

基于图像视觉检测技术的激光标线仪校准装置研究^{*}

李 青 刘红光 李凌梅 李元耀
(天津市计量监督检测科学研究院 天津 300192)

摘 要:针对传统激光标线仪靶标测量方法难度大、人工读数困难且效率低的问题,基于图像视觉检测技术,设计了激光标线仪校准装置硬件系统及软件算法。通过数据采集单元、靶标系统单元和多功能升降工作台单元搭建出系统硬件装置。采用图像预处理方法将原始图像激光线与背景分割,提取出基准中心原点并进行系统标定,利用骨架提取算法拟合出激光测量线,计算出计量特性的偏移量,并根据算法设计出交互软件,自动测量和保存数据。最终通过所研制的校准装置和传统校准方法,校准同一激光标线仪进行比对实验,实验结果 $|E_n| \leq 1$,结果判定为满意,验证了校准系统的可行性。

关键词:视觉检测;图像处理;激光标线仪;校准装置

中图分类号: TH711 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510

Research on laser marker calibration device based on image vision detection technology

Li Qing Liu Hongguang Li Lingmei Li Yuanyao
(Tianjin Institute of Metrological Supervision and Testing, Tianjin 300192, China)

Abstract: In order to solve the problems of traditional laser marking instrument target measurement methods such as difficulty in manual reading, and low efficiency, this paper designed a laser marking instrument design device hardware system and software algorithm based on visual image detection technology. The system hardware device is built through the data acquisition unit, target system unit and multi-functional lifting workbench unit; the image repair method is used to segment the original image laser line and the background, extract the reference center origin and perform system calibration, and use the image repair method to extract the laser Measure the line, calculate the offset of the measurement characteristics, and design interactive software based on the algorithm to automatically measure and save the data. Finally, through the solution device in this article and the traditional solution method, the same laser marking instrument was determined for comparison experiments. The experimental result $|E_n| \leq 1$, the result was judged to be satisfactory, and the space for adjusting the system was verified.

Keywords: visual inspection; image processing; laser marker; calibration device

0 引言

激光标线仪,是一种高精度小型光机电测量仪器能提供自动安平的全空间三维激光线,其投射出的水平激光线和铅锤激光线可以为其他的测绘提供比较基准,具有精度高、方便携带、使用方便等优势^[1]。作为一种新型的基准类的仪器,激光标线仪在建筑施工、室内的装修、机械制造、隧道的挖掘和管道铺设等方面得到了广泛的应用,其在测量工作中的地位越来越重要^[2]。

随着图像处理技术和传感器技术的发展,图像传感器也逐渐克服了其噪声较大、灵敏度低的早期存在的问题,灵敏度变高、传输速度加快^[3-4]。刘盼盼等^[5]设计出激光标线仪的多维度校准系统,该系统采用8个平行光管组合成水平光管组和铅锤光管组,用来标定水平平面和铅锤平面,将视觉检测利用到校准中,该校准系统提高了校准效率、占地空间小,但是存在光管结构复杂、操作不便捷的缺点。孟蔓菁^[6]和吴彦红等^[7]设计了一种以CCD相机为主要采集元件的校准装置,通过图像处理实现误差校准,提

收稿日期:2023-10-08

^{*} 基金项目:天津市市场监管委项目(2022-W26)资助

高了测量的准确性,但其方法需依靠在多齿分度台上改造,方法局限性强,不具有普遍适用性,且其校准方法并不符合最新校准规范要求,所以本文针对最新发布校准规范研制校准装置,且设计更加专用的多功能升降工作台。金挺等^[8]根据检测工作经验对激光标线仪的校准方法进行探讨,提出了标线仪新的校准方法及校准装置的整体设计方案,但其设计的校准方法为传统人工靶标法,人眼识别能力精度低,读数困难,操作不便、智能化程度低,需要针对这种测量方法设计操作简便更智能化的校准装置,因此本文设计了更智能化的校准装置。

