足人体体温测量的精度要求,实现了远距离测温精度的提高。

关键词: STM32;红外测温;温度补偿;AMG8833;快速排序法

中图分类号: TP391.8;TN919.5 **文献标识码:** B **国家标准学科分类代码:** 510.8060

Research on temperature measurement compensation of human infrared temperature measuring gun

Ren Jingqiu Zhong Pan Zhang Lin Fan Zongyuan

(School of Electrical Engineering and Information, Northeast Petroleum University, Daqing 163318, China)

Abstract: Because the infrared thermometer needs to measure the body temperature of the subject at close range in the Covid-19 epidemic, and the measurement accuracy is relatively low, the safety of the body temperature measurement is not high and the risk of misjudgment is caused. In order to improve the accuracy of human body temperature detection by infrared temperature measuring equipment, studies the distance temperature compensation method to improve infrared temperature accuracy, and designs an infrared temperature measuring gun system with long distance measurement, accurate measurement and wide application. The system is designed with STM32F103 as the main controller, and AMG8833 infrared thermal imager sensor module, OLED display module, laser ranging module and buzzer are used as peripheral equipment. In order to improve the accuracy of temperature measurement, the temperature value of the infrared dot matrix collected by the sensor module of the infrared thermal imager is compensated for light perception and distance temperature, that is, the collected temperature points at different distances are processed by fast descending sorting method firstly, and then the temperature points at different distances are fitted by multiple linear functions, so that the temperature compensation after passivation of different distance sorting is realized. After many experiments and debugging, the error is great when the distance temperature compensation is not carried out, and the error of the temperature value after distance temperature compensation is very small compared with the reference temperature value, which can meet the accuracy requirements of human body temperature measurement and improve the accuracy of long-distance temperature measurement.

Keywords: STM32;infrared temperature measurement;temperature compensation;AMG8833;quick sorting method

0 引言

近年来,H1N1、H5N1、H7N9及猪流感等频繁爆发,特

别是2020年新型冠状病毒肺炎疫情发生以来,人们对体温的正常与否引起高度重视,并将体温高于37.3℃视为异常情况,如果体温高于37.3℃,就需要引起高度重视,并需要

收稿日期:2021-06-16

*基金项目:东北石油大学青年基金(2019QNL-34)项目资助

进行隔离观察,因而精准测量体温成为防控疫情的必要措施。体温是生命体征监测中的重要内容,众多疾病如流感、炎症、肿瘤等疾病都会引起体温的波动^[1]。特别是在疫情的特殊时期,体温的快速、远距离、高精度检测变得尤为重要。

在此之前传统的基础式水银体温计广泛应用于临床的体温测量,虽然它测量的体温精度很准确,但由于其具有测量速度慢、且易碎危险、耗时及浪费人力、污染环境等缺点,以及在面对如新冠肺炎等具有高传染性疾病面前存在极大的交叉传染隐患;另外红外线额头电子体温计由于其使用方便、测量体温速度快、非接触等优点在严重急性呼吸综合征(SARS)、甲型H1N1流感流行时得到了广泛应用,并在发热性疾病检查中起到了重要的作用^[2]。但研究发现红外线额头电子体温计极易受大气状况、环境温度、被测物体表面发射率等干扰,且不能持续监测体温,而且其测量体温时依旧需要使设备靠近人体额头3 cm左右,在面对具有飞沫传播、接触传播的疫情面前,依旧存在很大的安全隐患,并且测量的精度不高,一般测量的误差在1℃以上,不能满足临床诊断及排查测温的要求。

所以亟待需要设计一款能够在规定安全距离外就能准确获取被测人体体温的设备。本文针对这个问题设计了一种基于STM32的红外测温枪,能在距离1 m以上就能检测出被测人体体温,能够实时更新检测数据的红外测温系统,并且采用距离温度补偿方法以提高精度,进而实现远距离的精准测温,从而能够避免被感染在安全的距离进行体温的测量,具有很广泛的应用前景及价值。

