

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2314418

基于图像处理的八角光纤尺寸检测算法设计^{*}

王晓龙 陈晓荣 王原野

(上海理工大学光电信息与计算机工程学院 上海 200093)

摘要:为解决传统的光纤端面尺寸检测方法中没有八角光纤,测量效率低的问题,采用图像处理对八角光纤尺寸检测进行算法设计,针对3个待测参数即纤芯直径、包层对边距离、包层对角距离,采用高斯滤波对图像进行降噪,提取待测光纤不同区域亚像素轮廓,对包层轮廓采用Ramer算法分割八边形光纤轮廓,提出过分割处理算法对不同长度的多段轮廓边进行处理,得到有效的八段轮廓;采用最小二乘法进行曲线拟合,纤芯轮廓拟合为圆测得其直径,包层轮廓各边拟合为直线测量对边距离;提出基于辅助线的顶点检测算法,进而测量对角距离。实验结果显示,本算法能对八角光纤纤芯直径、四组对边距离、四组对角距离进行精确快速测量,对边,对角距离重复测量精度平均达 $0.1\ \mu\text{m}$,达到企业技术指标要求。

关键词:边缘检测;亚像素轮廓;拟合曲线;轮廓分割

中图分类号: TN818 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Design of octagonal fiber size detection algorithm based on image processing

Wang Xiaolong Chen Xiaorong Wang Yuanye

(School of Optical-Electrical and Computer Engineer, University of Shanghai for Science and Technology, Shanghai 200093, China)

Abstract: To solve the problem of low measurement efficiency due to the lack of octagonal optical fibers in traditional fiber end face size detection methods, image processing is used to design the algorithm for octagonal fiber size detection. For the three parameters to be measured, namely, fiber core diameter, cladding edge to edge distance, cladding diagonal distance, Gaussian filtering is used to denoise the image, and subpixel contours in different areas of the fiber to be measured are extracted. The cladding contour is divided into Octagon fiber contours using the Ramer algorithm. Propose a segmentation processing algorithm to process multi segment contour edges of different lengths and obtain effective eight segment contours; Use the least squares method for curve fitting, measure the diameter of the fiber core contour as a circle, and measure the distance between the edges of the cladding contour as a straight line; A vertex detection algorithm based on auxiliary line is proposed to measure the diagonal distance. Experimental results show that this algorithm can accurately and quickly measure the core diameter, four groups of edge to edge distance and four groups of diagonal distance of octagonal fiber, The average accuracy of repeated measurements of opposite edges and diagonal distances reaches $0.1\ \mu\text{m}$ and meet the requirements of enterprise technical indicators.

Keywords: edge detection; sub-pixel contour; fitted curve; contour segmentation

0 引言

光导纤维是一种以玻璃或塑料为原料制成的纤维,通过光的全反射进行信号的传输^[1]。伴随新型业务的出现,使得光通信网中的信息量进一步增加。光纤因其优良的传光性能使光纤通信技术在光通信网中占据主流地位^[2-3]。伴随工业发展在生产中对光纤的质量要求越来越高,基本

几何尺寸的检测的合格与否是对光纤的质量保障^[4]。

由于光纤端面尺寸过小,对测量其尺寸造成困难^[5]。目前光纤几何参数的测量方法,通常采用显微镜将光纤端面放大后进行测量,也有一些通过光纤性质进行测量的方法,例如人工判读法和图像剪切法,这两种方法需操作者持不同工具将光纤截面放大测量,检测效率低且误差可能较大。还有前向或后向散射干涉法^[6]采用激光光束作为入射

收稿日期:2023-08-19

* 基金项目:国家自然科学基金(52175513)项目资助

光垂直射入使后向散射光产生干涉,观察测量实验设备数据及干涉条纹有关数据,计算得出光纤尺寸。实际应用时较简单,测量误差小,但只能测量小光纤外径。光强极值测量法^[7]需要通过建立一个光纤半径与散射角信息的数据库,数据库成功建立后,测量应数据将十分快捷但数据库建立较为繁琐。但目前大多数光纤尺寸检测方法都只能测量圆形光纤,没有有效的八角光纤尺寸检测方法,目前多数采用人工方法检测效率低。对多边形图像尺寸检测目前常用方法有角点定位法^[8]和多边形拟合法,前者在轮廓基础上计算夹角,曲率等因子,来定位轮廓的角点即拟合多边形顶点进行测量,但角点的准确定位对棱角圆滑的轮廓是很困难的。后者采用内接多边形逐渐逼近轮廓的方法,到达阈值停止生成,但容易过拟合导致形成多边形边数过多。伴随计算机发展,在工业生产中的图像处理,可节省大量人工、成本、时间,将图像处理技术更好地与各应用结合成为研究热点。

