

基于移动目标检测的非接触式环境 自适应人体测温仪设计

马兴录, 孙 昊, 王先鹏, 李晓旭

(青岛科技大学 信息科学技术学院, 山东 青岛 266061)

摘要: 在新型冠状病毒还未被完全控制的情况下, 公共场所必须筛选出发热或者未戴口罩的人员, 以防止聚集发病; 目前常用的测温方式大都采用手持测温枪或热成像体温检测仪进行测温; 在检测过程中, 前者需要人员手持设备进行测温, 而后者测温仪受环境温度、光照等条件变化的影响较大; 利用点阵式红外成像模块结合树莓派, 基于移动目标检测的红外测温算法设计了一种能够自动测量人体温度、受环境影响小的非接触式测温仪; 同时配备口罩检测功能, 用于室外或室内, 针对人员进行测温 and 口罩检测, 实现了检测一张人脸口罩图像仅需要 200~300 ms; 在设计过程中, 需要考虑到测量距离、环境温度、目标温度等方面对结果的影响, 经测试实现了测量误差在 0.3 °C 以内, 保障了测温准确度的同时提高了测温速度。

关键词: 非接触式体温检测; 树莓派 4b; 点阵式红外热成像; 口罩佩戴检测

Design of Non-contact Environment Adaptive Human Body Thermometer Based on Moving Target Detection

MA Xinglu, SUN Hao, WANG Xianpeng, LI Xiaoxu

(College of Information Science and Technology, Qingdao University of Science and Technology, Qingdao 266061, China)

Abstract: When the new coronavirus has not yet been fully controlled, public places must screen people who have a fever or who do not wear a mask to prevent clusters and illnesses. Currently, most commonly used temperature measurement methods use hand-held thermometers or thermal imaging body temperature detectors for temperature measurement. In the detection process, the former requires personnel to hold the device for temperature measurement, while the latter thermometer is greatly affected by changes in environmental temperature, light and other conditions. Using dot matrix infrared imaging module combined with Raspberry Pi, based on the infrared temperature measurement algorithm of moving target detection, a non-contact thermometer that can automatically measure human body temperature and is less affected by the environment is designed. At the same time, it is equipped with a mask detection function, which is used outdoors or indoors to perform temperature measurement and mask detection for personnel, so that it only takes 200~300 milliseconds to detect a face mask image. In the design process, it is necessary to consider the influence of measurement distance, ambient temperature, target temperature, etc. on the results. After testing, the measurement error is within 0.3 °C, which ensures the accuracy of temperature measurement and increases the temperature measurement speed.

Keywords: non contact temperature measurement; raspberry Pi 4b; dot array infrared thermal imaging; face mask wearing detection

0 引言

自 1800 年英国 F. W. 赫歇耳发现红外辐射、红外技术发展至今, 基础设施建设、工业生产、消防安保等领域都离不开红外成像技术^[1-2]。1934 年 Hard 研究了皮肤对红外线发射率的影响, 确立了红外对人体测温的意义^[3]。2003 年, 非典型性肺炎爆发时期, 为了确保人群流动安全以及减少交叉感染, 红外热像仪的应用就体现出了巨大的优势, 对进出医院的人群进行发热检查^[4]。2010 年, Nguyen 等人对红外检测系统温度值进行测试, 在常规情况下, 热成像测温的准确值与灵敏度较高^[5]。

2019 年 12 月在武汉发现的新型冠状病毒患者初期会出现发热乏力、干咳等症状^[6], 在这个特殊时期使用非接触式红外测温仪筛选发热人员十分必要^[7]。传统的医用红外测温仪大多以单片机为主控制器; 由许新建等人设计的红外测温仪稳定性高、各项参数优越, 可以实现患者体温的准确检测^[8]。但是这样的红外测温仪机动性差, 不满足疫情下的灵活的非接触式检测应用需求。由张菁设计的红外体温计^[9], 具有基本的非接触式测温及报警功能, 其以单片机为核心主板, 不利于二次开发, 且不能实现针对移动目标的温度测量。

收稿日期: 2020-12-18; 修回日期: 2021-01-21。

基金项目: 科技部国家重点研发计划子课题(2017YFB1400903)。

作者简介: 马兴录(1970-), 男, 山东青岛人, 硕士, 副教授, 主要从事嵌入式系统方向的研究。

引用格式: 马兴录, 孙 昊, 王先鹏, 等. 基于移动目标检测的非接触式环境自适应人体测温仪设计[J]. 计算机测量与控制, 2021, 29(8): 245-249.