1 红外测温系统主控及外设设计

本文红外测温枪系统主要由STM32F103为主控制器、AMG8833红外热像仪传感器模块、OLED显示器模块、激光测距模块、按键模块、蜂鸣器等外围设备进行设计,该系统的硬件原理图采用Altium Design软件设计。红外热像仪传感器将物体红外辐射转换为数字信号,通过集成电路总线(inter-integrated circuit, I²C)与主控制器进行通信,数据通过STM32主控制器运算后,在OLED显示屏上显示测得的温度及其他信息,在按键按下进行温度测量时蜂鸣器会发出响声,表明其正在进行测温^[3]。

1.1 STM32 主控制器

本系统采用ARM系列Cortex-M3内核的32位微控制器STM32F103作为设备的主控制器系统,该主控制器的功能很多,具有高达72 MHz的工作频率,在存储器的0等待周期访问时可达1.25 DMips/MHz,并可以在单周期内进行乘法和硬件除法的加快计算。并含有64 K闪存程序存储器,以及20 K字节的SRAM,还具有丰富的I/O端口,2个SPI接口,STM32F103C8T6增强型产品中内置了多达3个同步的标准定时器,任一标准定时器都能用于产生PWM输出^[4]。它还具有通用同步/异步接收发送器

(USART)及通用输入输出接口(GPIO),多达2个I²C总线接口,能够工作于多主和从模式,支持标准和快速模式,由于这些丰富的接口及功能,从而可以实现数据的传输,并可以进行各种外围设备的开发。

1.2 AMG8833 红外热像仪传感器模块

本设计的测温传感器采用松下Grid-EYE(GY)-AMG8833 IR 8×8红外热像仪传感器模块,它基于先进MEMS技术的高精度红外阵列传感器,是自适应的紧凑型SMD封装,便于集成。它通过8×8(64 pixel)进行二维区域的温度检测,具有温度值输出的能力,并且兼容RoHS。它仅支持I²C进行通信,当它与STM32主控制器相连接时,它将通过I²C总线返回一组64个单独的红外温度读数,该AMG8833红外热像仪传感器的温度测量范围为0℃~80℃(32°F~176°F)。精度为±2.5℃(4.5°F)。它可以从远达7 m(23英尺)的距离检测到人体,大帧频为10 Hz⁻⁵。非常适合制作测温仪,具体实物如图1所示。

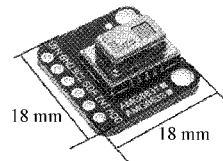


图1 AMG8833 红外阵列实物图

1.3 激光测距模块

本系统使用ST公司推出的新一代飞行时间(ToF)激光测距模块进行距离的测量,在该芯片内部集成了激光发射器和SPAD红外接收器,采用了第二代Flight Sense™技术,通过接收器所接收到的光子时间来计算距离,最远测量距离可达2 m,测量速度更快,能效更高,非常适合中短距离测量的应用。除此之外,为使集成度过程更加快捷方便,ST公司为此也提供了VL53L0X软件API(应用编程接口)以及完整的技术文档,通过主I²C接口,向应用端输出测距的数据,大大降低了开发难度^[6-7]。

激光测距模块具有体积小、测量精度高、多测量工作模式、支持从机地址设置和中断、兼容3.3 V/5 V系统、使用方便等特点,模块通过6个2.54 mm间距的排针与外部连接,VL53L0X是完全集成的传感器,配有嵌入式红外、人眼安全激光,先进的滤波器和超高速光子探测阵列,测量距离更长,速度和精度更高。

1.4 OLED 显示屏模块

本系统选用0.96寸OLED显示屏作为本系统的显示模块,该模块的显示区域是128×64的点阵,它的每个点都能主动发光,从而使得OLED几乎没有视角限制,视角一般可达到170°,具有较宽的视角,从侧面观看也不会失真。

OLED低温特性好,在-40℃都能正常显示,目前航天服上也使用OLED作为显示屏。而TFT-LCD的响应速度随温度发生变化,低温下,其响应速度变慢,并且,在东北各地冬天的温度特别低,因而采用OLED显示屏是非常适

合东北等地冬天气温特别低的地方。由于 OLED 显示屏采用的二极管会自行发光,因此不需要背面光源,发光转化效率高,能耗比液晶低,OLED 能够在不同材质的基板上制造,厂家甚至可以将电路印刷在弹性材料上,做成能弯曲的柔软显示器。它的 IO 口占用少,采用 SPI 或 I²C 进行通信,可以显示汉字、ASCII、图案等,对比度非常高,并且成本低。