本文提出一种基于图像处理的八角光纤尺寸检测算法,对待检测八角光纤图像预处理后通过 Lanser 边缘检测提取光纤纤芯与包层轮廓,采用 Ramer 算法与过分割处理得到包层有效轮廓,通过拟合曲线测量纤芯直径与对边距离,并确定八角光纤实际顶点,最后完成参数测量。

1 参数定义

在光纤纤尺寸精密测量中,光纤纤芯与包层直径等尺寸都是十分重要的几何参数,而八角光纤包层呈八边形,截面图如图 1 所示。故测量数据变为对边与对角距离测量,进行检测的参数如表 1 所示。

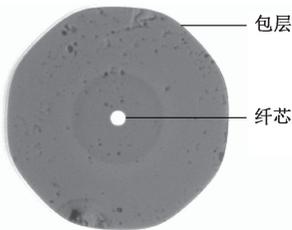


图 1 八角光纤截面图

表 1 测量参数定义

测量参数	定义
纤芯直径	纤芯轮廓拟合圆直径
对边距离	八边形对边拟合直线距离(4组)
对角距离	八边形对顶点距离(4组)

2 图像处理算法与分析

2.1 算法流程

该检测算法流程如图 2 所示,读取待检测图像进行预处理后,采用 Lanser 边缘检测算法将光纤不同区域轮廓进行提取,得到的八边形轮廓不能直接拟合测量,进一步对此

条轮廓进行分割与处理,通过最小二乘法拟合得到纤芯轮廓拟合圆与八条拟合直线,提出拟合曲线辅助确定实际顶点所在位置,最后通过计算得到待测量参数。

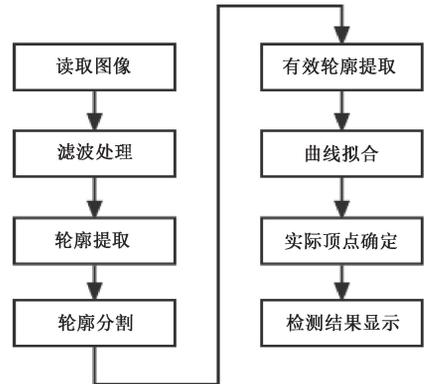


图 2 算法流程

2.2 图像预处理

图像在采集和传输过程中常会被强度随机信号(称为噪声)污染,增加后续处理难度^[9]。为避免其影响需预先对图像中的噪声信息进行过滤,本文采取高斯滤波。

$$G(x, y) = \frac{1}{2\pi\sigma^2} e^{-\frac{x^2+y^2}{2\sigma^2}} \quad (1)$$

式中: σ 是标准差,控制图像的平滑程度。可有效滤除正态分布的噪声,去除图像中一些细小边缘,降低伪边缘的识别。

2.3 轮廓提取

图像处理中,图像边缘^[10-11]是指图像灰度发生空间突变的像素的集合,通常获取亚像素边缘提高检测精度。本文采用 Lanser 边缘检测,该方法相比 Canny 边缘检测^[12]使用递归型滤波器提高检测效率。滤波器数学表达式为:

$$g(x) = -\alpha^2 x e^{-\alpha|x|} \quad (2)$$

式中: $g(x)$ 是输出信号; α 是平滑参数, α 增大,精度提高; x 为输入信号;

Lanser 边缘检测引入幅度补偿系数修正所用滤波器的各向异性,假设滤波器在梯度方向 θ 得到边缘幅度为 A ,实际梯度幅值为 A' ,则表达式如下:

$$A' = P(\theta)A \quad (3)$$

$$\begin{cases} P(\theta) = \sqrt{x(\theta)^2 + y(\theta)^2} \\ x(\theta) = 1 - \frac{1}{2(1 + \tan\theta)} - \frac{1 - \tan\theta}{2(1 + \tan^2\theta)} \\ y(\theta) = 1 - \frac{1}{2(1 + \cot\theta)} - \frac{1 - \cot\theta}{2(1 + \cot^2\theta)} \end{cases} \quad (4)$$

