

DOI: 10.13382/j.jemi.B2205958

基于人像识别和感兴趣区域定位的 红外图像测温研究*

马琳¹ 刘春阳^{1,2,3} 谢赛宝¹ 班宇煊¹ 隋新^{1,2} 黄艳¹ 杨晓康¹

(1. 河南科技大学机电工程学院 洛阳 471003; 2. 河南省机械设计及传动系统重点实验室 洛阳
471003; 3. 龙门实验室 洛阳 471003)

摘要:非接触式温度测量是应对“新冠”、流感等传播性疫情进行大流量防疫筛查的有效手段,可以避免交叉感染的风险,能够实现公共场合的人体体温监测。本文基于 YOLOv5 和红外相机设计了人像识别及测温系统,使用红外图像进行人脸目标检测,提出了一套依靠人脸及遮挡物的额头区域辅助定位算法。针对人像以及有眼镜、口罩、帽子等遮挡情况构建了数据集,对红外图像的人像识别进行了训练和预测,实现了针对面部感兴趣区域(额头)的精准定位,并通过该定位实现人体测温,采用 C# 开发了软件界面,实现了对红外图像及其温度的可视化显示与管理。经过实验测试,基于 YOLOv5 的预测平均准确率为 94%,额头区域的辅助定位精度达到 97.3%,算法对红外测温效果的影响在 $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$ 以内。系统可长期运行,且对多应用场景具有较好的适用性。

关键词:红外测温;深度学习;人像识别;YOLO 算法;精准测温

中图分类号: TP242; TH166 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.20

Research on infrared image temperature measurement based on portrait recognition and region of interest localization

Ma Lin¹ Liu Chunyang^{1,2,3} Xie Saibao¹ Ban Yuxuan¹ Sui Xin^{1,2} Huang Yan¹ Yang Xiaokang¹

(1. School of Mechatronics Engineering, Henan University of Science and Technology, Luoyang 471003,
China; 2. Henan Province Key Laboratory of Mechanical Design and Transmission System, Luoyang 471003,
China; 3. Longmen Laboratory, Luoyang 471003, China)

Abstract: Contactless temperature measurement is an effective means to conduct mass epidemic prevention screening in response to the “COVID-19”, influenza and other infectious diseases, could avoid the risk of cross infection and realize human body temperature monitoring in public places, and can realize human body temperature monitoring in public places. In this paper, a portrait recognition and temperature measurement system are designed based on YOLOv5 and infrared camera. Infrared images are used for face target detection, and a set of forehead region assisted location algorithm relying on face and occluding objects is proposed. For portrait and glasses, masks, hats and other condition to construct the data set, as recognition of infrared image training and forecasting, implements for facial interested area (forehead) precise positioning and temperature measurement, and realize human body temperature measurement by this location, using C # development of the software interface, realize the visualization display and management of infrared image and its temperature. After the experimental test, the average accuracy of the prediction based on YOLOv5 is 94%, and the auxiliary positioning accuracy of the forehead region reaches 97.3%. The influence of the algorithm on the infrared temperature measurement effect is within $\pm 0.15^{\circ}\text{C}$. The system can run for a long time and has good applicability to multiple application scenarios.

Keywords: infrared temperature measurement; deep learning; portrait recognition; YOLO algorithm; accurate temperature measurement

收稿日期: 2022-11-03 Received Date: 2022-11-03

* 基金项目: 国家自然科学基金(52105574)、河南省重点研发与推广专项(科技攻关)项目(222102220079)、河南省高等学校青年骨干教师培养计划(2019GGJS082)、河南省高等学校重点科研项目基础研究计划项目(17A460003)资助

0 引言

新冠疫情的感染常伴随体温升高、咳嗽等症状,随着疫情防控工作从应急状态转为常态化,在医院、学校、车站等密闭公共场所对体温异常人员的快速甄别尤为重要。常用的手持测温仪器对行人进行手腕或额头测温方式,在疫情期间会增加测温人员交叉感染的风险,检测精度也会因测温过程中测量区域未对准而出现偏差,不能达到公共场合对测温速度与精度的要求,而利用红外相机进行非接触式测温就可以解决这一问题。

