

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106688

一种改进的指针式仪表示数识别方法^{*}

胡鑫 欧阳华 尹洋 侯卓成
(海军工程大学 电气工程学院 武汉 430033)

摘要:针对传统方法利用 Hough 变换进行指针式仪表示数的识别中会出现的一些问题,提出一种改进的指针式仪表读数方法。该算法先对因角度偏差而采集不到正对的仪表图像进行倾斜校正,通过几种方法比较证明本次提出的方法效果更好。并且根据直接用 Hough 变换进行指针拟合直线会出现边框或者其他标识的影响而导致效果不佳的问题,引入深度学习 yolov5 模型实现对指针的直接定位,从而也使得直线检测所需的时间会大大减少。之后通过对指针图像的预处理,进行图像降噪、二值化和细化,经 hough 直线变换,利用角度法实现指针式仪表的示数识别。实验结果表明,该算法很好地解决了传统识别方法的受限性,并且使得指针式仪表的识别示数与实际值的误差在 $-2.73 \sim 3.64$ V 之间,相对误差在 2.47% 以内,满足工业读表的要求。

关键词: 倾斜校正;指针定位;Hough 变换;读数识别

中图分类号: TP39 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.1050

An improved recognition method of pointer

Hu Xin Ouyang Hua Yin Yang Hou Zhuocheng

(College of Electrical Engineering, Naval University of Engineering, Wuhan 430033, China)

Abstract: In view of some problems in the traditional method of using Hough transform to identify the number of pointer meter, an improved reading method of pointer meter is proposed. Firstly, the algorithm corrects the tilt of the instrument image which can't be acquired due to the angle deviation. Through the comparison of several methods, it is proved that the proposed method is better. And according to the problem that directly using Hough transform to fit the pointer line will appear the influence of the border or other marks, which leads to the poor effect, the depth learning yolov5 model is introduced to realize the direct positioning of the pointer, so that the time required for line detection will be greatly reduced. After preprocessing the pointer image, image denoising, binarization and thinning, Hough linear transformation, angle method is used to realize the indicator recognition of pointer instrument. The experimental results show that the algorithm solves the limitation of the traditional recognition method, and the error between the recognition indication and the actual value of the pointer meter is $-2.73 \sim 3.64$ V, and the relative error is less than 2.47%, which meets the requirements of industrial meter reading.

Keywords: tilt correction; pointer positioning; Hough transform; reading recognition

0 引 言

指针式仪表因为其结构简单、使用方便、抗干扰能力强、可靠性高、生命周期长,已在变电站中有着很广泛的应用。目前变电站对仪表读数信息的巡检普遍还是采用人工巡检的方式,该方式劳动强度大、效率低、检测质量分散性大,并且在一些不适环境例如高温高湿高辐射地域,人工巡检的危险系数也会数倍增大。因此,采用自动化的方法读取示数,代替人工抄表,具有很重要的现实意义^[1-3]。

张志锋等^[4]基于机器视觉提出了一种在 HSV 颜色空间进行指针读数识别,基于帧差法进行指针定位,用角度法进行识别。杜静等^[5]提出根据图像识别的方法,根据仪表盘和指针的形态学特点,利用 Hough 变换判读指针读数,误差大大减少,但其存在计算量太大,实时性不好等问题。2017年,邢浩强等^[6]以卷积网络为基础,利用目标检测 SSD 模型对仪表盘进行定位,之后完成读数识别。其识别准确性好,但受限于特定条件,当外界存在光照变化时,采集到的仪表图像将发生形变,进而导致识别效果大大降低,

收稿日期:2021-05-13

* 基金项目:国家自然科学基金(41876222)项目资助

普适性不强。

基于此,本文在得到现有方法不足的基础上,研究一种改进的指针式仪表示数识别算法。在单一的 Hough 变换不足以很好解决指针仪表直线拟合的情况下,通过结合图像的预处理校正和深度学习的定位优势,使得 Hough 变换所需的计算量和遍历范围大大减少,从而减少识别所需花费的时间和识别结果的误差。

1 倾斜校正

1.1 基于轮廓特征的 CSS 角点匹配

在机器人巡检过程中,由于仪表盘的安装位置和摄像头的角度调整有限等原因导致很难获取到仪表的正对图像,会得到一些如图 1(a)和(b)所示的倾斜状态仪表图,从而会使得仪表示数的读取在此产生误差。因此,在进行示数识别之前,十分有必要对采集到的仪表图像进行倾斜校正^[7,11]。