本文设计的测温仪可在多种环境下进行非接触式的体温检测,同时可识别人员是否佩戴口罩。使用树莓派为主控板搭配红外热成像模组,基于移动目标检测的红外测温算法实现了能够快速准确地探测测量范围内的人体温度。

1 设计原理系统结构

1.1 红外测温原理

在自然界中一切高于绝对零度的物体表面不断地向周围空间辐射红外线^[10],根据物体的红外辐射特性:物体的红外辐射能量大小及波长的分布与物体的温度有密切联系^[11]。因此,通过对物体自身辐射的红外能量的测量,便能准确地测定它的表面温度^[12]。斯特藩—玻耳兹曼定律给出了物体温度的红外辐射的关系,在红外测温中,该定律可用来实现温度标定^[13]。

斯特藩—玻耳兹曼定律提到,物体辐射能量的大小与该物体绝对温度的 4 次方成正比关系。定律给出了一个黑体的辐射度与温度的关系:黑体表面单位面积在单位时间内辐射出的总能量 W 与黑体本身的热力学温度 T (又称绝对温度) 的四次方成正比^[14]。即:

$$W = \epsilon \sigma T^4 \quad (1)$$

其中: ϵ 为黑体的辐射系数,绝对黑体的辐射系数 ϵ 为 1; 非绝对黑体的辐射系数小于 ϵ_1 , 与物体的本身的温度及其形成材料的特征有关。比例系数 σ 称为斯特藩—玻耳兹曼常数为固定值。可以看到: 温度和黑体辐射出射度成指数关系,且随着温度上升,黑体辐射度将极具升高^[15]。实际待测物体通常不是黑体,对于非黑体的辐射定律一般比较复杂,但仍可借助于黑体辐射定律来研究^[16]。

1.2 系统结构

如图 1 所示,本文设计的 QUST-CWY01 型非接触式智能测温仪采用树莓派 4 电脑为核心,以点阵式红外成像模组为主要测温部件,结合可见光摄像头,编写相关软件及算法,实现了非接触式自动测温、口罩佩戴检测、语音报警、检测界面可视化以及手机及 PC 端与测温仪界面同步显示等功能。

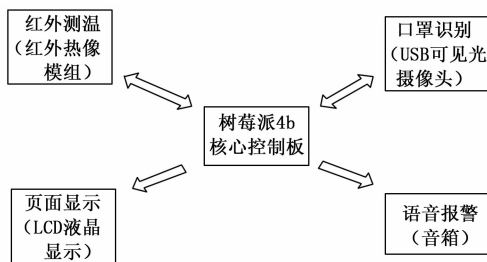


图 1 系统整体结构

其中,红外测温部分采用点阵式红外成像仪进行测温,基于移动目标检测的测温算法,准确判断人员靠近及远离情况。当人员在测温范围(约 50 cm)之内,能进行准确测量时,系统将根据距离自动校准发射系数,针对室外复杂环境,自适应外界温度的变化,测量进行多次测量取平均,获得可靠的温度值。口罩检测部分采用机器视觉算法检测

人脸及口罩。能针对戴口罩与否发出报警信息。如果被检测人未佩戴口罩,视频界面中人脸将会被红框标注,并且语音设备会发出报警信号进行提醒。

1.3 主要设计参数及性能指标

本设计中使用的核心板树莓派 4b 配置 1.5 GHz 运行的 64 位四核处理器,2 GB RAM,2.4/5.0 GHz 双频无线 LAN,蓝牙 5.0/BLE,千兆以太网接口,USB3.0 接口。

设计搭配 YKHTPA32DA 型红外热像仪模块。使用 TTL 串口直接输出热源信息,工作电压 +5 V,功耗: ≤ 0.3 W。光学视场为 32×32 温度点输出。具有体积小、成本低、易集成的特点。