本文依据2023年6月发布的校准规范JJF 2002—2022《激光标线仪校准规范》,填补了规范发布后依据机器视觉技术检测的空白。采用机器视觉技术,设计基于图像视觉检测技术的激光标线仪校准装置,利用图像传感器代替人为的数据读取,准确又高效的自动化检测激光标线仪^[9]。针对激光线特点,提出了一种基于骨架算法的激光线定位提取算法,最终得到计量特性偏移量。同时根据投线仪装置特点完成了装置硬件设计,设计了专用多功能升降工作台、数据采集及靶标系统,装置整体更加简化智能化。

1 校准装置系统设计

本文校准装置系统依据JJF 2002—2022《激光标线仪校准规范》项目要求研制而成,由数据采集单元、靶标系统单元、多功能升降工作台单元和交互软件单元4部分构成。

1.1 数据采集单元

数据采集单元主要负责装置系统的数据采集工作,如图1所示,主要包括相机、LED平行光源和上位机。



图1 数据采集单元

Fig. 1 Data collection unit

相机的传感器类型为CMOS,分辨率为 $1\,600 \times 1\,200$ pixels,像元尺寸为 $5.2\,\mu\text{m} \times 5.2\,\mu\text{m}$,镜头视野范围为 $8.3\,\text{mm} \times 6.76\,\text{mm}$,通过位移平台可实现相机物距调节,采集视频图像通过USB接口传输到计算机软件^[10]。

1.2 靶标系统单元

靶标系统主要由靶标线纹分刻板组成,能够为整个校

准装置数据提供基准,标准分刻板测量范围为 $-15 \sim +15\,\text{mm}$,分度值 $0.2\,\text{mm}$,MPE为 $\pm 3\,\mu\text{m}$ 。靶标系统通过双轴精密平移台进行位置调节。使用DJ₂级的电子经纬仪和DSZ1的水准仪标定靶标位置,保证坐标靶水平方向坐标原点等高,目标横轴在同一平面内,坐标靶竖直方向坐标原点处于同一铅垂线上,达到校准规范的各项要求,靶标示意图如图2所示,其中靶标3~8为不同靶标分布位置。

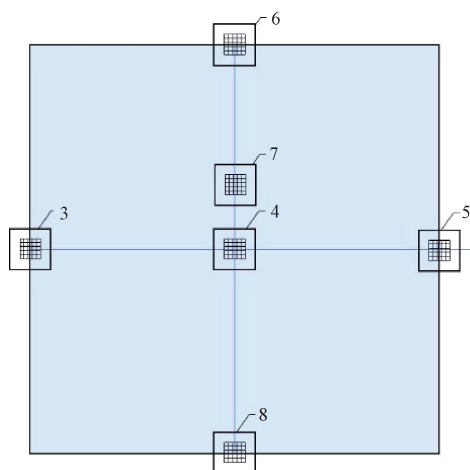


图2 靶标系统示意图

Fig. 2 Schematic diagram of target system

1.3 多功能升降工作台单元

多功能升降工作台用于标线仪的定位夹持,如图3所示,可升降调平,具有两维微倾功能,在 $1\,000 \pm 200\,\text{mm}$ 范围内自由升降,在 $\pm 2.5^\circ$ 范围内具有两维微倾功能,配备分度值为 $20''$ 的水准器。工作台安装简单实用,解决了用传统多齿工作台作为标线仪固定装置,限制标线仪校准装置安装位置,及本身的局限性无法自动测量下对点误差的问题。满足了不同型号标线仪的校准要求,可安置各类激光标线仪、水准仪、经纬仪、全站仪。