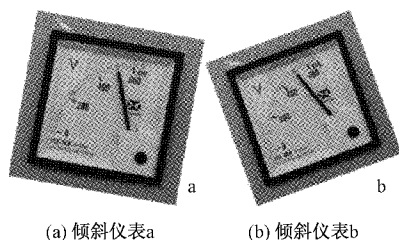


图1 倾斜仪表

对于本文的指针式仪表倾斜校正,其主体分为4个部分:1)对得到的仪表图片进行边缘检测,利用 canny 算子进行轮廓特征提取;2)在提取到的轮廓图上进一步提取角点,并且将待校正仪表图像和模板仪表图像进行 CSS 角点匹配;3)利用 Surf 算法来确定匹配度;4)利用 RANSAC 算法去除错误,提高匹配准确率。因此,一张经过巡检摄像头捕获的待校正仪表图片通过这4个部分之后,根据最后得到的的射变换矩阵^[12],最后能够得到经过倾斜校正满足下一步示数识别要求的指针仪表图。

将采集到的仪表图经过边缘检测之后,能够得到仪表的轮廓信息如图 2(a)和(b)所示。

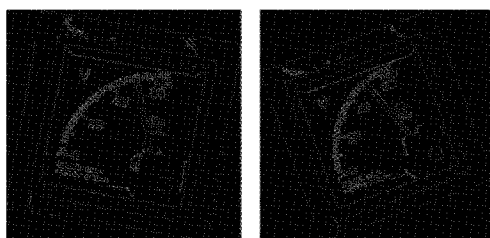


图2 边缘检测

在得到轮廓图基础上,提取轮廓图中的轮廓曲线,并利用 CSS 算法检测轮廓曲线上的角点。CSS 角点检测算法其核心思想是在一个较高尺度上利用曲率公式计算出轮廓

曲线的曲率,并把局部极大值点作为角点的候选点,若某个候选点处的曲率值大于给定阈值,且大约是相邻局部曲率最小点处曲率值的2倍,则把该候选点作为角点;在较低尺度下计算曲率,对角点进行精确定位。

待校正仪表和模板图像经过角点提取后如图 3 所示,其中图 3(a)为待校正仪表角点图,图 3(b)为模板仪表角点图。

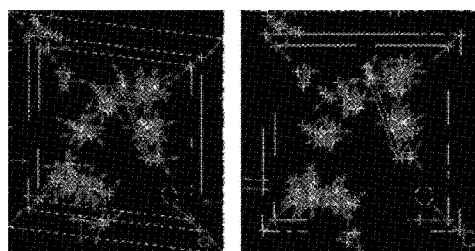
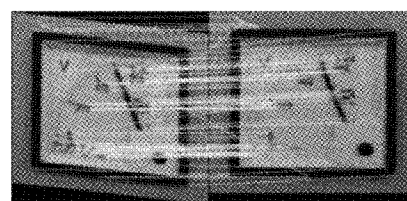


图3 角点检测

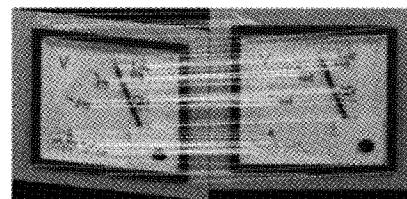
RANSAC 算法^[13,14]是一种用于参数估计的鲁棒迭代方法。使用 RANSAC 算法。用于删除图像对中的错误匹配。通过随机选择 N 个数据,估计参数 x (计算变换矩阵 H) 并且设置一个阈值,计算每个匹配点后的变换矩阵到相应的匹配点距离,直到达到一定迭代次数后,选出那个被支持的最多的模型,作为问题的解。迭代次数 L 可以通过下式进行计算:

$$L = \log(P_{fail}) / \log(1 - (P_g)^N) \quad (1)$$

角点匹配过后,再经过 RANSAC 算法去错,为了更清楚地看到匹配情况,下面用彩色图进行显示。其前后对比如图 4 所示,其中图 4(a)为去错之前的角点匹配情况,图 4(b)为经过 RANSAC 算法去错之后的角点匹配情况,可以直观观察到经过取错后,匹配错误率大大降低。



