

基于热成像的动态多目标温度智能监测仪设计

江朝晖^{1, 2}, 朱家微¹, 邵其乐¹, 岳旭东¹, 洪石兰¹

(1. 安徽农业大学 信息与计算机学院, 安徽 合肥 230036;

2. 安徽省智慧农业技术与装备重点实验室, 安徽 合肥 230036)

摘要: 为了满足小型室内场所人员体温自动监测的需求, 设计一款低成本的动态多目标温度智能监测仪。采用高分辨率微型热成像模块 Lepton 3.5 获取热红外图像, 在 STM32H743 上搭载 TensorFlow Lite 深度学习框架, 监测热红外图像中的人体并标记其温度, 重点基于“滑动窗口”技术设计新的人体识别算法, 解决了由于 MCU 算力不足导致的视频卡顿问题。实验结果表明, 目标识别的准确率高达 99.7%, 监测多个动态目标温度时视频流畅。该温度监测仪体积小, 成本低, 监测目标多, 适用于家庭、办公室和实验室等场所。

关键词: 热红外成像; 温度监测; MCU; TensorFlow Lite; 目标识别

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 2095-8382 (2022) 02-058-05

Design of Dynamic Multi-Target Intelligent Scanner Based on Thermal Imaging

JIANG Zhaohui^{1, 2}, ZHU Jiawei¹, TAI Qile¹, YUE Xudong¹, HONG Shilan¹

(1. School of Information and Computer, Anhui Agricultural University, Hefei 230036, China;

2. Anhui Key Laboratory of Intelligent Agricultural Technology and Equipment, Hefei 230036, China)

Abstract: A low-cost dynamic multi-target scanner is designed to monitor body temperature automatically in small indoor places. The authors use Lepton 3.5, a high-resolution micro thermal imaging module, to acquire thermal infrared images, and apply deep learning framework TensorFlow Lite on STM32H743 to detect the human body in thermal infrared images and mark its temperature. A new algorithm for body recognition based on the sliding window technology is designed to fix video lag caused by insufficient MCU computing power. The experimental results show that the recognition accuracy reaches as high as 99.7%, and the video is smooth when monitoring multiple dynamic targets. With its small size, low cost and multi-target detection technology, the scanner is suitable for places including home, office and laboratory.

Keywords: thermal infrared imaging; temperature monitoring; MCU; TensorFlow Lite; object identification

新型冠状病毒感染肺炎已经成为威胁群众安全和社会稳定的重大公共卫生事件^[1], 患者常出现发热、干咳等呼吸道症状^[2], 所以体温监测是“抗疫”的重要手段之一。目前, 温度的测量方法主要

包括接触式测温和非接触式测温^[3], 红外体温枪测量额温的方式比较流行^[4], 但是体温枪测量额温时工作人员与监测人员距离近, 易产生交叉感染^[5]。热成像测温摄像头虽然可以快速无接触监测, 但是

收稿日期: 2021-06-25

基金项目: 安徽省高校自然科学研究重大项目 (KJ2019ZD20); 智慧农业技术与装备安徽省重点实验室自主创新研究基金 (APKLSATE 2019X002)

作者简介: 江朝晖 (1968-), 男, 教授, 硕士生导师, 研究方向为信息感知与智能处理;

朱家微 (1998-), 男, 硕士研究生, 研究方向为智能信息处理。

市面上的热成像测温摄像头动辄上千元,限制了应用和推广。本文欲用低功耗、可搭载深度学习框架的 MCU 和微型红外热成像模块,设计一种新型温度监测设备,旨在提高温度监测的效率和精确度,实现多目标温度实时智能监测的功能,并解决低功耗 MCU 搭载深度学习框架由于算力较低导致的视频卡顿问题,降低生产成本。此设备可以推广至各类小型场所,实时监测室内人员体温。

1 硬件结构

温度监测仪结构如图1所示,硬件部分由 MCU、热成像模块、LCD 显示屏和电源组成。MCU 选用 STM32H743,STM32H7 系列是 ARM Cortex-M 系列中的超高性能 MCU,支持各种深度学习框架。STM32H7 在 Cortex-M7 内核的基础上又增加了 Cortex-M4 内核,形成了双内核结构,可以有效地降低工作负荷,且成本较低。热成像模块采用 FLIR 的新型高分辨率 WIR 微型热成像模块 Lepton 3.5,最后成像显示在 TFTLCD 显示屏上。整个设备由额定输出功率为 2.035 W 的可充电锂电池供电,1 000 mAh 的容量可使设备持续工作约 6 个小时。

