

文章编号: 2095-2163(2022)04-0104-06

中图分类号: TP311.1

文献标志码: A

基于双目视觉的指针仪表读数识别

涂沛驰¹, 傅钰雯², 熊宇璇³, 杨健晟¹

(1 贵州大学 电气工程学院, 贵阳 550025; 2 贵州交通职业技术学院 物流系, 贵阳 551400;

3 贵州大学 外国语学院, 贵阳 550025)

摘要: 变电站中指针式仪表使用广泛,随着工业的快速发展,图像处理以及机器视觉等技术在仪表读数中的应用越来越广泛,但传统单目视觉仪表读数识别仍存在一定的弊端,在没有正视仪表的情况下,读数仍然存在误差。针对以上问题,构建了一种基于双目视觉的指针式仪表读数识别方案,来实现指针式仪表的准确读数。使用标定过的双目相机拍摄左、右视图,通过极线校正及图像预处理方法来处理所拍摄到的左、右视图后,对指针与表盘进行特征点匹配,接着通过三维重建算法计算出特征点的三维坐标,并构建出指针与仪表盘平面的空间信息,最后将指针垂直投影至仪表盘平面,构建比例尺关系,使用读数计算输出读数。

关键词: 指针仪表; 三维重建; 双目视觉; 读数识别

Pointer gauges reading recognition based on binocular vision

TU Peichi¹, FU Yuwen², XIONG Yuxuan³, YANG Jiansheng¹

(1 The Electrical Engineering College, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2 Department of Logistics Engineering, Guizhou Communication Polytechnic, Guiyang 551400, China;

3 College of Foreign Languages, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

[Abstract] Pointer gauges are widely used in substations. With the rapid development of the industry, image processing and machine vision technologies are more and more widely used in meter readings. However, there are still certain drawbacks in the reading recognition of traditional monocular vision meters. While the front-vision instrument is missing, there is still an error in the reading. In view of the above problems, a binocular vision-based pointer meter reading recognition scheme is constructed to achieve accurate reading of pointer meters. In the research, the calibrated binocular camera is used to shoot the left and right views. After processing the captured left and right views through epipolar correction and image preprocessing methods, the pointer and the dial are matched with feature points, and the three-dimensional reconstruction algorithm is used to calculate the three-dimensional coordinates of the feature points. After that, the spatial information of the pointer and the dial is also constructed. Finally, the pointer is vertically projected to the plane of the instrument panel, the scale relationship is constructed, and the reading is used to calculate the output.

[Key words] pointer gauges; three-dimensional reconstruction; binocular vision; reading recognition

0 引言

随着科学技术的发展,变电站作为电力系统中不可或缺的一部分,变电站的安全系数及工作效率就变得尤为重要,但由于站内存在电磁干扰等环境因素将对数显式仪表产生读数上的影响,因此变电站中的指针式仪表是对特定数据进行采集及监测的重要工具,但到目前为止,大部分变电站内的指针式仪表仍靠人工进行读数,由于人眼识别读数存在着工作效率低下、读数误差大等缺点,因此实现变电站内指针式仪表的自动化读数是亟需解决的问题

题^[1-3]。

随着计算机图像处理技术的发展,现如今基于计算机视觉的自动识别技术在仪表读数中得到了广泛的应用^[4-5]。张冀等人^[6]、曾舒帆等人^[7]以及李祖贺等人^[8]采用剪影法把2张背景相同、但指针位置不同的图片进行减法操作,以此来获取仪表指针的位置。刘迪等人^[9]通过改进的 Hough 变换来识别指针仪表的位置,再根据指针的旋转角度来计算读数。针对指针颜色与表盘存在明显区别,徐洋等人^[10]采用了 RGB 颜色通道与改进的 Hough 变换相结合的办法来定位指针的所在位置。这是基于相机

基金项目: 贵州省科学技术基金项目(黔科合基础[2018]1030); 贵州省教育厅创新群体(黔教合 KY 字[2021]012)。

作者简介: 涂沛驰(1995-),男,硕士研究生,主要研究方向:机器视觉、人工智能、三维重建技术等;傅钰雯(1988-),女,硕士,讲师,主要研究方向:大数据分析;熊宇璇(1999-),女,硕士研究生,主要研究方向:非文学翻译;杨健晟(1987-),男,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向:机器视觉检测技术、燃烧诊断技术。