本文利用 Altium Designer 设计红外测温枪的原理图和 PCB,设计的硬件电路图如图 2 所示。

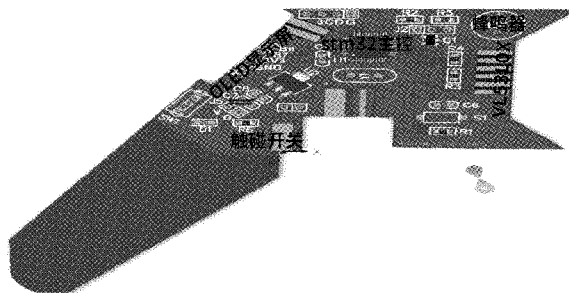


图 2 红外测温电路图

将画好的 PCB 板进行封装打样,再用烙铁焊好各部件,然后用编写好的程序进行烧写,最后制作成易携带、测

距远、精度高、小巧、应用前景广的手持红外测温枪,实物图如图 3 所示。

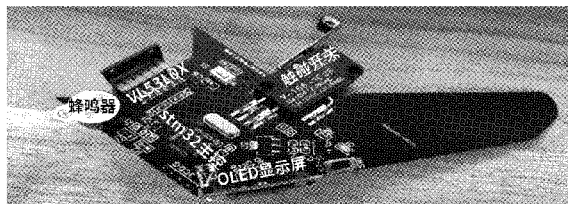


图 3 红外测温枪实物图

2 红外测温系统软件设计

软件设计即嵌入式系统 C 语言程序设计,编译平台采用 Keil uvision5^[8-9]。首先进行系统初始化,然后判断按键是否按下,如果按下则响应红外热像仪传感器对人体辐射出来的红外阵列温度的采集,在对采集的温度由 I²C 接口传到 STM32 主控制器,主控制器对 64 个像素点温度信息进行快速排序法处理,然后进行排序钝化后的距离温度补偿,激光测距模块通过 I²C 总线进行串口通信,从而获得采集人体温度时的距离,最后通过 OLED 显示屏显示出采集的温度信息。系统程序流程如图 4 所示。

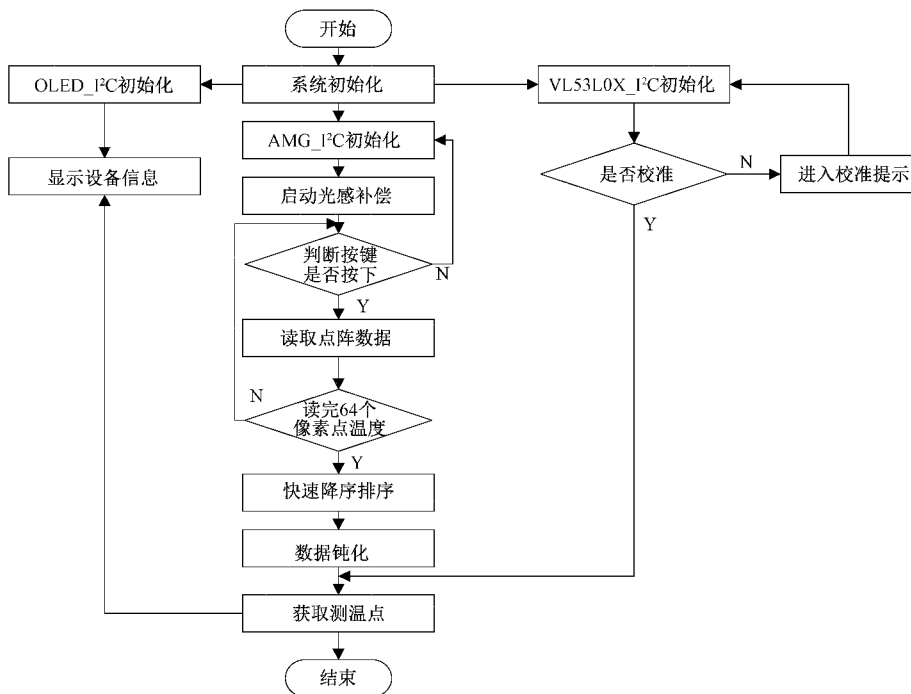


图 4 系统程序流程

2.1 人体温度信息采集

在 AMG8833 初始化过程中,需要对红外热像仪传感器的工作参数进行配置,即正常的工作方式、软件复位以及帧率的设定。在初始化完成后,AMG8833 由 128 个 Temperature 寄存器来进行一次性的读取 64 个像素点的温度值,存储在自定义的数组中,本文通过 XCOMV2.0 串