(a) 去错前的角点匹配



(b) RANSAC 算法去错后的角点匹配

图4 RANSAC 算法去错对比

1.2 实验结果比较分析

对实际巡检环境下采集到的仪表图片进行处理,输入处于不同倾斜角度和旋转角度的仪表图片(图 5(a)),并利

用本文提出的校正方法(图 5(d))与直接通过手动去点的透视变换(图 5(b))、传统 surf 特征匹配(图 5(c))这另外两种方法进行结果对比,从而验证这一校正方法的有效性。具体实验结果如图 5 所示。

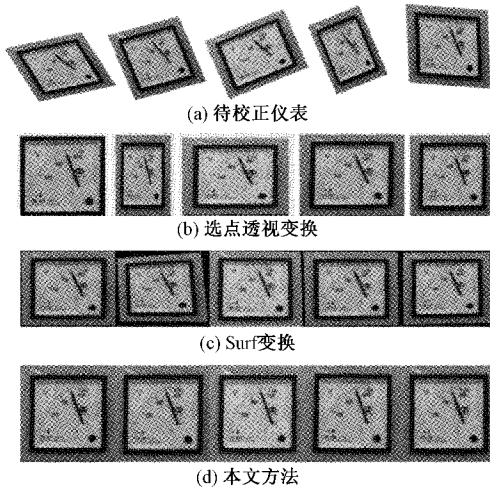


图 5 校正结果对照

由图 5 可以分析得出,当给出任意情况待校正指针式仪表时,本文方法相比于其他两种传统方法而言,能够在保持图像原有尺寸大小的情况下,更为准确地进行仪表的倾斜校正。

2 基于 yolov5 的指针定位

在对指针式仪表的指针进行提取时,主要是考虑到经过倾斜校正过后,目的是为了快速提取指针,经过比较选择了 yolov5 网络^[15-16],因为其本身是非常轻量级的模型,识别速度非常之快,对于需要进行多个步骤图像预处理的指针式仪表而言,在这个只需要提取指针的单一任务上,yolov5 网络十分合适。

将指针处于不同状态时候的仪表图像制作成数据集用于 yolov5 模型的训练,然后将前一阶段处理好的图片放入模型之中,实验所得到的效果如图 6 所示。

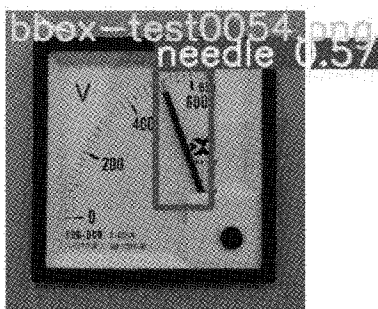


图 6 定位效果

可以从图 6 得知,模型能够较为快速准确地识别出表盘指针的位置和类别(在制作数据集时将指针类别命名为 needle)。

3 指针图像预处理

3.1 滤波降噪

本文为了模拟对指针式仪表图像的降噪过程,选用图像处理中最为常见的椒盐噪声作为图像噪声干扰源。如图 7 所示,图 7(a)为正常情况下采集的照片经过上一节提取之后的仪表指针图像,图 7(b)为经过椒盐噪声处理后的仪表指针图像。