常用的红外测温系统精度受到多种因素的影响,易受发射率、环境温度和测量距离的影响^[1],具有高度复杂性、非线性特点^[2]。林千龙等^[3]设计的测温系统使用红外传感器对固定点进行温度测量,超出设定阈值后进行报警,其制造工艺简单、成本较低,但常受到测温距离过大、测温部位有偏差等因素影响,测量误差较大。邓兰馨等^[4]对水银体温计与非接触式红外体温枪做了使用分析比较,设置如室内外、多部位及不同测量方式等多组对照实验进行比对,实验表明使用非接触式红外体温枪所测得体温低于水银温度计测得体温,该设备对环境温度的要求较为苛刻。使用非接触式测温进行中远距离测温可以减少测温时的交叉感染风险,但上述测温方案只能对固定方向、固定点位进行测温,且由于缺少温度补偿功能,其测温误差较大,无法大范围使用。若能够识别出人脸再对相应部位进行测温,则可以提高检测精度。现有红外测温技术与目标检测技术虽各自成熟,但利用目标检测技术识别人脸并对其测温的融合技术尚未成熟且各方面功能不完善,如缺少口罩检测、温度补偿等功能。张伟建等^[5]、王继超等^[6]设计人像识别与体温检测方案,通过红外、可见光两只摄像头双线并行的方式运行,可见光相机负责人脸识别,红外相机负责测温,这种技术在人像识别方面虽保证了较高的识别率,但由于系统模块较为复杂,成本较高,无法得到大范围的推广。何昊瀚等^[7]设计了一套嵌入式人脸识别温控系统,其整体温度检测准确率为94.77%,但是缺少对口罩等遮挡物的检测,人脸识别与测温精度会在脸部有遮挡物时有较大误差。熊晓青等^[8]设计了一种基于支撑向量机(support vector machine, SVM)的红外图像人脸识别方法,可以使用红外热像仪自动寻找并定位人脸以实现测温,该方法只需要一种设备,但人脸识别的正确率仅61.7%,仍有较大提升空间。上述几种测温方案在测温精度、测温环境、成本、功能等方面存在各自的不足。因此,需要设计一种具有现实意义,实现大范围、高精度、多功能的测温方案。

本文针对目标检测与红外测温的融合技术,提出一种基于红外相机的人像识别与测温方法。该系统使用

YOLOv5(you only look once version5, YOLOv5)模型进行人像以及遮挡物识别,通过所检测到的目标辅助定位出精准的额头区域进行体温测量,同时具有口罩检测功能,能够在多种情景下实现基于人像的精准测温。

1 红外测温系统设计

本文设计的人像识别与测温系统使用了iRay公司生产的Xcore LIH系列相机。该相机红外成像的分辨率为 384×288 ,测温范围 $0^{\circ}\text{C} \sim 50^{\circ}\text{C}$,在 $33^{\circ}\text{C} \sim 42^{\circ}\text{C}$ 温度范围内精度为 $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$ 。系统实现人像识别、测温、异常报警等操作的运行流程如图1所示。系统采集红外图像后,将信息传输给人像识别模块进行检测,识别出脸部位置信息后对感兴趣区域如额头等进行温度信息的检索与计算,求出区域内平均温度、最大温度等。若行人未正确佩戴口罩或检测温度大于阈值则系统进行报警提示。