口调试助手将采集的原始温度显示出来,如图 5 所示。

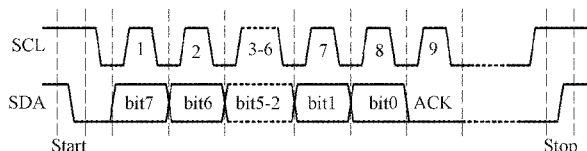
Temperature 寄存器是 1 个 8 位寄存器,红外阵列检测 1 个像素点的温度是由高 8 位地址寄存器及低 8 位地址寄存器来表示的。AMG8833 模块含有热敏电阻,检测的温度可以存储在 Thermistor 寄存器中,从而可以长时间的工作,并且可以在程序中用热敏电阻值进行测量温度的修正。



图 5 AMG8833 采集的原始温度

2.2 I²C 总线读取 AMG8833 模块温度

I²C 总线由 PHILIPS 公司开发用于微控制器与其他外围设备的通信^[10-11]。它是由数据线 SDA 和时钟线 SCL 组成的串行总线,如图 6 所示。总线上可以同时连接多个器件,所有器件的 SCL 都连到一起,所有 SDA 都连到一起,它在微控制器与被控 IC、被控与被控之间进行双向通信,而 AMG8833 模块只能通过 I²C 和 STM32 主控制器进行通信,在高速 I²C 总线一般可达 400 kbit/s 以上。

图 6 I²C 总线时序图

I²C 协议包括空闲、起始信号、停止信号、数据传输、应答信号、数据的有效性这 6 种状态,下面主要简要讲一下起始信号、停止信号及数据传输这 3 种重要类型信号。

起始信号: I²C 通信的起始信号的定义是 SCL 为高电平期间,SDA 由高电平变化到低电平产生的一个下降沿,表示一次通信过程的开始,如图 6 中的 Start 部分所示。

数据传输: I²C 通信是高位在前,低位在后。I²C 通信要求当 SCL 在低电平的时候,SDA 允许变化,也就是说,发送方必须先保持 SCL 是低电平,才可以改变数据线 SDA,输出要发送的当前数据的一个位;而当 SCL 在高电平的时候,SDA 绝对不可以变化,因为这个时候,接收方要来读取当前 SDA 的电平信号是 0 还是 1,因此要保证 SDA 的稳定,如图 6 中的每一位数据的变化,都是在 SCL 的低电平位置。8 位数据位后边跟着的是一位应答位。

停止信号: I²C 通信停止信号的定义是 SCL 为高电平期间,SDA 由低电平向高电平变化产生一个上升沿,表示一次通信过程的结束,如图 6 中的 Stop 部分所示。

2.3 激光测距模块软件设计

激光测距模块 VL53L0X 的 SDA 连接 STM32 的 A2

引脚,SCL 连接 A3 引脚,首先进行 VL53L0X 各测量模式参数的设定,然后配置 VL53L0X 设备 I²C 的地址,再进行 VL53L0X 复位函数的设置,在 VL53L0X 初始化时,需要进行校准已获取设备 ID 信息,如果没有校准,那么就需要打印错误的信息,以保证初始化时是校准好的。

2.4 OLED 显示屏软件设计

OLED 显示屏的 SDA 连接 STM32 主控的 PB7 引脚,SCL 连接 PB6 引脚,用 C 语言编程向 OLED 写入数据、写入命令以及全屏填充的设定,再设置起始点坐标 (x, y) , 然后进行显示字符及字符串的设置,设置好字符及字符串后需要将 OLED 清屏,并设置电荷泵的开关来进行 OLED 显示屏的唤醒和休眠,然后进行 OLED 初始化的设置,在进行 OLED 初始化之前需要进行延时的设置,这点很重要,上电后延时,没有错误的冗余设计,最后采用 OLED_Fill 和 OLED_ShowNum 函数将字符和数字显示在屏幕上。