通讯作者: 杨健晟 Email:jsyang3@gzu.edu.cn

收稿日期: 2021-11-11

正视仪表的情况下所进行的读数识别,但在许多场景下,由于相机不能完全正视仪表,就会导致拍摄时出现视差的情况,从而使读数出现较大的误差。

针对表盘倾斜的状况,莫文雄等人^[11]使用 Canny 边缘检测算子提取刻度盘以及指针轮廓作为模板,再将输入图像与模板进行匹配,通过部分区域相似性来计算模板在输入图像中的位置,最后利用查表法进行读数识别。房桦等人^[12]首先对仪表图像建立模板,然后通过 SIFT 算法提取仪表表盘所在位置,该算法在处理圆形物体时,寻找到的关键点较少,耗时长且数据计算量大,针对校正圆形物体存在一定的缺陷。朱柏林等人^[13]采用了 ORB 算法来获取仪表盘区域,该算法具有较快的运行速度。然而上述方法中,模板的制作需针对同型号仪表,工厂中存在不同种类仪表,全部建立模板工作量大。SIFT 算法需要提取图中的稳定点,适合有明显角点的矩形仪表,对于工厂中圆形仪表识别较为困难,故上述方法适用性不强。

相对于传统单目的指针式仪表的读数识别,双目视觉及三维重建技术能很好地还原出物体的三维信息,从而消除由视差引起的读数误差问题。

在此情况下,提出了一种基于双目视觉的指针式仪表读数的识别方法,通过双目相机获取指针式仪表视差图,利用视差图中的特征点匹配进行三维重建,在重建的三维空间中校正指针与表盘的相对位置,最终实现工业环境下指针式仪表在任何视角下的准确读数。

1 系统设计方案

本方案采用双目视觉系统采集倾斜状态下的指针式仪表的视差图并进行图像预处理,接着通过特征点匹配重建出指针与表盘在空间中的位置,此方案的核心是将空间中的指针垂直投影至重建出的表盘平面上,并构建指针角度-仪表读数模型来计算读数^[14-15]。针对双目视觉技术下的指针式仪表的读数识别,系统设计流程如图 1 所示。

2 双目视觉原理

2.1 双目视觉计算原理

双目立体视觉是对传统单目视觉的延伸,从采集到的左右视图组中得到深度信息是采用双目视觉的目的。采用 2 台规格一样的相机,对同一物体进行同时拍摄,得到具有视差的左、右视图组。双目视觉成像原理图如图 2 所示。图 2 中右侧的指针式仪

表为三维空间中的被测对象,左侧的 2 个指针式仪表是通过双目相机采集到的具有视差的左、右视图组。其中,水平平行的 2 根虚线分别为两相机的光轴线;两光轴线间的距离 b 为基线; c_1 与 c_2 分别表示 2 个相机的光心; c'_1 与 c'_2 分别为 2 个相机拍摄图像的像心; f 是相机的焦距。

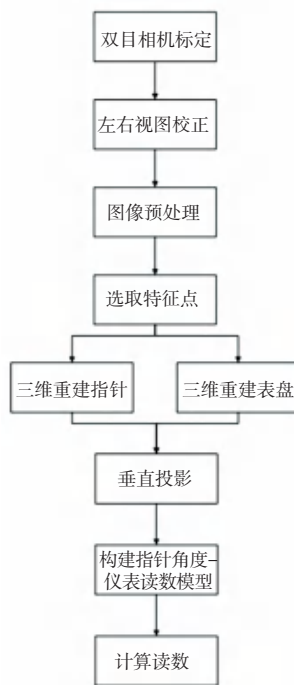


图 1 双目视觉指针仪表读数识别流程图

Fig. 1 Flow chart for recognition of binocular vision pointer meter readings

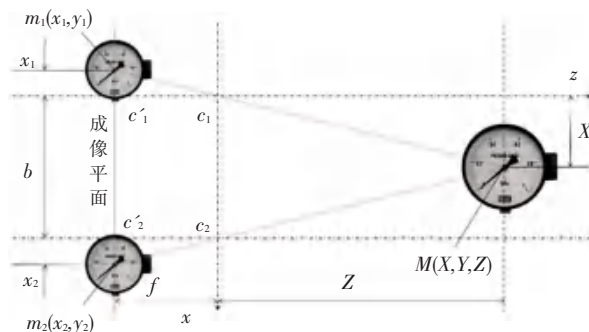


图 2 双目视觉成像原理图

Fig. 2 Principle diagram of binocular vision imaging

由图 2 可知,右侧仪表上特征点 M 的三维空间坐标为 (X, Y, Z) , 该点在左、右相机成像上对应的投影点分别为 $m_1(x_1, y_1)$ 和 $m_2(x_2, y_2)$ 。假设左、右相机平行,即 $y_1 = y_2 = Y$ 。由三角几何关系,从图 1 中可以得到式(1)和式(2):