该测温仪功耗低且散热能力强,系统可连续工作数日。其重量约 1 kg,方便携带和安装,测温距离为 10~50 cm;测温精度为 ± 0.3 °C;测温视场角为 90×90 ;测温周期是 0.5 s;工作温度 $-200 \sim +85$ °C。

2 硬件结构设计

设计中系统硬件组成结构如图 2 所示,包括树莓派 4b、7 寸电容带外壳触摸屏、可见光摄像头、YKHTPA32DA 红外热成像模组、115 200 bps 串行通讯接口和音箱。

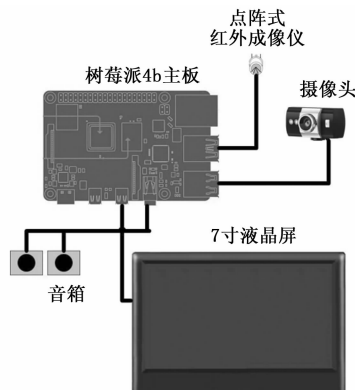


图 2 系统硬件结构

使用树莓派 4b 为核心控制板,其操作系统基于 Linux,具有较高的开放性、实时性以及高效的处理能力。利用点阵式红外热成像传感器进行温度测量,测量到的区域内的热源信息将其转换为常见的温度值,实现 32×32 点实时温度输出。如图 3 所示,模块的测温光学视场中可解析出 1 024 个温度像素值组成的一帧温度图像。

红外测温模块与树莓派之间通过 TTL 串口进行通信,可选用 USB 口和 UART 口,不同的接口波特率不同。本设计中使用 UART 串口波特率为 115 200,UART 串口有 4 个引脚分别为供电 5 V,地线 GND, TX 和引脚 RX 引脚分别为发送端和接收端。UART 串口连接树莓派需要用到一个 TTL 串口转 USB 的模块,模块的型号(编号)为 CH340,转串口模块的引脚和红外模组的 UART 串口焊接,接线方式为 5 V 连接 5 V, GND 连接 GND, TX 与 RX 引脚交叉连接。

报警与页面显示部分选择的是适配树莓派 4b 的基础音箱以及可见光摄像头,其中音箱与树莓派之间使用 3.5 mm 耳机接口连接,可见光摄像头使用的是常见的 USB 接口。

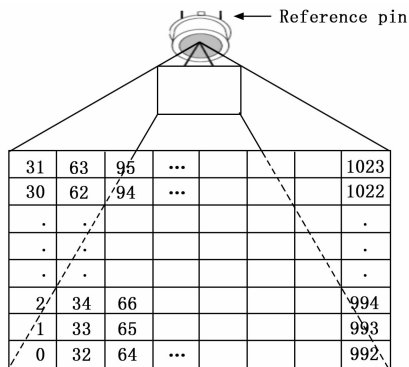


图 3 测温光学视场

3 系统软件设计

3.1 系统功能概述

测温仪系统软件总体结构如图 4 所示, 系统的功能主要有体温测温、口罩识别、语音报警、界面显示以及同步显示 5 个功能。其中的 server 服务端主要是对测温功能模块和口罩识别模块的数据进行处理, 是一个单独的进程。其通过稳定的 TCP 网络通信获取其他功能模块发来的数据, 数据处理之后如出现异常则会进行语音报警。

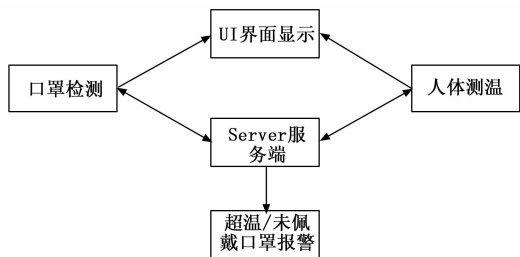


图 4 软件功能结构图

同时, 测温仪配置 WiFi 功能并且实现测温及口罩识别页面可视化。设备开机后, 在附近的范围内使用 PC 端或手机端可搜索到“qust_car”的 WiFi 热点, 连接该热点, 手机端或者 PC 端利用 VNCViewer 软件可同步显示设备画面。