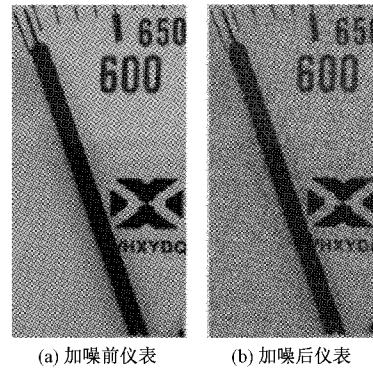


图 7 加噪声前后对比

在图像经过加噪处理,模拟指针式仪表在巡检环境下受到噪声的影响之后,开始对被噪声“感染”的像素点用适当的方法进行消除。

图像滤波通常可以分为均值滤波、高斯滤波、中值滤波和双边滤波这 4 种,将 4 种滤波方式分别用于对采集到的指针式的处理,并且比较其结果如图 8 所示。

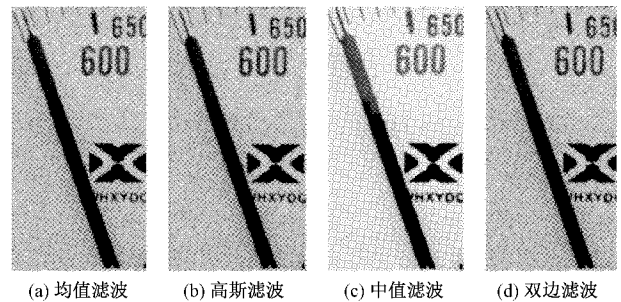


图 8 降噪结果对比

将其中图 8 的(a)、(b)、(c)、(d)图分别为均值滤波、高斯滤波、中值滤波和双边滤波处理之后的结果,可以十分明显地看出,在相同的输入条件之下,面对较为常见的椒盐噪声,中值滤波器处理效果最好,能够在尽可能保留图像主要信息的前提下,将噪声去除。

3.2 图像二值化

在滤波降噪之后,需要对仪表图像进行彩色转灰度,然后进行二值化处理。其函数表达式为:

$$f(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) \geq T \\ 0, & f(x, y) < T \end{cases} \quad (2)$$

T 为选定的阈值, $f(x, y)$ 为仪表图像中 (x, y) 点处的

像素值。

其中阈值的选取尤为重要,会直接影响到目标形状的走势,特别是指针的轮廓会对拟合直线的角度带来影响。图9是经过多次阈值调整比较之后选定为110,从而达到二值化效果最好。

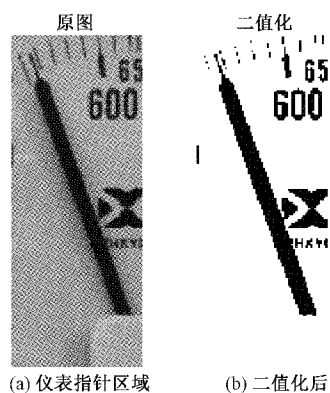


图9 二值化处理

3.3 细化

图像细化是将由多像素构成的图像进行合理的简化成为少像素或者单像素代表的图像,也可以说是提取图像的骨架,使得图像的轮廓更加清晰。而本文的仪表指针属于宽度不均匀的线条形状,如果不进行处理,会使得指针拟合出的直线出现角度的偏差,给最后的读数带来较大误差。这里采用并行快速细化算法对二值指针图像进行细化,得到指针的骨架化图像,如图10所示。

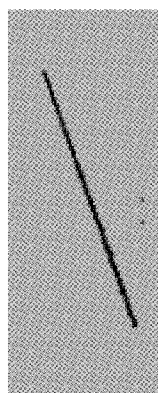


图10 指针细化

4 仪表读数的识别

本文考虑到边缘检测后得到的指针图像直线特征明显,因此利用 Hough 直线检测算法来进行指针直线的获取。Hough 变换的实质为笛卡尔坐标空间和参数空间的变换。在笛卡尔空间中一条直线上不同的点映射到参数空间上时,会转换为很多条直线,并且这些直线在参数空间上会相交于同一个参数点。它通过一种投票算法将检测笛卡尔空间中直线的问题转化为统计峰值的问题。

但是当指针处于竖直状态,此时斜率不存在,所以用 (k, b) 参数就无法求出此时的指针斜率。为了解决这个问题,在本文的运用上,采用 (r, θ) 来表示任意一条直线,这样的话,便是 $x-y$ 坐标系与 $\theta-\rho$ 参数坐标系的对应转换。通过极坐标方程(如图11所示),解决了斜率不存在的问题。

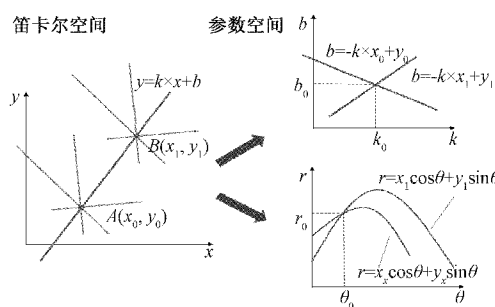


图11 Hough 变换原理

当得到指针的拟合直线的角度之后,还需要得到指针在初始位置(零刻度线)时的角度,根据仿真测算,指针在指向初始零刻度线时为水平状态,即角度为零。因此根据获取的先验仪表量程信息,结合求得的指针实时偏转角,即可计算出最终的读数。