$$x_1 = X \frac{f}{Z} \tag{1}$$

$$x_2 = (b - X) \frac{f}{Z} \quad (2)$$

由式(1)和式(2)可以获取到拍摄物体所需要的深度信息为式(3):

$$Z = \frac{bf}{x_2 - x_1} \quad (3)$$

其中, $(x_2 - x_1)$ 为视差, 可以通过匹配左、右视图中的对应特征点获取。因此, 左相机上的任意一点在右相机上找到与之对应的特征点后, 便能得到获取对应物体的深度信息, 即三维坐标。由式(3)可以看出, 在双目视觉系统中, 当 b 与 f 确定时, 深度 Z 与视差 $(x_2 - x_1)$ 成反比。

2.2 相机标定及内外参数

三维重建前需要对相机进行标定, 常用的有张氏标定法、传统标定法等^[16-19]。相机进行标定后, 立体空间中任意一点的坐标与相机坐标系下对应点的坐标可以通过式(4)表示:

$$m = \begin{pmatrix} \hat{e}_u & \hat{e}_0 \\ \hat{e}_v & 0 \\ \hat{e}_0 & 0 & 1 \end{pmatrix} \begin{pmatrix} f_u & \gamma & u_0 \\ 0 & f_v & v_0 \\ 0 & 0 & 1 \end{pmatrix} [R \quad T] M \quad (4)$$

其中, f_u 、 f_v 、 u_0 、 v_0 、 γ 为相机内参; f_u 与 f_v 分别为 u 轴和 v 轴上的归一化焦距; u_0 与 v_0 为光学中心; γ 为图像坐标与世界坐标的斜交因子; R 矩阵与 T 矩阵为相机外参, 分别表示旋转矩阵及平移矩阵。

3 实验过程与数据处理

3.1 双目相机标定

实验采用的双目系统由2台工业相机组成, 配

合使用 6 mm 定焦镜头, 使用三脚架进行固定拍摄。图像曝光时间为 30 ms, 增益为 1.25, 拍摄 11 组标定板图像, 标定板的角点识别结果如图 3 所示。

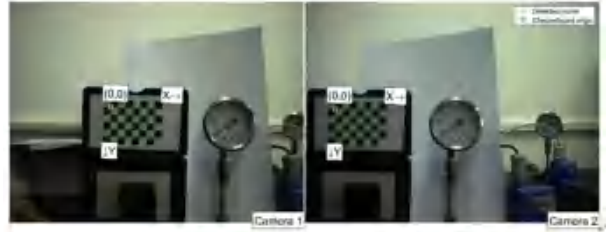


图3 标定板角点识别结果

Fig. 3 Results of the identification of corner points of the calibration plate

在此基础上, 通过 Matlab 软件自带的 stereo Camera Calibrator 标定程序对其进行标定以获取内、外参数, 标定后对 11 组标定板图像进行三维重建, 如图 4 所示。重建后的误差如图 5 所示。