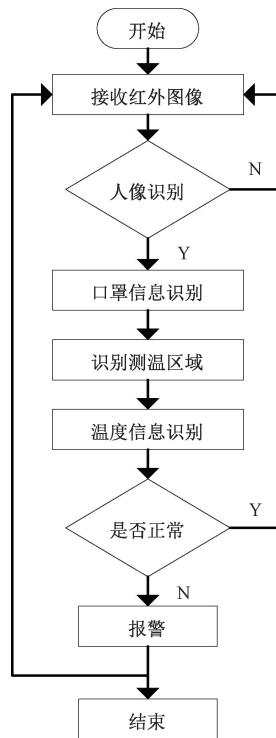


图1 系统运行流程

Fig.1 System operation flow chart

2 人像识别算法设计

2.1 实验数据集

为了实现在红外热成像下的人像识别,需要建立以红外伪彩图像构成的数据集,为深度学习智能检测算法的训练和测试提供保障。通过对本系统应用场所的实地考察,共采集人脸裸像及佩戴一种或多种遮挡物的图像

共 200 多幅。在对已有数据集进行人工标注后,通过旋转、平移等方式对数据集进行扩充至 2 147 幅。人脸裸像及佩戴遮挡物时(口罩)的数据集如图 2 所示通过多角度采集图像,可以使训练后的模型具有较高的检测精度。如图 2(b)所示,当脸部佩戴有口罩时,模型需要对口罩部位进行检测以方便测温区域定位,故在标注时额外标注口罩位置。

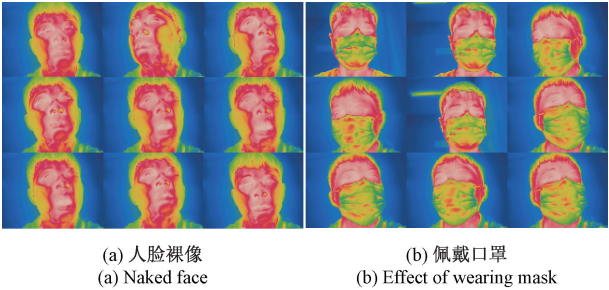


图 2 人像识别部分数据

Fig. 2 Portrait recognition part of the data

2.2 基于 YOLOv5 的人像识别算法

基于深度学习的目标检测算法相对于传统的目标检

测算法具有精度高、鲁棒性高、实时性强等特点^[9-10],而基于深度学习的目标检测算法主要有两种,基于区域的卷积神经网络(convolutional neural network, CNN)算法使用 two-stage 方法^[11],基于回归的目标检测算法使用 one-stage 方法,后者的算法主要有 YOLO 系列检测算法^[12-13],YOLO 系列不断更新迭代,衍生出 YOLOv2^[14]、YOLOv3、YOLOv4^[15]、YOLOv5、YOLOX^[16]、YOLOv7^[17]等一系列模型及其变种。

由于对检测算法的实时性有要求,本文采用 YOLOv5 网络对人脸进行检测。YOLOv5 的主干部分使用了 Focus 网络结构^[18],如图 3 所示。模型整体分为输入端、Backbone、Neck、以及 Prediction 4 个部分。输入端负责 Mosaic 数据增强和自适应锚框计算;Backbone 由 Focus 结构和 CSP(cross stage partial)结构组成,此结构可以丰富被检测物体的背景,并同时计算 Mosaic 做数据增强时所用到的 4 张图片数据;Neck 为 FPN(feature pyramid networks)+PAN(pixel aggregation network)结构;Prediction 负责损失值得预测。