为了验证此方法的有效性,输入经过提取的指针图像图12(a)进行实验。其仿真结果如图12(b)所示。

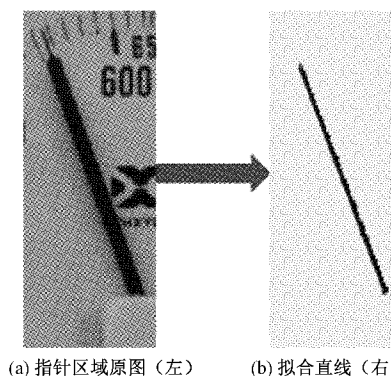


图12 指针拟合直线

调节 Hough 直线能被检测出的最小长度和被允许出现的拟合直线条数,使得只出现指针拟合的直线。

实验以垂直方向为 θ 等于0。当进行 Hough 变换的投票机制之后,由下图13可以看出,大量正弦曲线相交于当 θ 在 -20 附近的点,这代表着指针拟合出的一条直线,本实验的读数识别只需要角度信息,即任取一个得到所需角度即可。

设定指针式仪表的量程为 a ,拟合直线的偏转角为 θ ,则其读数的计算如下所示:

$$result = \frac{\left(\theta + \frac{\pi}{2}\right) * a}{\frac{\pi}{2}} \quad (3)$$

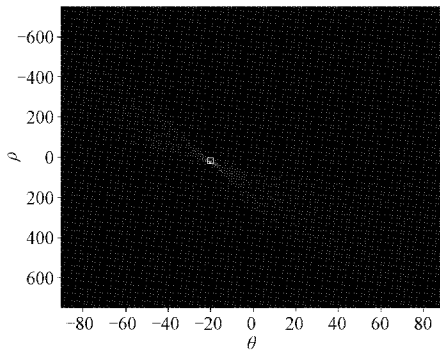


图 13 参数坐标系交点

5 实验验证

总体算法流程如图 14 所示。

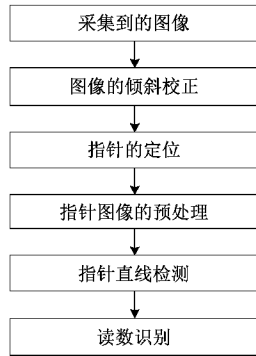


图 14 算法流程

为了对算法进行验证,搭建实验装置如图 15 所示,图 15(a)中巡检机器人探头在吊轨上进行移动,进行指针式仪表图像的抓取,并将捕获的图像实时传给远程识别系统如图 15(b)所示。并且根据识别出的结果进行分析。



(a) 硬件部分



(b) 软件部分

图 15 实验装置

选取识别的为量程 650 V 的电压表,在实验过程中将随着电压不断增大,进行多次识别,并进行误差分析。检测结果如表 1 所示,从表 1 中可以得出指针式仪表的识别示数与实际值的误差在 -2.73~3.64 V 之间,相对误差在 2.47% 以内,能够达到工业巡检的标准要求。

表 1 读数识别结果误差分析

序号	角度值/ (°)	识别读数/ V	实际 读数/V	绝对 误差/V	相对 误差/%
1	5.034 1	36.357 4	37.28	0.92	2.47
2	8.674 7	62.650 6	63.73	1.08	1.69
3	16.557 9	119.584 8	121.93	2.35	1.93
4	22.377 4	161.614 5	163.20	1.59	0.97
5	30.032 0	216.897 7	215.69	-1.21	0.56
6	33.744 9	243.713 1	241.25	-2.46	1.01
7	36.862 1	266.226 2	269.87	3.64	1.36
8	41.371 8	298.796 3	301.97	3.18	1.05
9	48.162 2	347.838 1	349.68	1.84	0.53
10	53.796 4	388.529 5	390.58	2.05	0.52
11	57.632 8	416.236 8	418.18	1.94	0.46
12	64.138 9	463.225 3	460.50	-2.73	0.59
13	70.096 3	506.250 7	509.10	2.85	0.56
14	76.337 6	551.327 1	554.85	3.52	0.63
15	81.236 9	586.710 9	589.47	2.76	0.47