图3 多功能升降工作台

Fig. 3 Multi functional work platform

1.4 交互软件单元

软件界面的主页如图4所示,软件界面分为功能选择区、检测区、结果处理区3部分。

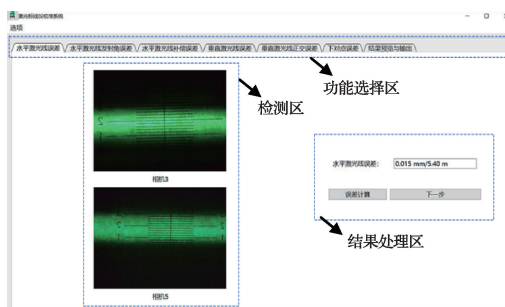


图4 软件示意图

Fig. 4 Software interface diagram

功能区,能够完成检测项目的选取,按照规范要求,布置好相应靶标,软件能够测量水平激光线误差,水平激光线近、远端倾斜误差,水平激光线补偿误差,垂直激光线误差,垂直激光线正交误差,下对点误差6项。

检测区,主要用于获取数据的实时图像,方便用户实时观察校准装置测量状态,判断激光线是否在靶标采集范围内。

结果处理区,能够实时显示测量结果,并最终按照记录模板格式,将测得结果保存为Excel格式。

2 软件算法

软件部分主要包括图像预处理、基准中心原点提取、系统标定、测量线定位提取、误差计算。激光标线仪校准装置软件结构框图如图5所示。软件部分采用Visual Studio 2022软件编写,搭配halcon和QT平台。

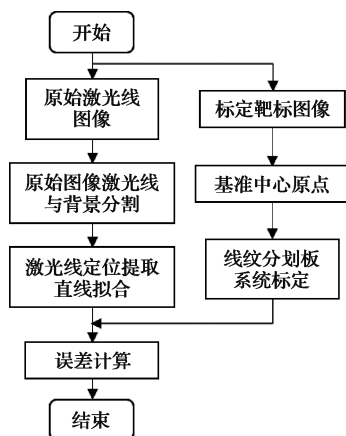


图5 校准装置软件结构框图

Fig. 5 Software structure diagram of calibration device

2.1 原始图像激光线与背景分割

原始图像激光线与背景分割是将相机采集的彩色原始图像中激光线与背景的信息分割开,定位提取出激光

线。为了增强图像质量,增加图像可处理性,本文预处理方法为图像灰度变换、图像阈值分割和形态学处理^[11-12]。

1) 图像灰度变换

由于激光线的颜色为绿色或红色,背景为黑色,色差相差较大,因此本级处理采用图像灰度变换。校准装置采集的原始图像为RGB彩色图像,如图6(a)所示,图像灰度变化为对R、G、B分量进行加权平均的算法,按照式(1)算法,使图像变为单通道灰度值图像,灰度处理变化后如图6(b)所示。

$$\text{gray} = 0.299 \times \text{red} + 0.587 \times \text{green} + 0.114 \times \text{blue} \quad (1)$$

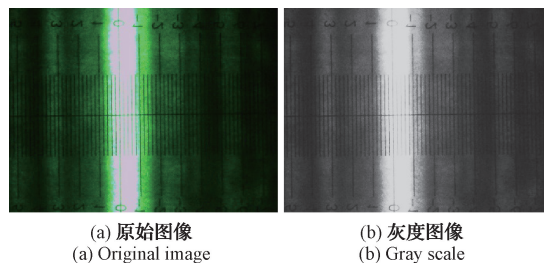


图6 原始图像灰度变化

Fig. 6 Original image grayscale variation map

2) 二值化处理

本文采用自动全局阈值分割的方法分割图像,图7所示为图6(b)灰度图像的直方图,可以看出,变换后的灰度图像的直方图具有两个较明显的峰。首先计算图像的直方图,将图像的两个最高的峰之间的峰谷的最低处确定为分割阈值。图8所示为灰度图像经过二值化处理后的图像,按照自动全局阈值分割方法将图像分为前景和背景,白色目标区域即为激光线。