3 距离温度补偿研究

现在大多数测温计都只能在距离很近的条件下进行测温,但是这在新冠疫情情况下是相当不安全的,所以本文致力于设计远距离的高精度测温系统,通过采集不同距离的 64 个红外点阵温度值,然后采用快速降序排序法对 64 个温度点进行处理,再经过多次的实验得以实现红外测温系统测量距离远、精度高^[12]。

3.1 温度点采集

本文首先采用 AMG8833 模块对不同距离的 64 个红外温度读数进行采集,在没有进行处理时在距离较近时 64 个温度点的波动比较小,而在距离比较远的时候采集的 64 个温度点波动比较大,并且波动的还具有一定的规律,将 AMG8833 模块采集的温度点通过 I²C 总线通信传到 STM32 主控制器上,然后再利用 XCOM V2.0 串口调试助手将采集的温度点显示出来,得到 64 个不同温度点在相应的软件进行编程画图仿真,从而得到不同距离下各个的红外点阵测温值,具体采集的不同距离的温度点如图 7 所示。

3.2 5 次线性拟合函数补偿温度

将采集到的不同距离的红外阵列温度点采用快速降序排序法对 64 个温度点进行处理,快速排序,又称划分交换排序,作为八大排序法之一,是一种排序算法,最早由东尼·霍尔提出^[13-16]。研究中去掉最高的 4 个温度点和 4 个最低的温度点,以屏蔽掉 8 个风险高的温度点,进而对不同距离的第 5~60 个温度点进行求和,然后再作平均,再用第 1 个距离的优化温度值与其他不同距离的各个优化温度值进行作差,从而得到不同距离的温度补偿,再利用仿真软件中的 Polyfit 函数进行 5 次线性拟合得到函数的系数,最后采用 C 语言在 MDK5 软件上进行编程,进行软件对硬件的控制,从而实现距离温度的补偿,达到测温值精度的提高,线性拟合函数的仿真图如图 8 所示。