Lanser 边缘检测步骤如下:

步骤 1)用 IIR 滤波器进行滤波;

步骤 2)利用有限差分近似计算梯度幅值与方向;

步骤 3)对计算所得的梯度幅值进行非极大值抑制,寻找像素局部最大值;

步骤 4) 通过双阈值判定, 连接边缘;

Lanser 边缘检测结果如图 3(b) 红色标识所示, 其中包含了外面的包层轮廓和内部纤芯轮廓。

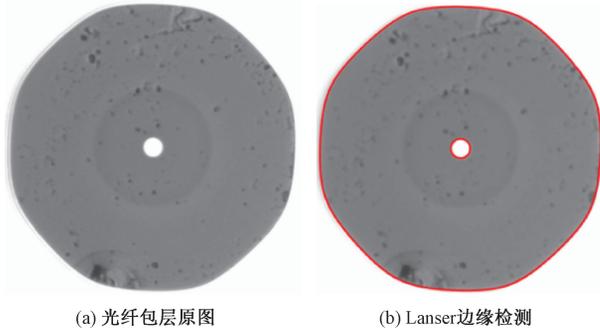


图 3 Lanser 边缘检测结果图

2.4 轮廓分割

图像轮廓通常有直线段、圆弧等几何元素构成, 可以通过寻找断点将轮廓分割为直线段和圆弧段^[13-14]。本文待检测外轮廓为一个八边形整体, 无法直接测量其对边距离, 需将该轮廓分割, 各边分别进行直线拟合测量, 通过轮廓分割将其八边分离以进行后续处理。本文采用 Ramer 算法进行轮廓分割, 分割步骤如下:

步骤 1) 设定分割阈值;

步骤 2) 在图像轮廓初始点与长度中值点连接, 计算该线段相应轮廓到线段最大距离, 与阈值相比;

步骤 3) 最大距离大于阈值则以最大距离点与线段两端点连接, 同样进行距离比较。小于阈值则停止;

步骤 4) 循环步骤 3) 至所有线段满足条件;

步骤 5) 若轮廓分割为圆弧, 对多边形所有相邻线段计算, 圆弧拟合误差小于线段的逼近最大误差, 则用圆弧替代。

轮廓分割结果如图 4(b) 所示, 不同颜色代表不同的轮廓段。

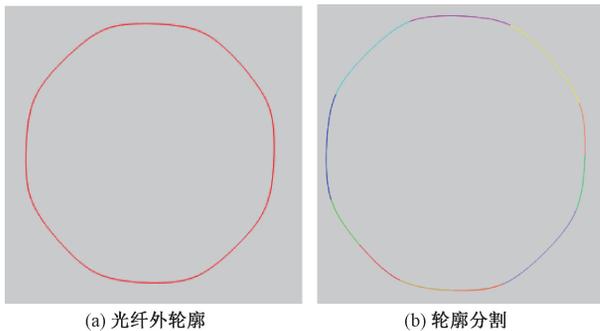


图 4 轮廓分割结果

Ramer 算法分割轮廓为直线段时, 由于实际生产出的光纤轮廓边缘棱角较圆滑, 边也存在小弧度, 更容易发生过度分割, 无法准确分割为八条轮廓, 过度分割导致无法测量四组对边距离, 对此本文提出一种过度分割处理算法, 对存在

的轮廓过度分割情况进行处理得到可进行后续直线拟合的合格轮廓边, 过度分割处理算法步骤如下:

步骤 1) 测量八边形轮廓长度, 取 $1/8$ 记为边长;

步骤 2) 将分割后轮廓长度与边长进行比较;

步骤 3) 分割后轮廓长度小于边长 20% 直接舍弃, 至步骤 6);

步骤 4) 分割后长度大于 20%, 小于 80% 与相邻的下一条轮廓进行连接, 跳过下一条轮廓长度比较, 至步骤 6);

步骤 5) 分割后长度大于 80%, 轮廓保留;

步骤 6) 返回步骤 2), 至所有轮廓完成处理; 算法处理后结果如图 5(b) 所示, 原本包层轮廓分割为 11 段如图 5(a) 所示, 经过本文算法后分割为 8 段。