3.2 测温功能模块设计

3.2.1 温度检测流程

体温检测系统以红外热像仪模块为输入点, 其软件功能流程如图 5 所示。当人员在 0.5 m 之内时, 系统对体温温度值进行多次测量取平均, 获得准确的温度值。当测得的温度低于 37.3 °C 发出“体温正常”提示音, 液晶屏温度背景色显示为安全温度绿色; 当温度在 37.3 ~ 38.2 °C 时, 发出“体温低烧”报警, 液晶屏温度背景色显示为低烧黄色; 当温度在超过 38.2 °C 时, 发出“体温高烧”报警, 液晶屏温度背景色显示为高烧红色并闪烁。

3.2.2 基于移动目标检测的测温算法

1) 温度获取:

根据测温模块的通讯协议, 主机向模块发送一段指令数据, 模块返回一串约 2 060 个字符带有温度数据的数据串。需要将其中温度相关的数据切分出来, 每 4 个为一个像素点的温度数据 (每个像素点的温度是有两个字节组成,

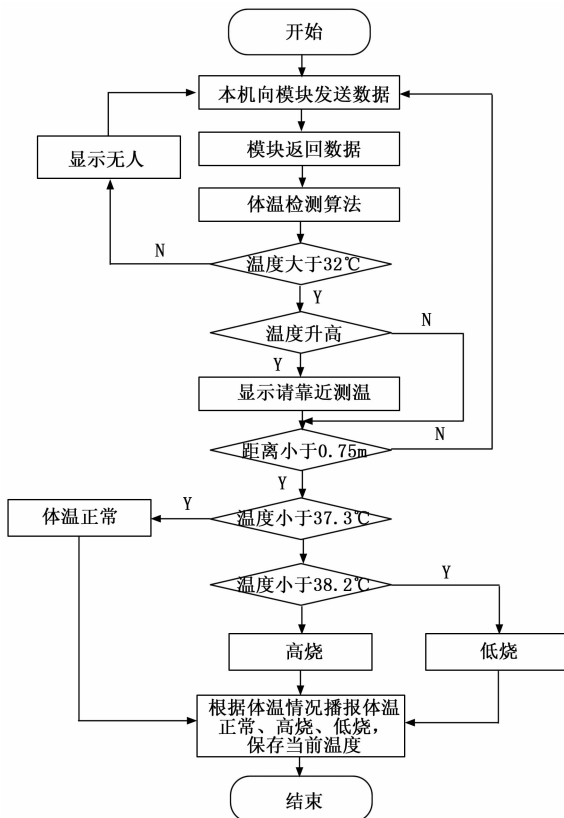


图 5 测温流程图

高 8 位在左, 低 8 位在右), 然后将温度数据转换成温度。温度的计算公式如下:

$$T = \frac{[hex2D(Th) * 256 + hex2D(Tl)] - 2731}{10} \quad (2)$$

其中: Th 为模块返回的温度数据的高八位, Tl 为模块返回的温度数据的低八位, 均以 16 进制的形式呈现, 公式中的常量 2 731 的确定方法为红外模块协议设定的固定值, 其他各项用于温度计算的参数均为实际值的 10 倍。使用 hex2D 函数 (hex to decimal) 将其转换之后进行计算获得温度值 T 。随后将一帧温度图像中的所有温度数据存在一个列表中, 按 1 024 像素点顺序排列。

2) 移动目标温度校准算法:

与传统的测温方式不同, 本文考虑外界环境的变化影响测温的准确性, 因此提出了在多变的外界背景环境下基于移动目标检测的体温检测算法。

该算法的思路是: 外界背景温度变化很慢, 早上、中午、晚上会有所不同, 但在某时间段 (10 min 左右) 之内基本不变。保留背景数据, 当有人进入时 (测试人员为移动的测温目标), 部分数据会有较大变化 (可能变大, 也可能变小, 考虑到夏季人体温度低于环境温度所以会变小), 当前数据减去背景数据, 就是变化区域的数据。求取变化区域中按最高值降序排列取第 5 ~ 15 点共 10 个点然后进行平均计算获得可信的温度值数据。

算法具体实现:

设备在默认环境中进行初始化, 初始化时间内将每次

的获取到的温度数据进行缓慢平均，即 0.7 乘以背景温度加上 0.3 乘以当前温度，进行多次平均相加之后，除以次数获取到的平均值即作为背景温度。

背景温度初始化之后，获得测温数据突变点（突变点的确定是通过限定一个温度阈值，每当有测温点的温度变化超出了这个阈值即判定为突变点。）的个数，并记录这些突变点位置及数据。获得突变点的个数之后，通过突变点个数确定人员与设备之间的大体距离，公式：

$$X = \frac{820 - count}{800} - 0.1 \quad (3)$$

其中： x 为距离（m）， $count$ 为突变点个数。其中的常量 820 为人脸在距离设备 0.1 m 时的突变点个数，常量 0.1 即为设定的固定距离 0.1 m。并且经过多次测试，我们认为当突变点个数较多（ >800 ）时，判定为距离过近，此时将距离 x 设为固定值 $x = -1$ 用于后面校准方式的选择判定；当突变点较少（约 <5 ）时，认为无人，此时通过缓慢跟随算法继续平均背景温度。获得距离之后，根据温度距离补偿算法公式计算距离系数 $disc$ ：

$$disc = 0.6839x^3 - 0.7337x^2 + 0.2992x + 0.9995 \quad (4)$$

式（4）中， x 为测到的距离，其他参数之前的系数（如 0.683 9、0.733 7 等常量）为模块根据发射率温度校准协议通过上位机设置的人体发射率参数确定，仅用于对人体表面温度的测量校正时使用。

温度校正公式：

$$FT = T_0 \times disc + dr \quad (5)$$

其中： FT 为校正之后的温度值， T_0 为初始温度， $disc$ 为上式中所获得的距离系数， dr 为环境温度偏差。该差值需要和高精度额温枪校准。比如红外模块测量计算得到初始温度 * 距离系数之后，计算温度为 35.7 °C，额温枪得到 36.2 °C，那么偏差为 0.5 °C，该参数根据实际情况进行调整。

3.2.3 核心算法伪代码

Function: GetTemp(blist) 用于测量温度校正计算。

Input: 当前时刻温度数据列表 blist, 包含 $32 * 32$ 共 1 024 个像素温度值。

Process1: 首先进行 20 次左右的初始化循环操作获得背景温度 (backTemp), $backTemp[p] = backTemp[p] * 0.7 + blist[p] * 0.3$ 。

Process2: 当有人进入时, 根据温度突变点个数 (countVar) 开始判断人员与设备的距离。

If: $blist(p) - backTemp(p)$ 的绝对值 $>$ 前期通过额温枪测得的人体环境温度差。

Do: 认为该点为突变点, 即 countVar 值 + 1。

再根据突变点的个数及当前时刻的变化情况计算人员距离 (dis)
 $dis = (820 - countVar) / 800 - 0.1$

Process3: 通过 process2 过程中获得的距离计算温度。

if (countStatus == 0): $top10 = \text{heapq.nlargest}(10, backTemp)$

elif (countStatus == 1): $top10 = \text{heapq.nlargest}(10, blist)$

elif (countStatus == 2): $top10 = \text{heapq.nlargest}(10, blistVar)$

if (countStatus == 0):

avgcount = np.mean(backTemp)

else: avgcount = np.mean(top10)

得到一个未校准的温度值 avgcount。

Process4: 将 process3 中的温度值结合测量实验测得的校准系数一同传入校正公式得到最终可靠的温度值 (wendu)。

$temp = \text{round}(((avgcount - 2731) / 10), 1)$

if (dis == 0):

wendu = $\text{round}((temp * xishu + 0.5), 1)$

else: wendu = $\text{round}((temp * xishu + TEMPADJUST), 1)$

return wendu

Final Output: 校正后的温度 wendu

3.3 口罩检测

摄像头捕捉到图像信息传回到树莓派中进行数据处理，人脸口罩识别系统流程如图 6 所示。通过口罩检测算法和防误判算法检测是否戴口罩。如果被检测人未佩戴口罩，视频中人脸将会被红框标注进行提醒，系统抓取人脸图像保存并且语音设备会发出报警信号。如果人员佩戴口罩，则会被绿框标注。