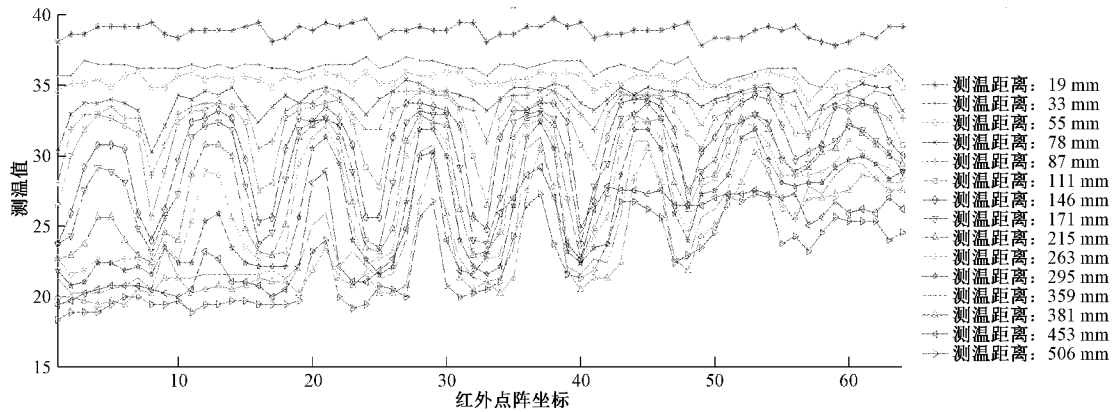


图 7 不同距离的红外点阵测温值

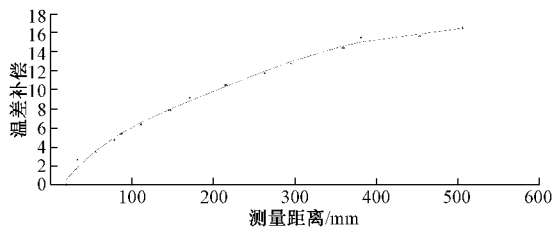


图 8 线性拟合函数的温度补偿

3.3 排序钝化后的温度补偿

在采用快速降序排序法对 64 个温度点进行处理后，

屏蔽掉 8 个高风险的温度点,进行排序钝化后的红外点阵坐标的测温值比没有进行处理红外点阵坐标的测温值波动小,并且在距离比较近的情况下红外点阵坐标的单点测温值的波动更加平缓,在进行不同距离的排序钝化温度补偿后,测温精度具有明显的改善和提高。利用仿真软件进行编程并绘图仿真不同距离排序钝化后点阵坐标的测温值,从图中可以明显的看到不同距离排序钝化后的红外点阵温度比没有进行处理红外点阵坐标的测温值要更加有序、平缓。不同距离排序钝化后的仿真图如图 9 所示。

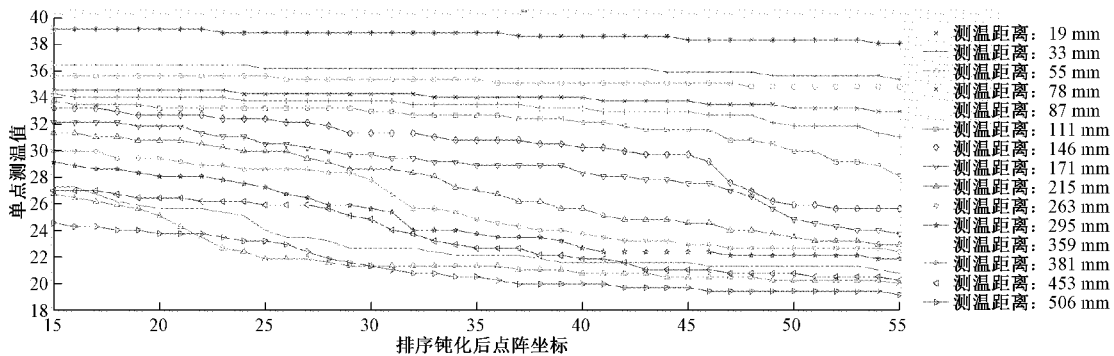


图 9 不同距离排序钝化后的温度补偿

4 系统实验结果

在相同距离相同环境下进行人体额头的没有温度补偿的温度测量以及进行温度补偿后的温度测量,并用水银温度计测得人体的温度作为基准值,图 10 所示为没有进行距离温度补偿进行实验采集的人体额头温度值为 21.3℃。

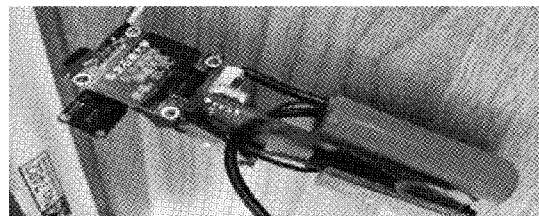


图 10 没有进行温度补偿的温度采集

图 11 所示为进行了距离温度补偿并进行实验所采集到的人体额头温度值为 36.4℃。

图 12 所示为采用水银温度计用了 5 min 测得人体的温度值为 36.2℃,由测得的未进行距离温度补偿的温度值和基准值误差 14.9℃,而进行距离温度补偿的测温值

和基准值误差仅 0.2℃,而水银温度计的误差值为 0.1℃,由此可知本设计符合预期,具有很大的应用价值,上面的显示结果只是实验中的某一次,经过反复多次测量,经过距离温度补偿的的温度值都与进行水银温度计测量的温