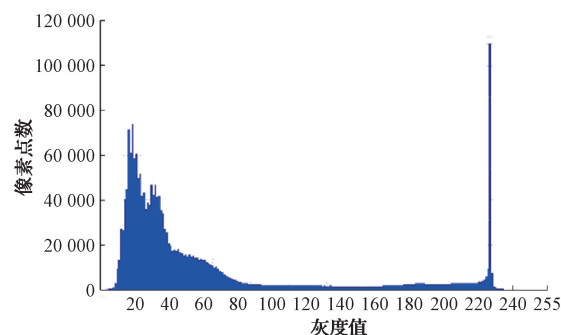


图7 灰度直方图

Fig. 7 Grayscale histogram

3) 形态学处理

经过上一级图像处理后,将激光线与背景分离出来,提取出激光线图像。由于原始图像中包含线纹分划板,其线纹颜色为黑色,容易将激光线误判为背景图像,由图8可以看出,目标区域内,有误判的分划板。分划板线纹与激光线图像差异明显,利用空洞填充算法填充孔洞。

本文采用闭运算,先膨胀后腐蚀,通常用于边界不平

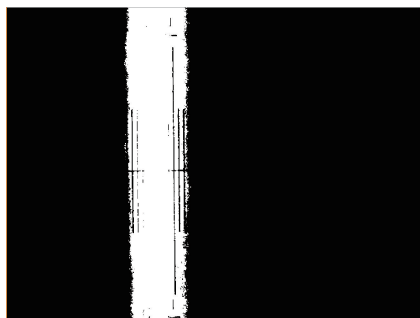


图8 二值化图

Fig. 8 Binary picture

滑或物体区域的图像有一些误判的孔洞时使用。一般情况下,连续的开闭运算迭代可以改善图像背景的细小噪声,起到非线性滤波去噪的作用^[13-14]。形态学处理后图像如图9所示,先闭运算后开运算处理后的结果,可以看到激光线两边缘的“毛刺”减少很多,处理后的边缘更为平滑,后续进一步处理更加方便。



图9 形态学处理图

Fig. 9 Morphological processing diagram

2.2 基准中心原点提取

基准中心原点需在靶标刻线原始图像上提取,如图10所示。通过直线拟合方式,选取水平方向上,最长直线横轴刻线,拟合直线A。手动框选0刻线所在大致位置,在ROI选区内,识别最长刻线,拟合直线B,识别出0刻线位置^[15]。将直线A和B的相交点作为靶标的基准中心坐标点 $O(x, y)$,记录坐标值。

2.3 线纹分划板标定

线纹分划板标定需在靶标刻线原始图像(图10)上,选取0刻线与3 mm刻线,识别出3 mm刻线位置,拟合直线C。直线B和C分别为0刻线与3 mm刻线的拟合直线。计算两条直线间的像素数 Num_p ,标称距离为3 mm,

像素当量 $pix = \frac{3 \times 10^3}{Num_p} \mu m$,完成线纹分划板像素标定。

2.4 测量线定位提取激光线定位提取

经过原始图像激光线与背景分割后完成激光线的提取。为了获得激光测量线的精准位置,本文选取骨架提取算法计算二值化预处理后的区域。骨架提取算法最终得

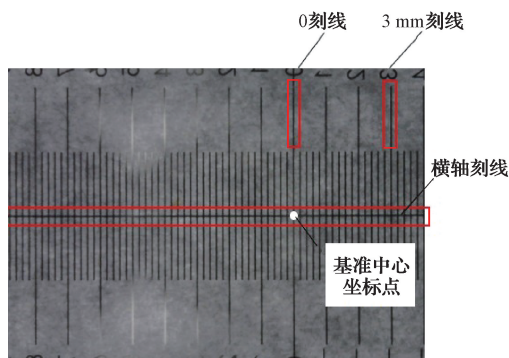


图10 靶标刻线示意图

Fig. 10 Schematic diagram of target marking

到的骨架区域是由目标区域内所有目标点的内切圆盘的圆心构成,图像的骨架特征可以理解为图像的中轴。由于在Halcon软件中,骨架算法最终得到的是区域,图11(a)所示为激光线拟合的骨架特征图,本文将骨架特征区域通过软件将其转化为XLD轮廓^[16],为防止有其他误判为激光线,根据实验经验选取最长轮廓作为目标激光线L,如图11(b)所示。目标激光线L,由图11可以看出,其并不是直线,本文采用最小二乘法将激光线L拟合成最终目标测量直线X,如图11(c)所示。