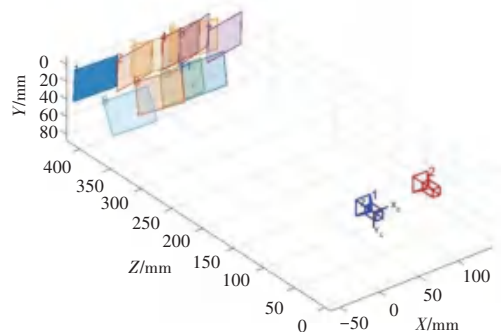


图4 标定板三维重建

Fig. 4 3D reconstruction of the calibration plate

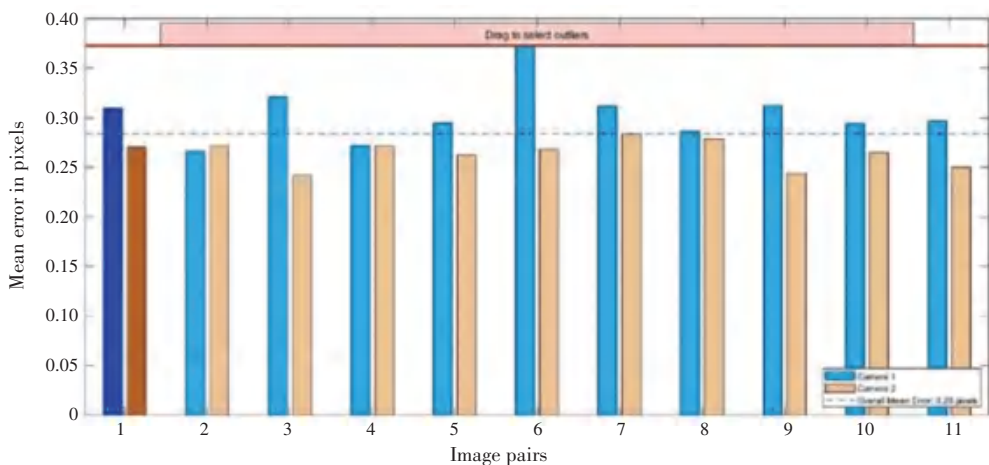


图5 标定板重建的像素误差

Fig. 5 Pixel errors in calibration plate reconstruction

3.2 仪表指针特征点的三维重建

首先采用灰度化、滤波、二值化、膨胀腐蚀等图像预处理方法以及霍夫直线检测方法,识别出指针式仪表左右视图上指针的所在位置,并对其进行标注,其中一个视图中仪表指针识别结果如图6所示。



图6 指针识别

Fig. 6 Pointer recognition

进一步地,通过利用标定获得的相机内、外参数对左、右视图进行畸变校正以及极线约束,使双目相机所采集到的左、右视图上的所有匹配点处于同一水平状态,如图7所示。其中,指针上标出的红色圆点为指针与极线约束后提取的特征点,即左、右视图中提取的指针匹配点。

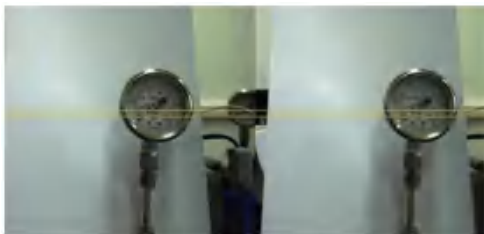


图7 校正后指针特征点的选取

Fig. 7 Selection of pointer feature points after correction

在获得了2组匹配点之后,使用匹配点在左、右视图中的二维图像坐标,以及双目相机标定得来的参数,通过三角形算法进行三维重建,以得到指针上2个特征点的空间三维坐标,在三维空间中显示如图8所示。分别以坐标 $X-Z$ 、 $Y-Z$ 关系建立指针的空间函数,如式(5)、(6)所示:

$$\frac{(x - x_1)}{(x_2 - x_1)} = \frac{(z - z_1)}{(z_2 - z_1)} \quad (5)$$

$$\frac{(y - y_1)}{(y_2 - y_1)} = \frac{(z - z_1)}{(z_2 - z_1)} \quad (6)$$

图8中所显示的橙色线段即为指针在空间中的重建,红色圆点为指针重建后的特征点。

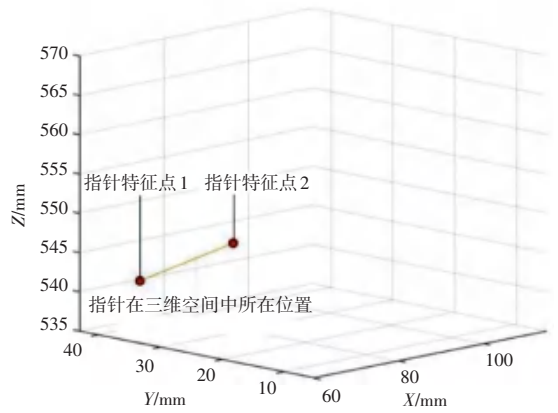


图8 指针的三维重建

Fig. 8 3D reconstruction of the pointer

3.3 仪表表盘的三维重建

与指针的三维重建过程相似,在通过双目相机标定消除畸变后,采用极线校正,使左、右视图的表盘各特征点处于同一水平状态。因仪表在左、右视图所占位置较小,在处理前先将仪表区域裁剪出来,接着再采用灰度化、去噪、二值化等图像预处理操作提取出表盘刻度线骨架,最后采用极线约束,将左、右视图中对应的表盘刻度线骨架与极线的交点作为一组表盘的匹配点,用此方法得到3组匹配点。如图9所示。