拟合出识别读数与实际读数的线性关系和偏差值,如图 16 所示。得到表示回归模型系数拟合优度的参数 $R_2=1$,表示拟合程度较高,识别的可靠性强。

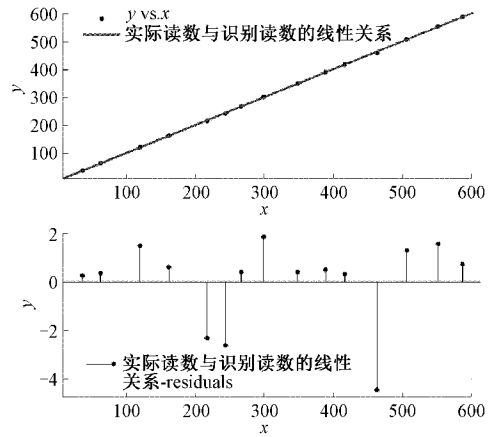


图 16 实际读数与识别读数分析

6 结 论

本文针对指针式仪表的读数识别问题进行分析,通过倾斜校正、指针定位、图像的去噪、二值化和细化一系列措施,使得利用 Hough 变换检测直线更加精准,然后利用角

度法得到误差允许范围内的识别结果。在文中作者对每个步骤的解决方法进行了细致阐述,针对图像倾斜问题的多种解决方法进行分析,并且利用深度学习与图像处理相结合的方式使得识别过程更加简便有效。最后利用巡检平台对指针式仪表的识别方法进行验证,证明了本文提出的方法达到了预期的效果。

参考文献

- [1] 张昊,周国钧,王风雷. 基于深度学习的海上升压站仪表识别方法[J]. 工业控制计算机, 2021, 34(3): 56-57, 60.
- [2] 曾林,高彦波,王胜涛,等. 基于机器人视频监控的变电站多维巡检技术研究[J]. 自动化与仪表, 2021, 36(2): 105-108.
- [3] 沈卫东,李文韬,刘娟,等. 基于改进 Canny 边缘检测的指针式仪表自动读数算法研究[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(2): 60-66.
- [4] 张志锋,王风琴,田二林,等. 基于机器视觉的指针式仪表读数识别[J]. 控制工程, 2020, 27(3): 581-586.
- [5] 杜静,魏鸿磊,樊双蛟,等. 基于 HOUGH 变换的指针式压力表自动识别算法[J]. 机床与液压, 2020, 48(11): 70-75.
- [6] 邢浩强,杜志岐,苏波. 变电站指针式仪表检测与识别方法[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(11): 2813-2821.
- [7] 周登科,杨颖,朱杰,等. 基于深度学习的指针式仪表倾斜校正方法[J]. 计算机辅助设计与图形学学报, 2020, 32(12): 1976-1984.
- [8] 张建国,齐家坤,李颖,等. 倾斜图像的车牌识别方法研究[J]. 机械设计与制造, 2020(6): 58-61, 65.
- [9] 笕晨,李丹. 银行卡倾斜校正研究与实现[J]. 兰州工业学院学报, 2019, 26(5): 74-78.
- [10] 刘伍丰,何前磊,郑维. 基于 HARR 特征与 BP 神经网络的车牌识别技术研究[J]. 电子测量技术, 2019, 42(8): 61-67.
- [11] 周伟,巢渊,李龔,等. 基于改进 Harris 角点检测的芯片图像快速校正[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(10): 74-81.
- [12] 岳娟,高思莉,李范鸣,等. 具有近似仿射尺度不变特征的快速图像匹配[J]. 光学精密工程, 2020, 28(10): 2349-2359.
- [13] 程向红,李俊杰. 基于运动平滑性与 RANSAC 优化的图像特征匹配算法[J]. 中国惯性技术学报, 2019, 27(6): 765-770.
- [14] 程漫颖,姚敏茹,曹凯,等. 基于二次匹配策略的 RANSAC 算法研究[J]. 电光与控制, 2021, 28(6): 38-41, 51.
- [15] 王莉,何牧天,徐硕,等. 基于 YOLOv5s 网络的垃圾分类和检测[J]. 包装工程, 2021, 42(8): 50-56.
- [16] 谈世磊,别雄波,卢功林,等. 基于 YOLOv5 网络模型的人员口罩佩戴实时检测[J]. 激光杂志, 2021, 42(2): 147-150.

作者简介

胡鑫, 硕士在读, 主要研究方向为计算机视觉。

E-mail: 1810347286@qq.com

欧阳华, 副教授, 主要研究方向为信号处理。

E-mail: 78ouyang@163.com

尹洋(通信作者), 讲师, 主要研究方向为控制工程。

E-mail: reeyan@163.com

侯卓成, 硕士在读, 主要研究方向为计算机视觉。

E-mail: 2193513923@qq.com