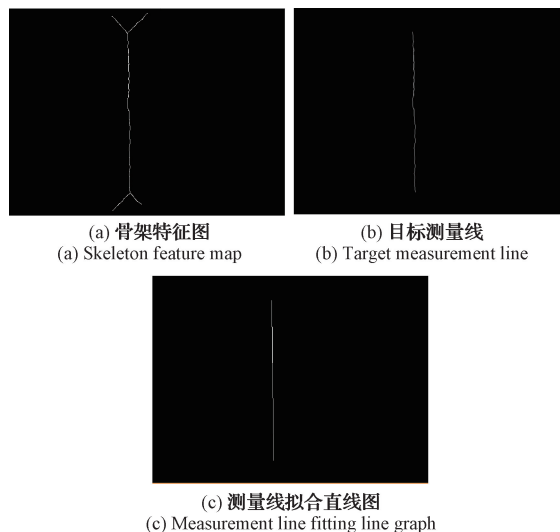


图11 目标测量线提取

Fig. 11 Target measurement line extraction map

2.5 误差计算

激光线相对于基准中心坐标点O的偏移量为坐标点O到目标测量线X的距离,逐点计算坐标点O到直线L上点的距离,选取最小值作为测量结果,得到像素点数N,根据规范要求,最终结果靶标偏移量值为mm,所以需要将pixel转化为mm,将像素当量 pix 乘以像素点数N获得最终的偏移量 x_i 。

本文计算激光标线仪的水平倾斜误差 α 的方法为计

算图2中,靶标3的偏移量 x_3 和靶标5的偏移量 x_5 ,代入式(2)中,最终计算出校准规范中激光标线仪的水平倾斜误差 α 。

$$\alpha = \frac{|\overline{x_3} - \overline{x_5}|}{L_4} \times \frac{180 \times 3600}{\pi} (") \quad (2)$$

式中: L_4 为多功能升降工作台到靶标墙面的直线距离。校准规范中规定的其他各参数校准均按照上述图像处理方式,分别计算各靶标中激光线的偏移量,获得校准结果。

3 比对实验

3.1 比对实验设计

为验证校准装置的准确性和可行性,现结合自主设计的基于图像视觉检测技术的激光标线仪校准装置和校准规范中规定的人工读数方式进行比对测量。实验选取3个不同生产厂家的标线仪在同一实验场所进行实验,标线仪固定于同一多功能升降工作台上。人工读数方式标准器选用直角坐标板作为靶标,分度值1 mm,刻线间距示值误差MPE为 ± 0.1 mm。实验现场靶标对比如图12所示,按照图2中靶标3~5分别布置两套装置靶标固定于同一墙面上,直角坐标板靶标位于图像靶标系统上方。

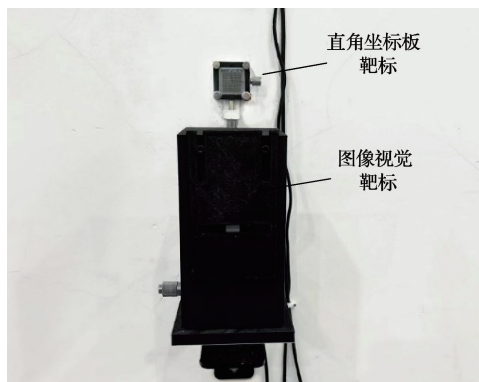


图12 实验现场靶标对比

Fig. 12 Comparison diagram of targets at the experimental site

校准“水平激光线误差”同一校准项目,读取激光线在靶标3、5上的示值,按照式(2)计算水平误差 α 。

3.2 实验结果及分析

分别选取3个不同厂家的标线仪在室内实测实量场景下进行了两种方法的比对实验,即人工读数方式和图像视觉检测方式,最终得到“水平激光线误差”校准项目测量结果,实验结果分析如表1所示。