图9 校正后表盘特征点的选取

Fig. 9 Selection of dial feature points after calibration

利用双目相机标定好的相机内、外参数,对得到的3组表盘匹配后的特征点进行三维重建,得到3个表盘特征点的空间三维坐标 $A(a_1, b_1, c_1)$ 、 $B_2(a_2, b_2, c_2)$ 、 $C_3(a_3, b_3, c_3)$,平面方程一般式如式(7)所示:

$$Ax + By + Cz + D = 0 \quad (7)$$

将前文求得3个三维空间坐标点代入公式(7)中可得三元一次方程组,解方程组求得参数 A 、 B 、 C ,从而解析出平面方程。计算出对应的平面方程,并构建出表盘面在空间中的位置,如图10所示。

图10中黄色圆点为表盘重建后的特征点标点。重建完指针及仪表表盘平面后,将重建后指针两点的空间坐标垂直投影至表盘平面,过平面外一

点做此平面的法向量,该法向量会与平面内任何一个向量垂直,且该法向量在此平面的垂直投影点满足该平面的平面方程,由三点三维坐标可计算出 \vec{AB} 与 \vec{AC} ,设平面外一点坐标为 E_1 ,在平面上的投影点为 $M_1(x,y,z)$,由以下方程组(8)计算可知位于平面上的垂直投影坐标 M_1 :

$$\begin{cases} \vec{A_1C_1} \cdot \vec{M_1E_1} = 0 \\ \vec{A_1B_1} \cdot \vec{M_1E_1} = 0 \\ Ax + By + Cz + D = 0 \end{cases} \quad (8)$$