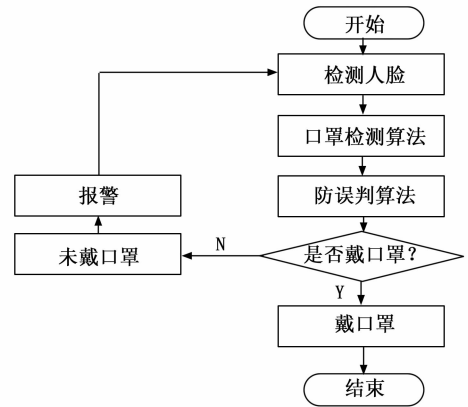


图 6 人脸口罩识别系统流程图

口罩识别的核心算法采用了 SSD 架构的人脸检测算法。搭建的神经网络中主干网络有 8 层，并且有 5 个定位和分类层，一共只有 28 个卷积层，而每个卷积层的通道数，是 32、64、128 这 3 种，所以这个模型非常小，它只有 101.5 万个参数。因此处理图片的速度得到了提升，在树莓派 4 上处理一张图片只需 200~300 ms。

4 测试与分析

完成了对系统的软硬件设计后需要进行测试验证人体测温系统的工作是否处于稳定状态。给树莓派通电成功启动系统，靠近摄像头，系统可及时反映温度变化及口罩情况。图 7 为红外热像模块在测温过程中当有人进入时的温度变化曲线，左框部分为人员进入时的刻度点，右侧框为人员离开时的刻度点。

在测温过程中像素点的温度值是上下有小幅浮动的，为了使温度更加稳定可以将所测区域的温度值取一定数目的像素温度值进行平均如图 8 所示，图 8 (a) 中为平均之前，图 8 (b) 为平均之后的曲线，可以看出图 8 (b) 中的曲线较图 8 (a) 更加平整稳定。

后期修改了核心算法，提高了人员判断的灵敏度：参照移动目标检测算法，扣除背景温度，目前检测比较灵敏。

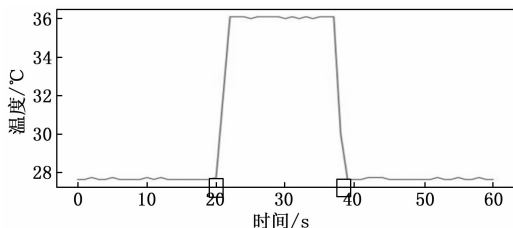
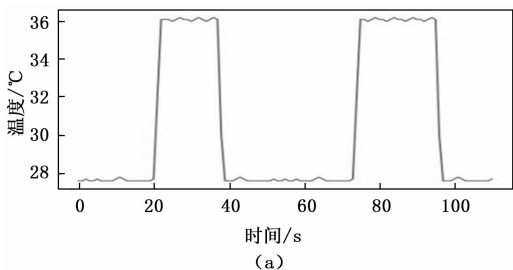
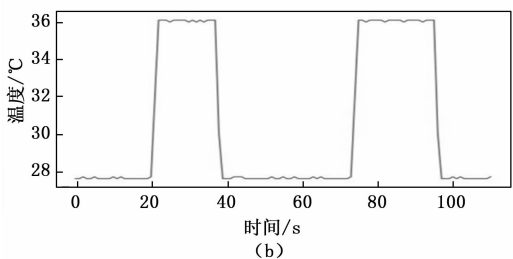


图 7 人员进入温度变化曲线



(a)



(b)

图 8 温度稳定度分析

人员靠近及远离判断准确。针对室外复杂环境, 可以自适应外界温度的变化, 可以准确识别人员进入和离开。室外由于受天气影响较大, 特别是大风天气影响更甚, 这时脸部温度较低, 需要靠近至 10~20 cm 之内可测得温度, 无风的情况下, 可在 30~50 cm 距离内测到温度, 需要定期与额温枪进行校准。使用时可安装防雨防风通道进行测温, 以保证最佳准确度。

表 1 是在校准误差为 0.5 °C 的情况下进行了测试得到的校准后的人体温度的反馈情况。

表 1 设备测试结果

高字节	低字节	外界温度/°C	校正温度/°C	语音播报
0x0B	0x2B	19	36.0	体温正常
0x0B	0x2D	26	36.2	体温正常
0x0B	0x2C	28	36.1	体温正常
0x0B	0x2B	19	36.0	体温正常
0x0B	0x2A	19	36.0	体温正常
0x0B	0x2A	16	35.9	体温正常