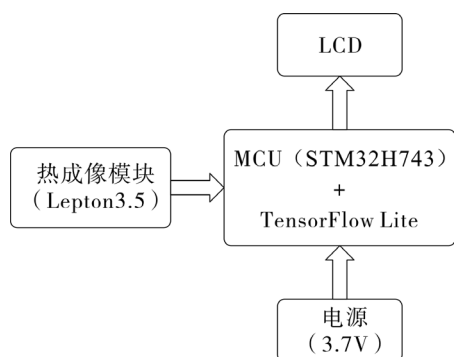


图1 温度监测仪结构框图

1.1 彩色热红外图像生成

Lepton 3.5 是 FLIR 公司推出的新型高分辨率 LWIR 微型热成像模块^[6]。160×120 列阵格式渐进式扫描物体,自动生成热红外图像。热红外图像每个像素点对应一个具体的温度值,共 19 200 个温度值,每个像素的温度精确度约为 0.050 ℃,并且自动进行温度补偿,避免输出图像受热像仪温度的影响。Lepton 3.5 使用 SPI 通信协议传输视频图像数据,CCI(类似 I2C)为控制端口协议,控制成像模式等功能。

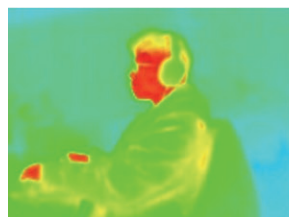


图2 原始图像



图3 彩色热红外图像

在初始化 Lepton 3.5 时,需要设置其工作模式为高增益模式。高增益模式可将红外传感器的大动态范围缩小到更合适的显示热红外图像的范围,增强输出图像,提高每一像素点的温度值精确度。测量物体温度时,通过映射操作设置合适的被监测物体的温度范围(例如,测量人体时温度范围设置为 20~40 ℃左右),用来过滤其它发热源的温度,避免成像模糊的情况,然后设置成像模式为灰色图像。通过设置监测温度范围值,把 Lepton 3.5 生成的红外温度图像限制在最大值和最小值之间,并缩放为 0~255 之间的值。根据物体温度确定每个像素的灰度值,把灰色图像映射为彩色热红外图像。Lepton 3.5 显示的原始照片和修改后的彩色热红外图像如图2和图3所示。很明显,图3的显示效果较好,更易于观察和目标识别。

1.2 物体温度计算

彩色热红外图像中像素点的灰度值与实际物体的温度存在一定的联系。在实际情况中,被监测物体一般由多个像素点组成,为了提高计算结果的准确率,组成物体的各个像素点的平均灰度值记作 $\overline{pix}$,计算的结果 T 为物体的温度,通过下列公式可以计算出图像中像素点对应的温度值:

$$T = \frac{\overline{pix} \times (\max - \min)}{255} + \min \quad (1)$$

式(1)中, $\max$ 和 $\min$ 分别为监测温度设置范围的最大值和最小值。

1.3 彩色热红外图像显示

彩色热红外图像由 1.8 寸、像素为 160×128 的显示屏显示。显示屏是色彩模式为 RGB565 的 TFT LCD 显示模组,并且可以控制背光。LCD 显示屏支持 3.3 V 供电,通过 SPI 通信协议控制显示屏的读写功能,并有一 GPIO 实现 LCD 复位功能。

2 软件设计

软件部分的主要设计目的是实现目标检测的功能,并在算力相对较低的 Cortex-M 系列处理器上搭载深度学习框架,实现无掉帧实时监测摄像头拍摄对象。

深度学习推进了计算机视觉领域的发展,用来解决人们预期的特定问题^[7],目前在图像识别、场景识别和物体追踪等方面都已取得显著的效果^[8]。一些深度学习框架也随之产生, TensorFlow、Caffe、Theano、Torch 等^[9]受到青睐,其中 TensorFlow 是目前最知名的支持各种神经网络算法的平台^[10]。TensorFlow 适用于服务器端、大功率设备,但是随着微控制器广泛应用于各个领域,出现了在微控制器上运行深度学习的需求,于是 TensorFlow 团队在 2017 年底开源了 TensorFlow Lite (TF Lite)^[11]。运行在微控制器上的 TF Lite 的机器学习模型仅有数百 KB,使微控制器智能化成为可能。本系统的软件部分采用的即为 TF Lite 框架训练识别人体模型。TF Lite 提供了多种语言的 API,正式支持的有 Java、C++ 和 Python,Google 官方为 Keil 等嵌入式开发平台提供了预生成项目文件的功能^[11],直接调用与项目有关的头文件即可使用 TF Lite 框架,并且已经针对 Arm Cortex-M 系列架构的处理器进行了广泛的测试^[11]。