同理,可求出平面外另一点 G_1 所对应的垂直投影坐标 N_1 。

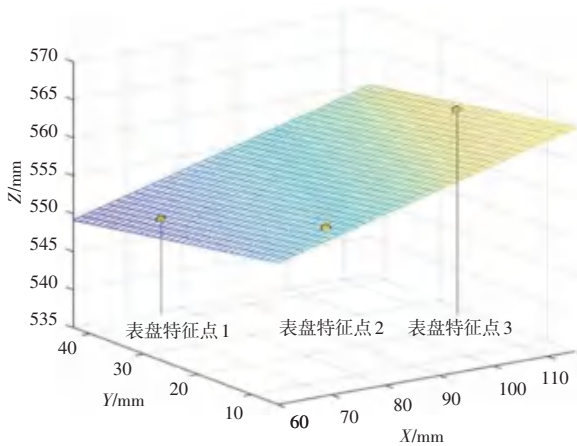


图10 表盘的三维重建

Fig. 10 3D reconstruction of the dial

将重建后的指针目标点投影至构建的仪表盘平面,实现指针在仪表盘上的垂直投影,如图11所示。

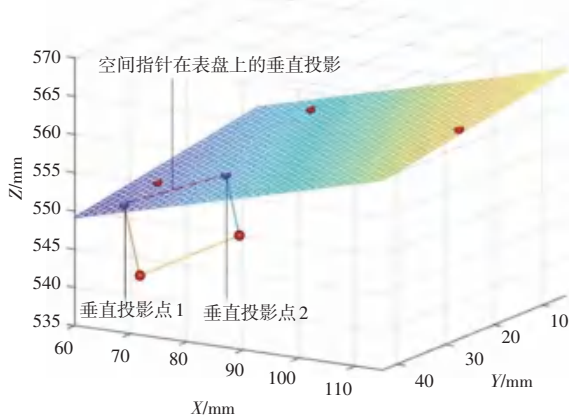


图11 指针在表盘上的垂直投影

Fig. 11 Vertical projection of the hands on the dial

图11中所显示的红色线段为空间中指针在表盘平面上的垂直投影,蓝色圆点为空间中指针特征点在表盘平面上的垂直投影。

4 构建指针角度-仪表读数模型

将重建后的指针垂直投影至仪表表盘,并将空间三维坐标系下的垂直投影坐标投影至二维平面坐标系。三维空间坐标投影至二维平面后,构建对应比例尺关系,这里通过区分不同象限与其所对应角度的关系计算出指针在每个象限的角度,0刻度时计算出的角度为最小角度,记为 $AngleMin$ 。0刻度所对应的量程为最小量程,记为 L_{min} ;0.6刻度时计算出的角度为最大角度,记为 $AngleMax$ 。0.6刻度所对应的量程为最大量程,记为 L_{max} 。以此为基础构建指针角度与仪表读数的比例尺,当前检测角度记为 $Angle$,根据式(9)可计算出仪表读数:

$$R = \left| \frac{(Angle - AngleMin)(L_{max} - L_{min})}{(AngleMax - AngleMin)} \right| \quad (9)$$

5 实验结果与分析

通过实验得到多组数据进行实验如图12所示。

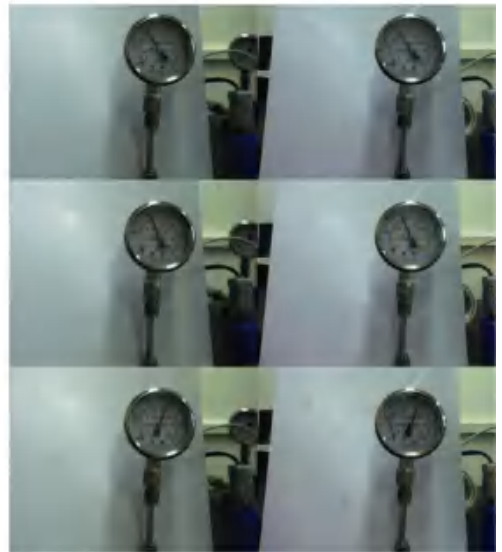


图12 多组实验数据

Fig. 12 Multiple sets of experimental data

对比分析结果见表1,双目视觉识别指针式仪表读数是具备准确读数效果。通过与左、右相机对比分析,可以发现,左、右相机单独读数至少存在一个相机的光轴中心未能对准指针仪表中心,从而引起读数的误差,这表示相机拍摄仪表存在倾斜角度时,会因为指针成像位置的改变而造成读数误差。经过双目立体视觉对指针和表盘三维重建,获取其深度信息后,可有效减小读数的误差,可有效地识别指针式仪表的读数。

表1 读数分析结果

Tab. 1 Results of analysis of readings

实际读数	双目视觉读数	双目视觉相对误差/%
0.36	0.353 63	1.77
0.40	0.392 64	1.84
0.44	0.431 28	1.98
0.50	0.490 12	1.97
0.56	0.571 22	2.00

6 结束语

针对二维成像的仪表读数受成像角度影响大的问题,设计了一种基于双目视觉立体成像的指针仪表读数识别,通过对双目相机同步拍摄左、右视图,并对左、右视图进行预处理操作,寻找到左、右视图中匹配的特征点进行三维重建,获取其三维空间坐标,重建了指针及仪表后,将空间中的指针垂直投影至表盘平面,以此来消除由于视差所导致的读数误差,最后构建指针角度-读数的比例尺关系计算读数。经实验证明,该方法具有较强的应用价值。

此外,指针式仪表的特征点选取及匹配直接影响到空间三维重建的精度,因此,该方案中特征点的选取以及匹配还存在进一步优化的空间。

参考文献

- [1] ZHENG Chao, WANG Shaorong, ZHANG Yihan, et al. A robust and automatic recognition system of analog instruments in power system by using computer vision[J]. Measurement, 2016, 92: 413-420.
- [2] YANG Biao, LIN Guoyu, ZHANG Weigong. Auto-recognition method for pointer-type meter based on binocular vision[J]. Journal of Computers, 2014, 9(4): 787-793.
- [3] HAN Jiale, LI En, TAO Bingjie, et al. Reading recognition method of analog measuring instruments based on improved hough

transform [C]//IEEE 2011 10th International Conference on Electronic Measurement & Instruments. Chengdu, China: IEEE, 2011, 3: 337-340.