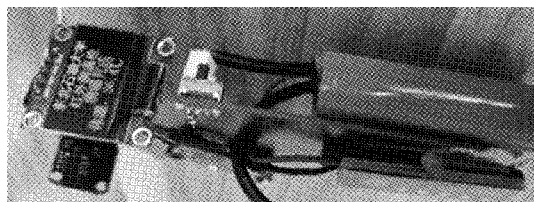


图11 进行距离温度补偿的温度采集

度相差很小,有时测得与水银温度计的温度值一样,进行距离温度补偿的误差很小,其精度得到了很大地提高。

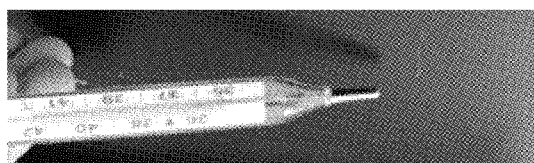


图12 水银温度计测得的温度值

5 结 论

本系统基于微控制器 STM32F103C8T6,使用 AMG8833 红外热像仪传感器模块对人体进行测温,再由 OLED 显示屏、按键、蜂鸣器、激光测距模块等外设设计了红外测温系统。本系统致力于提高红外热像仪传感器的测温精度,并采用距离温度补偿来进行测温精度的提高,经过多次实验得到进行距离温度补偿的测温值比没有进行距离温度补偿的测温的精度提高很多,和测量的基准值相差很小,并且比基准值测量的时间要短很多,一般进行温度计的体温测量需要 5 min,而本系统只需要几秒就可以测得温度值,而且可以在距离 1 m 以外进行人体测温,而误差的范围在可接受范围之内,达到设计要求,因此它是一款测得距离远、精度高、测量速度快、应用前景十分广泛的红外测温设备

参考文献

- [1] 王春雨,张明英,邓颖,等. iThermonitor 智能体温计和红外额式体温计的应用效果比较[J]. 护理研究,2020,34(5):891-893.
- [2] 吴海兄,丁哲文,陈伟明,等. 基于 STM32 的无线红外测温系统设计[J]. 电子测试,2020(19):18-20,9.
- [3] 邹连英,徐敏. 基于 STM32 的红外热成像测温系统的设计[J]. 自动化与仪表,2021,36(2):50-53.
- [4] 王彰云. 基于 STM32 的人体红外测温系统设计与实

现[J]. 湖北农机化,2020(18):118-119.

- [5] 杨风健,刘军,程程浩,等. 基于 MLX90620 的多点动态温度监测系统[J]. 仪表技术与传感器,2015(12):75-78.
- [6] 付超. 四轴飞行器控制系统设计与组合导航研究[D]. 天津:天津大学,2018.
- [7] 莫然. 高精度红外测温系统设计[D]. 四川:电子科技大学,2020.
- [8] 葛泽勋. 医用红外测温仪及其关键技术研究[D]. 长春:长春理工大学,2019.
- [9] 曹明超. 红外测温系统的实现与修正[D]. 内蒙古:内蒙古大学,2015.
- [10] 刘晓光,余开. 基于红外热成像的回流焊炉测温仪设计[J]. 国外电子测量技术,2019,38(4):121-124.
- [11] 胡慧,李亮杰,郭洪华,等. 一种可用于新冠肺炎防控的红外测温枪[J]. 湖南工程学院学报,2021,31(1):18-21.
- [12] 杜玉玺,胡振琪,葛远航,等. 距离对不同强度热源红外测温影响及补偿[J]. 红外技术,2019,41(10):976-981.
- [13] 王军帅,田军委,张杰,等. 一种红外测温的误差建模与补偿方法[J]. 西安工业大学学报,2021,41(1):40-45.
- [14] 张志强,王萍,于旭东,等. 高精度红外热成像测温技术研究[J]. 仪器仪表学报,2020,41(5):10-18.
- [15] 刘泽元,尚永红,林博颖,等. 红外测温设备的空间环境影响及防护研究[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(4):165-171.
- [16] 刘文锋,宋德杰,刘俊成,等. 基于 STM32 的红外测温仪的研制[J]. 微型机与应用,2012,31(2):22-24.

作者简介

任晶秋,副教授,主要研究方向为信息与信号处理、无线通信及移动定位。

E-mail: renjingqiunepu@126.com

钟攀,硕士研究生,主要研究方向为 ARM 系列单片机开发及嵌入式系统开发。

E-mail: zp349599145@163.com

张琳,硕士研究生,主要研究方向为移动边缘计算与系统资源调度、嵌入式无线系统开发。

E-mail: zlin332020@163.com

樊宗源,硕士研究生,主要研究方向为 5G 中 SCMA 的关键技术。

E-mail: 15003505317@163.com