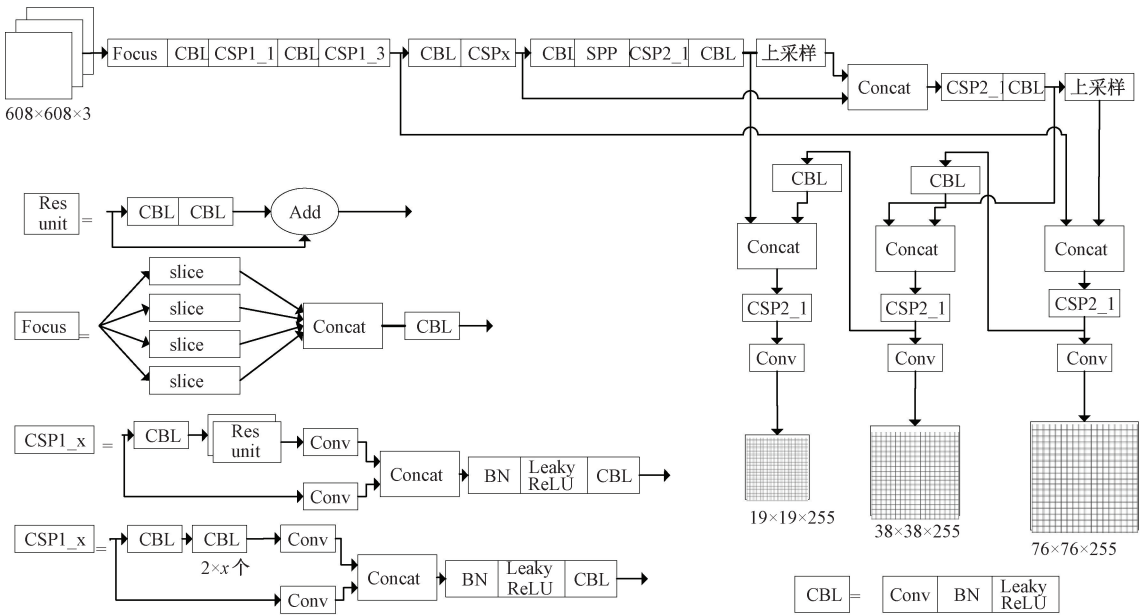


图 3 YOLOv5 网络结构图

Fig. 3 YOLOv5 Network structure diagram

YOLOv5 损失函数如式(1)所示:

$$Loss_{obj} = Loss_{loc} + Loss_{conf} + Loss_{class} \quad (1)$$

式中: $Loss_{loc}$ 、 $Loss_{conf}$ 、 $Loss_{class}$ 分别为定位损失、置信度损失和类别损失,三者如下所示:

$$Loss_{loc} = 1 - GIoU \quad (2)$$

$$Loss_{conf} = - \sum_{i=0}^{K \times K} I_{ij}^{obj} [\hat{C}_i \log \hat{C}_i + (1 - \hat{C}_i) \log(1 - \hat{C}_i)] - \lambda_{noobj} \sum_{i=0}^{K \times K} \sum_{j=0}^M [\hat{C}_i^j \log \hat{C}_i^j + (1 - \hat{C}_i^j) \log(1 - \hat{C}_i^j)] \quad (3)$$

$$Loss_{class} = - \sum_{i=0}^{K \times K} I_{ij}^{obj} \sum [\hat{P}_i \log \hat{P}_i + (1 - \hat{P}_i) \log(1 - \hat{P}_i)] \quad (4)$$

3 人像感兴趣区域提取算法

利用红外图像进行人像识别与测温时需要考虑脸部是否有遮挡物的情况,目标遮挡问题严重影响目标监测结果的准确性,基于像素投影的粘连目标分离算法能够初步解决该问题,但需要较严格的光照环境^[19]。若脸部有眼镜、口罩、帽子等遮挡物,单依靠人像识别来确定测温区域会产生较大误差,导致不能正确识别温度。本文提出一种借助人脸五官比例及遮挡物位置对额头进行联合辅助定位方法,以达到对额头区域精准测温的目的。

3.1 人像及遮挡物辅助定位及线性回归分析

在检测到人像或脸部遮挡物(帽子、眼睛、口罩等)时,可以借助被测物体的识别框对额头部位进行单独的辅助定位。被测物体的识别框由中心点横坐标 x_n 、中心点纵坐标 y_n 、识别框宽度 W_n 、识别框高度 H_n 所确定,由此可初步定位出额头所在位置:

$$\begin{cases} x_i = \alpha_1 x_n + \beta_1 \\ y_i = \alpha_2 y_n + \alpha_3 H_n + \alpha_4 W_n + \beta_2 \\ W_i = \alpha_5 W_n + \alpha_6 H_n + \beta_3 \\ H_i = \alpha_7 H_n + \beta_4 \end{cases} \quad (5)$$