2.1 数据采集和模型训练

如图 4 和图 5,采集 243 张包含人体的环境图像和 201 张不包含人体的环境图像并分类保存到独立文件夹中。

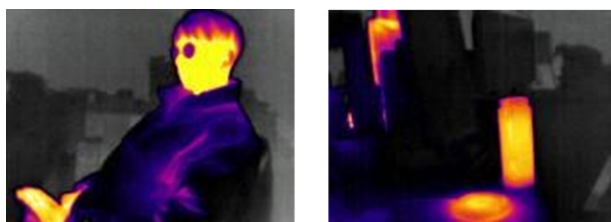


图 4 包含人体的环境图像 图 5 不包含人体的环境图像

根据热红外成像中的主要监测目标,为了提高人体识别的准确度,201 张不包含人体的环境图像中要尽量包含带有温度且温度与人体温度相似的不同物体。在模型训练中,444 张图像随机按 5:1 的比例划分为训练集和测试集。如果使用

TensorFlow 训练人体图像模型,接下来还需要把 TensorFlow 模型格式(.pb)通过 TOCO 转换工具转换为 TensorFlow Lite 格式(.tflite),所以使用在线训练工具 Transfer learning 直接生成 TensorFlow Lite 格式的模型。训练周期为 10,学习速率为 0.000 5,允许训练结果最低准确率为 60%,且使用数据增强功能提高准确率。

2.2 人体识别算法

目标检测和目标识别是两种不同的概念。目标检测是找出图像中所有感兴趣的目标,确定类别和位置^[12];目标识别是判断图像中是否存在感兴趣的目标。大多数产品直接进行目标检测,确定人体位置、计算并显示人体温度。使用这种方法来确定人体位置较为可靠性,但是可能会消耗更多的资源,因此需要高算力的 MCU。但 MCU 强调的是低功耗、低成本,往往算力较低,所以在 MCU 上一般都要精简 AI 模型,合理取舍精度与算力,改进已有算法的性能^[13]。为了能在低算力 MCU 上实现目标检测的效果,设计了新的人体识别算法,算法流程如图 6 所示。

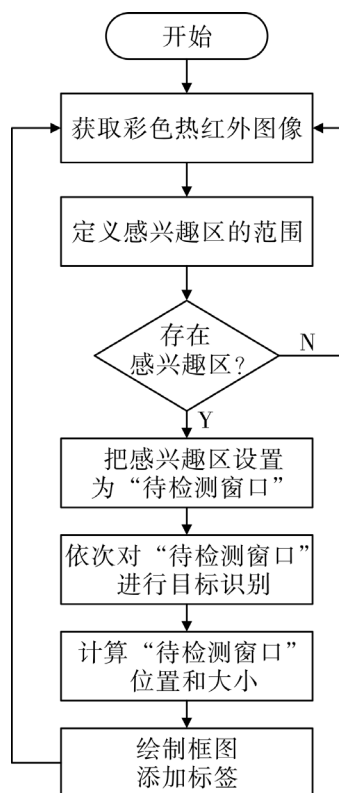


图 6 人体识别算法流程

彩色热红外图像像素点的灰度值与温度有关,根据人体温度在图像中对应的灰度值,定义 RGB 颜色值 R 的范围是 200 至 255 的颜色区域为感兴趣区 (ROI)。先判断彩色热红外图像中是否存在 ROI,如不存在 ROI 则不识别,继续判断下一帧图像;如存在 ROI 则将其设置为“待检测窗口”,找到所有“窗口”后,对各个“窗口”进行目标识别操作,然后计算“窗口”的位置和大小,最后绘制框图添加相应的标签。