以人工读数方式为标准,从两种方法得出的测量结果可知,3台标线仪的比对 $|E_n| \leq 1$,结果均为满意,且图像视觉检测测量方式由于校准装置分辨率较人工比对方式更高,本文设计的图像视觉检测校准方式不确定度由23"提高到了14",其校准不确定度优于人工校准方式。

表1 实验结果对比

Table 1 Comparison table of experimental results

标线仪	人工读数 方式测量 结果/ x_R	图像视觉 检测测量 结果/ x_P	$E_n = \frac{x_R - x_P}{\sqrt{U_R^2 + U_P^2}}$
莱赛激光 01	15"	18"	≤ 1
得力 02	20"	19"	≤ 1
东成 03	25"	21"	≤ 1

注: U_R 为人工读数方式测量的不确定度,为23"; U_P 为图像视觉检测测量的不确定度,为14"

综合所得数据,设备的测量准确性有了大幅提升,同时根据与人工靶标方式进行比对测量,图像视觉检测方式接近其实际的误差, $|E_n| \leq 1$ 这说明了图像视觉检测方式的可靠性,且大大降低了人工检测强度并提高了装置测量的精度。

4 结论

本文基于最新发布的《JJF 2002—2022 标线仪校准规范》,设计了基于视觉检测的激光标线仪的校准装置,完成了装置的硬件和软件设计。硬件系统由靶标系统单元、数据采集单元和多功能升降工作台单元构成。软件系统包含图像处理部分及用户交互软件界面的组成,通过图像预处理分割图像,提取出图像中基准中心原点,在靶标刻线原始图像中选取部分线纹尺的方法进行像素当量标定,并根据激光线特点基于骨架算法定位提取待测激光线,最终计算得到各计量特性的偏移量,获得校准结果。本文通过两种不同方式,校准同一待测的标线仪,最终通过实验结果 $|E_n| \leq 1$,结果判定为满意,验证了校准系统的可行性。

装置的设计填补了依据最新校准规范基于机器视觉检测标线仪的空白,大大降低了人工校准工作强度,最终能够获得 Excel 格式的标线仪校准记录和结果。

参考文献

- [1] 刘红光,崔尧尧,李青,等.激光投线仪校准方法的研究[J].国外电子测量技术,2019,38(4):71-73.
LIU H G, CUI Y Y, LI Q, et al. Research on calibration method of laser demarcation instrument[J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2019, 38(4): 71-73.
- [2] 程鹏里.激光标线仪校准方法研究和不确定度分析[J].计量与测试技术,2022,49(4):106-109.
CHENG P L. Research on calibration method and uncertainty analysis of laser marking instrument[J]. Metrology & Measurement Technique, 2022, 49(4): 106-109.
- [3] 范先友,过峰,俞建峰,等.基于改进YOLOv7的液晶面板电极缺陷视觉检测技术研究[J].电子测量与