式中: x_i 为测温区域中心点横坐标, y_i 为测温区域中心点纵坐标, W_i 为测温区域识别框宽度, H_i 为测温区域识别框高度。 α_i 、 β_i 由人脸五官比例及实验分析验证。

由经验公式(5)可知,额头区域测温框应与人脸及脸部遮挡物的识别框构成一元或多元线性关系,通过构建数据集进行线性回归分析,可以对权重 α_i 和偏置 β_i 进行优化。选用100组人脸及遮挡物图像,对人脸、遮挡物、额头进行人工标注,如表1为部分标注数据。

表1 部分标注数据

Table 1 Partially annotated data					
组数		x	y	W	H
人脸裸像	1	0.510	0.514	0.500	0.903
	2	0.391	0.530	0.469	0.858
	3	0.500	0.497	0.469	0.840
	4	0.375	0.483	0.422	0.188
戴眼镜	5	0.516	0.462	0.453	0.229
	6	0.503	0.405	0.427	0.205
	7	0.406	0.769	0.401	0.378
戴口罩	8	0.555	0.715	0.359	0.486
	9	0.512	0.670	0.388	0.486
	10	0.350	0.361	0.201	0.069
测温区域	11	0.605	0.318	0.174	0.080
	12	0.549	0.278	0.130	0.090

采用梯度下降法对 x_i 、 H_i 进行一元线性回归分析,使用均方误差(MES)损失函数进行计算,在做210次循环

后得出较为合适的 α_i 和 β_i 。 y_i 、 W_i 分别与中心点纵坐标 y_n 、识别框宽度 W_n 、识别框高度 H_n 具有线性关系,通过机器学习对标注数据进行多元线性回归分析,得到人像及遮挡物单独定位的权重 α_i 和偏置 β_i 。在线性回归分析之后,测温区域坐标的权重、偏差、实测值与计算值之间的误差如表2所示。由人像及遮挡物单独进行辅助定位的平均误差不超过6%,实际测温区域与辅助或联合定位得到的测温区域平均重叠率为97.3%。

表2 线性回归数据处理

Table 2 Linear regression data processing				
		权重	偏置	误差
人脸 裸像	x	1.040	0.237	3.78%
	y	1.081	-0.293	4.49%
		0.415		
	W	0.424	-0.081	5.86%
		0.134		
H	0.144	-0.016	4.49%	
戴眼镜	x	1.057	0.163	3.78%
	y	0.965	-0.141	3.31%
		0.194		
	W	1.081	-0.034	5.78%
		-0.763		
H	-0.209	-0.015	5.14%	
戴口罩	x	0.991	0.229	2.77%
	y	0.947	-0.107	3.11%
		-0.166		
	W	0.905	-0.109	5.49%
		0.092		
H	0.236	-0.118	5.98%	

3.2 人像与遮挡物联合标定

由人像及遮挡物对额头区域单独进行辅助定位后再进行联合标定,求得额头区域可进一步借助一个或多个遮挡物对额头部位进行精准定位,多个遮挡物联合标定公式如下所示:

$$\begin{pmatrix} x \\ y \\ W \\ H \end{pmatrix} = \frac{1}{n+1} \begin{pmatrix} k_1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & k_2 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & k_3 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & k_4 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} x_1 & x_2 & x_3 & x_4 \\ y_1 & y_2 & y_3 & y_4 \\ W_1 & W_2 & W_3 & W_4 \\ H_1 & H_2 & H_3 & H_4 \end{pmatrix} \quad (6)$$

式中: x 、 y 、 W 、 H 分别为联合标定后的测温区域中心点横、纵坐标以及识别框宽度和高度; x_i 、 y_i 、 W_i 、 H_i 为人脸裸像或有遮挡物辅助定位的测温区域坐标, k_i 的值取决于是否检测到人像及遮挡物,若检测到则为1,反之则为0, i 取值为1,2,3,4, n 取值为遮挡物个数。