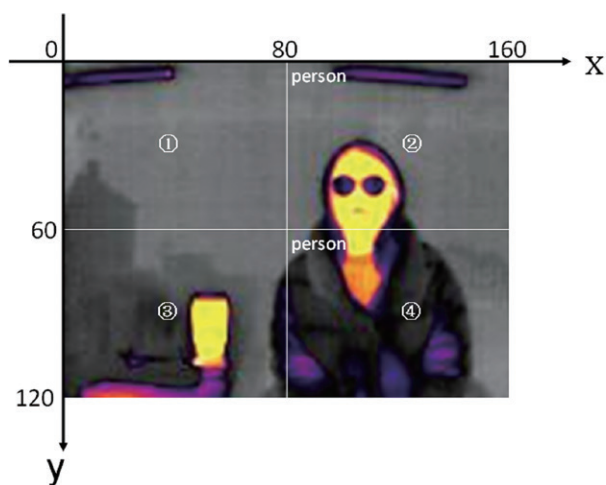


图7 “滑动窗口”示意图

算法的初步思想是利用多尺度滑动窗口全局扫描输入图像^[14]。“滑动窗口”中,“窗口”为设置的 ROI,roi 格式包括 ROI 的左上角顶点坐标、ROI 的宽度和 ROI 的高度等位置信息,通过设置 ROI 四个顶点的坐标,控制“窗口”移动的步长和“窗口”的伸缩比。预定义步长与伸缩比使“窗口”滑动。“滑动窗口”具体过程如图 7 所示,图片大小为 160×120 ,图片左上角坐标为 $(0,0)$ 。扫描窗口①时,设置“滑动窗口”的四个顶点的坐标值分别为 $(0,0)$ 、 $(0,60)$ 、 $(80,60)$ 、 $(80,0)$,识别窗口中是否包含人体,如果包含则计算出窗口的位置,将其框出并添加标签,然后以此方法依次扫描其他窗口。图 7 中,依次识别①、②、③、④四个窗口,最后得出只有②和④包含人体。“窗口”的缩放比例和滑动步长需要人为设置且固定大小,所以最终的目标识别框图大小也是固定的,效果不算圆满,而且经过多次目标识别,最终也会因为微处理器算力不够导致视频卡顿。所以,还需要在“滑动窗口”的基础上进一步设计,主要为了减少“滑

动”的次数,提高视频显示的流畅度,确定框图的大小和位置,使框图恰好包含人体。

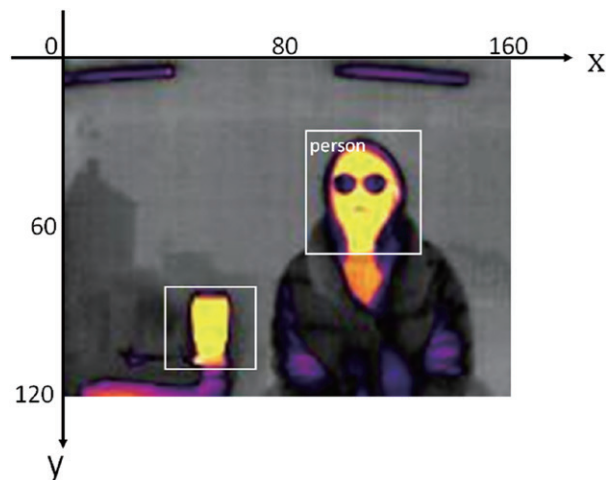


图8 热红外图像目标检测

在设计硬件部分的时候,设置了监测的温度范围——温度阈值,生成了彩色热红外图像,在温度阈值内的物体是“彩色”的,其他物体全是黑色。如图 8 所示,图中存在多个在温度阈值内的物体,定义 RGB 值中 R 在 200 到 255 之间的区域为 ROI,设置扫描的窗口是整个 ROI。如图 8 的两个小图框为两个需要被扫描的窗口,分别对窗口进行目标识别,然后计算出窗口的位置将其框出,为包含人体的窗口添加标签。如果图中没有 ROI,继续处理下一帧图像。简单的 ROI 查找对微控制器来说非常容易。因此,这种人体识别的算法可以明显减少微控制器的工作量,且最终效果也非常符合要求,达到了目标检测的效果。

3 实验结果

为便于观察,需进一步改进上述方法的显示问题。先隐藏图中所有的框图和标签,对于非监测目标,将其温度标记在其左上方;对于监测目标,先将其用白色框图框出,然后在框图左上方内侧标记其温度,在室温 $25\text{ }^{\circ}\text{C}$ 和 $19\text{ }^{\circ}\text{C}$ 左右时的显示效果分别如图 9 和图 10 所示。环境温度较高时背景非常模糊,而环境温度较低时背景较为清楚,但是对被监测物体的温度影响不大,监测出的温度仍然具有参考价值。从实验结果中得出,人体识别的准确率为 99.7%,设计的算法能够实现无卡顿温度监测至少 6 个目标。