- [4] 韩绍超,徐遵义,尹中川,等. 指针式仪表自动读数识别技术的研究现状与发展[J]. 计算机科学,2018,45(S1):54-57.
- [5] 张雪飞,黄山. 多类指针式仪表识别读数算法研究[J]. 电测与仪表,2020,57(16):147-152.
- [6] 张冀,王俊宏,尉迟明,等. 基于计算机视觉的汽车仪表指针检测方法[J]. 计算机工程与科学,2013,35(03):134-139.
- [7] 曾舒帆,李亚娟,朱自科,等. 指针式电学三表自动检定系统研制[J]. 中国测试,2019,45(04):104-108.
- [8] 李祖贺,刘嘉,薛冰,等. 面向自动校验系统的指针式压力表读数识别[J]. 计算机工程与应用,2016,52(23):213-219.
- [9] 刘迪,毕笃彦,李权合,等. 非均匀光照下指针式仪表自动判读算法设计[J]. 计算机应用与软件,2013,30(09):47-48,87.
- [10] 徐洋,张清蓉. 基于图像处理的汽车指针仪表检测研究[J]. 计算机应用与软件,2014,31(08):219-221,252.
- [11] 莫文雄,裴利强,黄青丹,等. 基于模版匹配和查表法的高精度指针式仪表自动检定系统研制[J]. 电测与仪表,2017,54(12):100-105.
- [12] 房桦,明志强,周云峰,等. 一种适用于变电站巡检机器人的仪表识别算法[J]. 自动化与仪表,2013,28(05):10-14.
- [13] 朱柏林,郭亮,吴清文. 基于 ORB 和改进 Hough 变换的指针仪表智能识读方法[J]. 仪表技术与传感器,2017(01):29-33,73.
- [14] 黄俊杰,杨健晟,刘晓波,等. 基于双目视觉监控的输电线路立体空间建模[J]. 电力系统保护与控制,2018,46(19):102-108.
- [15] 周杨浩,刘一帆,李琛. 一种自动读取指针式仪表读数的方法[J]. 山东大学学报(工学版),2019,49(04):1-7.
- [16] 杨健晟,刘晓波,黄俊杰,等. 基于立体成像系统的架空输电线路通道监测[J]. 贵州大学学报(自然科学版),2019,36(03):81-85.
- [17] ZHANG Z. A flexible new technique for camera calibration[J]. IEEE Transactions on pattern analysis and machine intelligence, 2000, 22(11): 1330-1334.
- [18] QI W, LI F, Zhenzhong L. Review on camera calibration[C]//2010 Chinese Control and Decision Conference. Yinchuan, China: IEEE, 2010: 3354-3358.
- [19] 王靖韬,侯振杰. 传统相机标定方式的自动标定方法[J]. 计算机工程与应用,2010,46(35):205-208.
- [20] 冯亮,谢劲松,李根,等. 摄像机标定的原理与方法综述[J]. 机械工程师,2016(01):18-20.

(上接第 103 页)

的准确性和较快的运行速度,但是该模型仍存在一定的局限性,在视频画质模糊的情况下分类效果较差,在后续工作中可以尝试使用图像增强来改善分类效果。

参考文献

- [1] 石斌斌. 基于图神经网络的运动姿态识别研究[D]. 北京:北京邮电大学,2021.
- [2] 任海兵. 非特定人自然的人体动作识别[D]. 北京:清华大学,2003.
- [3] 李瑞峰,王亮亮,王珂. 人体动作行为识别研究综述[J]. 模式识别与人工智能,2014,27(01):35-48.

- [4] 刘飞. 基于 Kinect 骨架信息的人体动作识别[D]. 上海:东华大学,2014.
- [5] 吴军,肖克聪. 基于深度卷积神经网络的人体动作识别[J]. 华中科技大学学报(自然科学版),2016,44(S1):190-194.
- [6] 伍斌. 中国滑雪产业白皮书(2019 年度报告)[R/OL]. [2021-11-09]. https://www.sohu.com/a/376520666_503564.
- [7] CAO Zhe, HIDALGO G, SIMON T, et al. OpenPose: Realtime multi-Person 2D pose estimation using part affinity fields[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2021, 43(1):172-186.
- [8] YAN Sijie, XIONG Yuanjun, LIN Dahua. Spatial-temporal graph Convolutional Networks for skeleton-based action recognition [C]//Thirty-Second AAAI Conference on Artificial Intelligence (AAAI-18). Louisiana, USA: AAAI, 2018:1-11.