4 实验与评价

4.1 模型训练

训练部分将数据集的训练集、验证集、测试集按照

7 : 2 : 1 进行划分。训练时设置初始学习率为 0.000 2, 总迭代次数为 200 次。模型训练完成后, 阈值大于 0.5 的平均 mAP 为 0.995, 在不同 IoU 阈值上的平均 mAP 达到了 0.883。与可见光图像为数据集的模型相差不大, 没有因伪彩图像而造成误差。

4.2 红外图像识别实验结果及分析

针对训练后模型识别准确率问题, 本文设计了 8 组实验进行测试, 测试组数各 100 组, 测试完成后, YOLOv5 模型识别的准确率如表 3 所示。实验结果表明, 本系统对人脸多种状态下的识别能力较好, 在人脸裸像和戴口罩时达到了 98% 和 96%, 具有较好得识别效果。与基于可见光图像的人像识别模型在较近距离检测时相比, 回归框与分类检测精度无较大差异。

表 3 检测准确率

Table 3 Accuracy of detection

检测对象	准确率/%
人脸裸像	98
戴口罩	96
戴帽子	95
戴眼镜	96
戴口罩+眼镜	95
戴口罩+帽子	89
戴眼镜+帽子	95
戴眼镜+帽子+口罩	88

对人脸裸像及佩戴多种遮挡物的人像进行检测, 通过实验测试其效果如图 4 所示。由图 4(a) 可知, 精准测温算法中对无遮挡物提取测温区域有较好的检测识别效果; 图 4(b)、(c)、(d) 可知, 在佩戴一种或多种遮挡物时, 算法通过对遮挡物的识别, 能够拟合出较精确的额头测温区域。

4.3 红外测温实验效果及分析

由于算法定位区域和标定的额头真实区域的重叠率为 97.3%, 通过算法所测得的温度与实际温度相差不应较大。随着距离的增加, 红外测温值可能会产生较大误差, 导致系统无法使用^[20], 故在考虑测温距离对测温效果的影响下, 对系统测温效果进行实验分析, 同时以 YOLOv5 识别出的人脸中心点测温值作为对照组。

实验时, 每间隔 0.3 m 记录一组数据, 通过手工标注额头区域, 进行计算后得到红外相机测温的真实值; 使用本文所提算法对额头温度的测量结果为测定值; 在 YOLOv5 检测到人像后对人像框识别中心点进行测量的结果为测试值, 统计后真实值、测定值和测试值如图 5 所示。真实值与测定值、测试值的差即为两种方法的误差, 由图可知, 两种方法的绝对误差随着距离的增加而增加。在 2.5 m 测温范围内, 使用常规方法进行测温时的误差为 (0 ~ -0.3 ℃), 本算法的误差在 ±0.15 ℃ 以内, 相较于