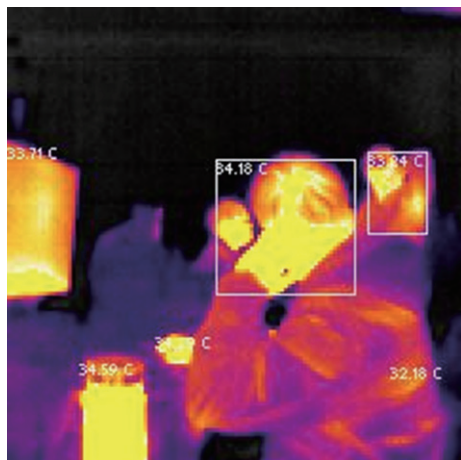


图 9 室温 25℃时显示结果



图 10 室温 19℃时显示结果

4 结论

设计的温度监测仪由热成像模块 Lepton 3.5 采集热红外图像,在 MCU (STM32H743) 上搭载 TensorFlow Lite 深度学习框架,找到热红外图像中的人体,计算并标记图中所有在温度阈值内的发热源温度。针对热红外图像以“滑动窗口”技术为基础设计出新的人体识别算法,解决了由于 MCU 算力不足造成的视频掉帧问题,实现了多目标温度实时监测功能。与市面上价格昂贵的测温热成像摄像头相比,此设备不仅具有相同的温度监测功能,而且制造成本低,非常适合在办公室、实验室或者家庭等小型场所中安装,监测室内多人体温,实时掌握室内人员体温是否异常。

在图 9 中,虽然一次性出现 6 个检测目标仍然

可以保证视频流畅。但是理论上,如果屏幕中出现的监测目标太多,以及高频目标监测也会导致视频流畅度下降。另外,当两个被监测目标重叠时,只能标记为一个目标,所以此监测方法还需改进。

参考文献:

- [1] 周成虎,裴韬,杜云艳,等.新冠肺炎疫情大数据分析与区域防控政策建议[J].中国科学院院刊,2020,35(2):200-203.
- [2] 新型冠状病毒肺炎防控方案(第七版)[J].中国感染控制杂志,2020,19(11):1042-1048.
- [3] 陈文敏,夏应清,郎磊,等.基于 MLX90640 的高分辨率温度监测系统[J].仪表技术与传感器,2020(7):71-74.
- [4] 奚肖玲,俞旭东,胡肖聪.新型红外线额面测温仪的设计与研制[J].中国医学装备,2020,17(1):172-173.
- [5] 关宏强.基于 PLC 触摸屏技术的人体红外自动测温仪[J].辽东学院学报(自然科学版),2020,27(4):238-242.
- [6] FLIR Systems Inc..LWIR MICRO THERMAL CAMERA—MODULE Lepton.2020[updated 2020;cited 2020]; Available from: <https://www.flir.com/products/lepton/>.
- [7] Neha Gupta, Artificial Neural Network[J].Network and Complex Systems,2013(1):24-28.
- [8] 刘帆,刘鹏远,李兵,等.TensorFlow 平台下的视频目标跟踪深度学习模型设计[J].激光与光电子学进展,2017,54(9):283-291.
- [9] Venkat A, Rusira T, Barik R, et al.SWIRL: High-performance many-core CPU code generation for deep neural networks[J].The International Journal of High Performance Computing Applications,2019,33(6):1275-1289.
- [10] 郭利敏,刘炜,吴佩娟,等.机器学习在图书馆应用初探:以 TensorFlow 为例[J].大学图书馆学报,2017,35(6):31-40.
- [11] 李双峰.TensorFlow Lite:端侧机器学习框架[J].计算机研究与发展,2020,57(9):1839-1853.
- [12] 李庆忠,李宜兵,牛炯.基于改进 YOLO 和迁移学习的水下鱼类目标实时检测[J].模式识别与人工智能,2019,32(3):193-203.
- [13] 宋岩.在 MCU 上运用机器学习实现轻智能[J].电子产品世界,2019,26(5):17-21.
- [14] 马少雄,邱实,唐颖,等.基于工地场景的深度学习目标跟踪算法[J].电子学报,2020,48(9):1665-1671.