- 仪器学报, 2023, 37(9): 225-233.
- FAN X Y, GUO F, YU J F, et al. Research on visual detection technology for liquid crystal panel electrode defect by improved YOLOv7[J]. Journal of Electronic Measurement and Instrumentation, 2023, 37(9): 225-233.
- [4] 刘涛, 关添航, 杜宏旺, 等. 基于线结构光的水下旋转扫描高精度测量方法研究[J]. 仪器仪表学报, 2023, 44(7): 260-270.
- LIU T, GUAN T H, DU H W, et al. Research on the high precision measurement method of underwater rotary scanning based on linear structured light[J]. Chinese Journal of Scientific Instrument, 2023, 44(7): 260-270.
- [5] 刘盼盼, 许流博, 乐意, 等. 激光投线仪的多维校准系统[J]. 光学精密工程, 2014, 22(6): 1486-1493.
- LIU P P, XU L B, LE Y, et al. Multi-dimensional calibration system for laser demarcation instrument[J]. Optics and Precision Engineering, 2014, 22(6): 1486-1493.
- [6] 孟蔓菁. 基于线阵 CCD 的激光投线仪检测技术研究[D]. 武汉: 中国地震局地震研究所, 2019.
- MENG M J. Research on the detection technology of laser demarcation instrument based on linear Array CCD [D]. Wuhan: Institute of Seismology China Earthquake Administration, 2019.
- [7] 吴彦红, 李虎, 张改革, 等. 图像式激光标线仪校准装置及校准方法的研究[J]. 计量技术, 2019(3): 22-25.
- WU Y H, LI H, ZHANG G G, et al. Research on the calibration device and method of image based laser marking instrument [J]. Metrology Science and Technology, 2019(3): 22-25.
- [8] 金挺, 梁琦, 王瑛辉. 激光标线仪校准方法的探讨[J]. 计测技术, 2020, 40(4): 23-26.
- JIN T, LIANG Q, WANG Y H. Discussion on the calibration method of laser marker [J]. Metrology & Measurement Technology, 2020, 40(4): 23-26.
- [9] 刘浩, 任苗苗, 刘莹, 等. 使用全站仪校准激光投线仪的方法[J]. 中国计量, 2019(4): 116-118.
- LIU H, REN M M, LIU Y, et al. Method for calibrating laser line projector using total station [J]. China Metrology, 2019(4): 116-118.
- [10] 尹婉婉, 赵文辉, 张静. 基于机器视觉的摆线轮精度综合测量[J]. 计量学报, 2023, 44(6): 844-851.
- YIN W W, ZHAO W H, ZHANG J. Comprehensive measurement of cycloid gear accuracy based on machine vision[J]. Acta Metrologica Sinica, 2023, 44(6): 844-851.
- [11] 李捷. 基于机器视觉的贴花陶瓷盘表面缺陷检测方法研究[D]. 西安: 西安理工大学, 2019.
- LI J. Research on the surface defect detection method of decal ceramic dish based on machine vision [D]. Xi'an: Xi'an University of Technology, 2019.
- [12] 杜培玉, 金永. 基于机器视觉的双凸透镜缺陷检测研究[J]. 国外电子测量技术, 2022, 41(8): 91-96.
- DU P Y, JIN Y. Research on biconvex lens defect detection based on machine vision [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2022, 41(8): 91-96.
- [13] 李淑萍, 赵津, 张帆, 等. 基于动态 ROI 识别的智能车辆车道线检测[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(8): 176-182.
- LI S H, ZHAO J, ZHANG F, et al. Intelligent vehicle lane detection based on dynamic ROI recognition [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2023, 42(8): 176-182.
- [14] 吴艳娟, 王健, 王云亮. 基于骨架提取算法的作物茎秆识别与定位方法[J]. 农业机械学报, 2022, 53(11): 334-340.
- WU Y J, WANG J, WANG Y L, et al. Crop stem recognition and localization method based on skeleton extraction algorithm. [J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2022, 53(11): 334-340.
- [15] 吴桐. 基于改进霍夫变换线段检测算法的实现和应用[D]. 济南: 山东大学, 2018.
- WU T. Implementation and application of line-segment detection algorithm based on improved hough transform [D]. Jinan: Shandong University, 2018.
- [16] 陶永辉, 王勇. 基于改进的 K-means 风电机异常数据检测[J]. 国外电子测量技术, 2023, 42(4): 141-148.
- TAO Y H, WANG Y. Abnormal data detection of wind turbine based on improved K-means [J]. Foreign Electronic Measurement Technology, 2023, 42(4): 141-148.

作者简介

李青, 硕士研究生, 主要研究方向为仪器与测试技术、几何量检测等。
E-mail: storygushi@sina.cn