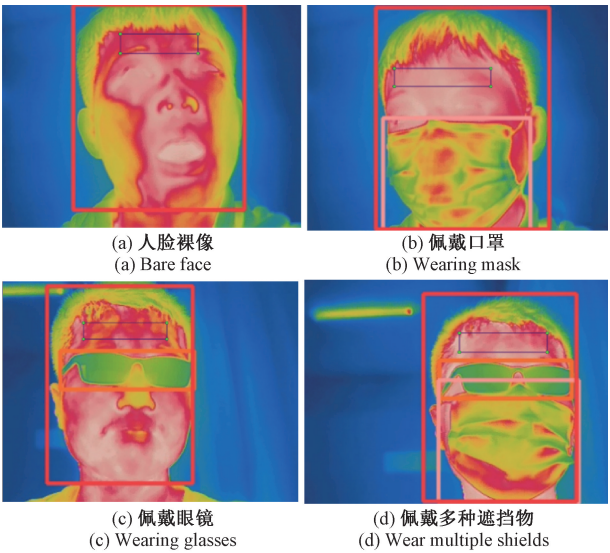


图 4 人像识别检测

Fig. 4 Portrait recognition and detection

常规方法有较大提升。

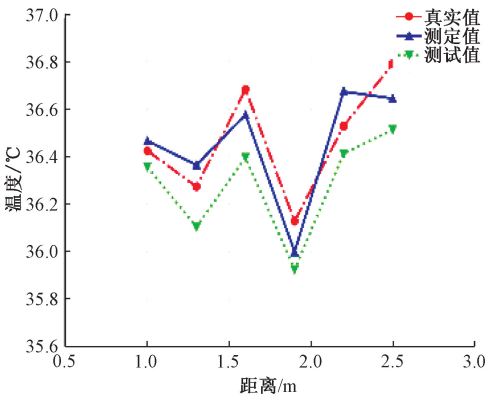


图 5 测温精度示意图

Fig. 5 Temperature measurement accuracy

5 结 论

本文围绕人脸及遮挡物的目标检测与测温进行研究, 探索出一套基于 YOLO 与红外相机的人像识别与精准测温算法。使用 YOLOv5 模型对红外伪彩图像进行训练, 预测的平均准确率为 94%, 采用的辅助定位算法能够借助人像对额头进行精准定位, 且在有遮挡物时对定位精度的影响较小, 总体定位误差在 3% 以内, 算法对测温效果造成的误差在 ±0.15 ℃ 以内。所设计基于 C# 的红外测温与报警系统能够在室内外、多场景下长期运行, 操作人员可使用图像显示、人像识别、区域温度检测等功能。