测温仪投入实际使用测试, 一星期内从周一至周六, 连续运行, 系统稳定可靠, 没有出现死机或重启现象, 硬件可靠性得到验证, 测试反馈总效果良好

5 结束语

本文设计的 QUST-CWY01 型非接触式智能测温仪利用树莓派搭载红外热成像模组, 基于移动目标检测的测温

算法实现了在复杂多变的外界环境中测量获取准确可靠的人体温度, 测量误差不高于 0.3 °C。在人员进入测温范围内可对人员进行自动测温并且能够识别人员口罩佩戴情况, 识别率约 95% 以上。

后期该测温仪通过选择性能更好、分辨率更高的红外热成像模组, 可以实现更精确的体温检测。系统后续可添加更多的功能, 比如将智能人行闸道与测温仪实现数据通信, 通过测温仪的反馈结果来控制人行闸道的开关等等。

综上, 该设计可以实现筛选发热及未戴口罩人员, 在防疫测温领域具有较大应用前景。

参考文献:

- [1] 李其昌, 李兵伟, 王宏臣. 非制冷红外成像技术发展动态及其军事应用 [J]. 军民两用技术与产品, 2016 (21): 54-57.
- [2] 张敏, 韩芳, 康键, 等. 红外热成像技术在民用领域的应用 [J]. 红外, 2019, 40 (6): 35-43.
- [3] HARDY J D. The radiation of heat from the human body: III. The human skin as a black-body radiator [J]. Journal of Clinical Investigation, 1934, 13 (4): 615-620.
- [4] CHIU W T, LIN P W, CHIOU H Y, et al. Infrared thermography to mass-screen suspected SARS patients with fever [J]. Asia-Pacific Journal of public health/Asia-Pacific Academic Consortium for Public Health, 2005, 17 (1): 26.
- [5] NGUYEN A V, COHEN N J, LIPMAN H, et al. Comparison of 3 infrared thermal detection systems and self-report for mass fever screening [J]. Emerging Infectious Diseases, 2010, 16 (11): 1710-1717.
- [6] 张维, 侯维, 李侗曾, 等. 74 例新型冠状病毒肺炎临床特征分析 [J]. 首都医科大学学报, 2020, 41 (2): 161-167.
- [7] 刘雨薇, 龚仁蓉, 许瑞华, 等. 新型冠状病毒肺炎疫情期间发热筛查相关问题的证据总结 [J]. 护理研究, 2020, 34 (6): 929-933.
- [8] 许新建, 刘敬东, 毛坤剑, 等. 新型医用红外测温仪的设计 [J]. 医疗卫生装备, 2016, 37 (11): 44-47.
- [9] 张菁. 基于单片机的红外体温计设计 [J]. 数字技术与应用, 2017 (3): 171-172.
- [10] 李鑫, 于洋, 崔宏明, 崔再超, 李延增, 冉凡立. 红外测温仪的原理及应用 [J]. 煤矿安全, 2011, 42 (12): 81-84.
- [11] 崔雨, 李鸿飞. 红外测温仪的原理与实际应用指南 [J]. 自动化与仪器仪表, 2009 (6): 103-104, 107.
- [12] 周克良, 郭金妹, 聂磊. 基于 STM32F 电气火灾无线红外测温系统的设计与实现 [J]. 计算机测量与控制, 2014, 22 (10): 3108-3110.
- [13] 司可, 袁腾. 非接触式电站高温预警系统设计 [J]. 计算机测量与控制, 2020, 28 (10): 41-45.
- [14] 叶玉堂, 刘爽. 红外与微光技术 [M]. 北京: 国防工业出版社, 2010.
- [15] JOUSSOT R, HONG D, RABAT H, et al. Temperature measurement using infrared thermography of the dielectric in a DBD plasma actuator dedicated to subsonic airflow control [C] //International Conference on Plasma Science, 2010: 1.
- [16] 周庆福, 杨永军, 吕国义. 红外辐射测温仪及校准方法探讨 [J]. 计测技术, 2008, 28 (12): 33-35.