参考文献

- [1] 徐坤,赵麟,袁圆,等. 医用红外测温仪测量误差分析及补偿试验研究[J]. 电子测量技术,2014,37(10):104-108,118.
XU K, ZHAO L, YUAN Y, et al. Measurement error analysis and compensation test of medical infrared thermometer[J]. Electronic Measurement Technology, 2014,37(10):104-108,118.
- [2] 陈小惠,王桌培,王悠苒,等. 基于臀部红外测量的神经网络体温算法研究[J]. 电子测量与仪器学报,2017,31(9):1453-1458.
CHEN X H, WANG ZH P, WANG Y R, et al. Research on neural network body temperature algorithm based on hip infrared measurement [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2017, 31 (9): 1453-1458.
- [3] 林千龙,陈泽峰,许俊杰. 一种人脸追踪式测温装置的设计[J]. 工业控制计算机,2021,34(9):112-113,129.
LIN Q L, CHEN Z F, XU J J, et al. Design of a face-tracking temperature measuring device [J]. Industrial Control Computer, 2021,34(9):112-113,129.
- [4] 邓兰馨,黎昌桃,尚小琪,等. 非接触式红外体温枪与水银体温计冬季预检分诊使用比较分析[J]. 检验医学与临床,2022,19(6):841-843.
DENG L X, LI CH T, SHANG X Q, et al. Comparison and analysis of the use of non-contact infrared temperature gun and mercury thermometer in winter predetection and triage [J]. Laboratory Medicine and Clinic,2022,19(6):841-843.
- [5] 张建伟,霍进,李言章,等. 基于人像识别的防疫系统研究[J]. 现代计算机,2021,27(24):131-135.
ZHANG J W, HUO J, LI Y ZH, et al. Research on epidemic prevention system based on portrait recognition [J]. Modern Computer, 2021,27(24):131-135.
- [6] 王继超,张丽娟,尤田,等. 人像识别的智能防疫系统设计[J]. 河北水利电力学院学报,2021,31(4):55-59.
WANG J CH, ZHANG L J, YOU T, et al. Design of intelligent epidemic prevention system based on portrait recognition [J]. Journal of Hebei Institute of Water Resources and Electric Power, 2021,31(4):55-59.
- [7] 何昊瀚,朱赫,杨燕,等. 用于基层防疫的人脸识别温控系统[J]. 单片机与嵌入式系统应用,2021,21(5):87-91.
HE H H, ZHU H, YANG Y, et al. Face recognition temperature control system for grassroots epidemic prevention [J]. Microcontrollers & Embedded Systems, 2021,21(5):87-91.
- [8] 熊晓青,王晓宇,熊清平. 基于支撑向量机的红外图像人脸识别方法[J]. 航空制造技术,2006(7):92-93.
XIONG X Q, WANG X Y, XIONG Q P. Face recognition method in infrared image based on support vector machine [J]. Aeronautical Manufacturing Technology, 2006 (7): 92-93.
- [9] 卢笑,曹意宏,周炫余,等. 基于深度强化学习的两阶段显著性目标检测[J]. 电子测量与仪器学报,2021,35(6):34-42.
LU X, CAO Y H, ZHOU X Y, et al. Two-stage significance object detection based on deep reinforcement learning [J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation,2021,35(6):34-42.
- [10] 张培培,王昭,王菲. 基于深度学习的图像目标检测算法研究[J]. 国外电子测量技术,2020,39(8):34-39.
ZHANG P P, WANG ZH, WANG F. Research on image object detection algorithm based on deep learning [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2020, 39(8):34-39.
- [11] GIRSHICK R, DONAHUE J, DARRELL T, et al. Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2014: 580-587.
- [12] REDMON J, FARHADI A. YOLOv3: An incremental improvement [J]. arXiv preprint arXiv: 1804. 02767, 2018.
- [13] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection[J]. arXiv preprint arXiv:2004. 10934, 2020.
- [14] REDMON J, FARHADI A. YOLO9000: Better, faster, stronger [C]. Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition, 2017: 7263-7271.
- [15] BOCHKOVSKIY A, WANG C Y, LIAO H Y M. YOLOv4: Optimal speed and accuracy of object detection[J]. arXiv preprint arXiv:2004. 10934, 2020.
- [16] GE Z, LIU S, WANG F, et al. YOLOX: Exceeding YOLO series in 2021 [J]. arXiv preprint arXiv: 2107. 08430, 2021.
- [17] WANG C Y, BOCHKOVSKIY A, LIAO H Y M. YOLOv7: Trainable bag-of-freebies sets new state-of-the-art for real-time object detectors [J]. arXiv preprint arXiv:2207. 02696, 2022.
- [18] 赵元章,耿生玲. 基于改进 YOLOv5 的人脸遮挡物目标检测算法[J]. 长江信息通信,2021,34(11):32-35.
ZHAO Y ZH, GENG SH L. Face occlusion object

- detection algorithm based on improved YOLOv5 [J]. Changjiang Information Communication, 2021, 34(11): 32-35.
- [19] 龚卫国,王旭,李正浩. 一种抗遮挡的红外多目标实时检测跟踪算法[J]. 仪器仪表学报, 2014, 35(3): 535-542.
- GONG W G, WANG X, LI ZH H. A real-time detection and tracking algorithm for infrared multi-targets with occlusion resistance [J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2014, 35(3): 535-542.
- [20] 杜玉玺,胡振琪,葛运航,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.
- DU Y X, HU ZH Q, GE Y H, et al. Influence and compensation of distance on infrared temperature measurement of heat source with different intensity [J]. Infrared Technique, 2019, 41(10): 976-981.

作者简介



刘春阳(通信作者), 副教授, 硕士生导师, 主要研究方向为机器人环境感知技术、机械设备状态监测及故障诊断技术。

E-mail: chunyangliu@haust.edu.cn

Liu Chunyang (Corresponding author), associate professor, master's supervisor. His main research interests include robot environment sensing technology, mechanical equipment condition monitoring and fault diagnosis technology research.



马琳, 2017 年获得学士学位, 现为河南科技大学硕士研究生, 主要研究方向为机器人环境感知技术。

E-mail: 1211449109@qq.com

Ma Lin received his B. Sc. degree in 2017. He is now a M. Sc. candidate in Henan University of Science and Technology. His main research interest includes robot environmental perception technology.