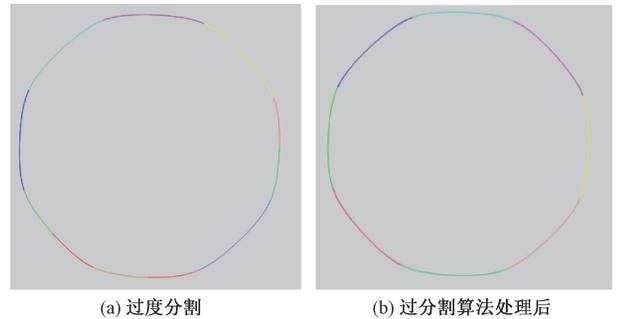


图 5 过度分割处理结果图

2.5 曲线拟合

实际情况中, 一般测量目标都不规则, 描述起来较复杂, 需要简化这种描述, 便于进行数据的获取, 采用较简单的曲线或曲面来代替待检测目标进行测量。本文需对得到的轮廓进行曲线拟合。在理想情况中, 光纤的纤芯为圆形, 现实中由于生产条件和图像采集时等各种因素, 得到的纤芯轮廓为类圆形, 对此本文采用圆方程进行拟合纤芯轮廓, 包层轮廓进行分割, 分割为 8 段, 每段轮廓进行直线拟合, 拟合圆直径即为纤芯尺寸, 拟合直线间距离为光纤对边距离。

最小二乘法拟合圆通过求最小误差平方和找到一组数据的最优参数匹配^[15-16]。设拟合的理想圆圆心 $O(A, B)$, R 为半径, 可得圆的方程为:

$$x^2 - 2Ax + A^2 + y^2 - 2By + B^2 = R^2 \quad (5)$$

设:

$$a = -2A, b = -2B, c = A^2 + B^2 - R^2 \quad (6)$$

得:

$$x^2 + y^2 + ax + by + c = 0 \quad (7)$$

求出 a, b, c 即求得圆心半径参数:

$$A = -\frac{a}{2} \quad (8)$$

$$B = -\frac{b}{2} \quad (9)$$

$$R = \frac{1}{2} \sqrt{a^2 + b^2 - 4c} \quad (10)$$

最小二乘法拟合直线,其原理是寻找一条所有初始点到拟合直线的距离平方和最小的直线,设拟合直线的直线方程为 $y=kx+b$,其中 k 为直线斜率, b 为直线截距。得到使各初始点到假设直线的距离平方和最小的参数,

$$\beta(k, b) = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - y]^2 = \sum_{i=0}^{n-1} [y_i - (kx_i + b)]^2 \quad (11)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \beta(k, b)}{\partial k} = 2k \sum_{i=1}^n x_i^2 - 2 \sum_{i=1}^n x_i y_i + 2b \sum_{i=1}^n x_i = 0 \\ \frac{\partial \beta(k, b)}{\partial b} = 2k \sum_{i=1}^n x_i - 2 \sum_{i=1}^n y_i + 2bn = 0 \end{cases} \quad (12)$$

求解上述方程得到 k 与 b 的值,确定拟合直线。纤芯拟合圆如图 6(a)所示,包层各段轮廓拟合直线如图 6(b)所示。

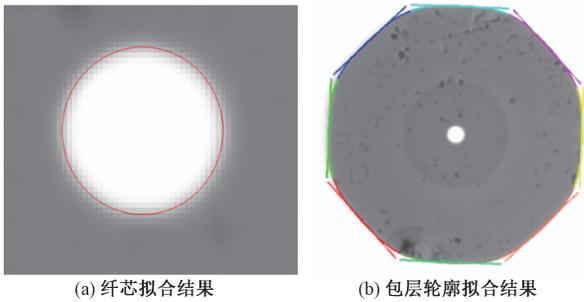


图6 曲线拟合结果图

2.6 基于辅助线的对角距离检测算法

现实生产中获得的光纤外形均是存在弧度的八边形,顶点处均为圆弧状,肉眼无法直接准确确定实际顶点位置,对人工测量造成较大困难,传统的角点检测通过简单的筛选精准定位轮廓8个顶点进行对角测量。对于一个正多边形,顶点即相邻两条边的交点,实际情况中光纤轮廓的边圆滑的连接在一起,无法确定交点具体位置,对此本文提出基于辅助线的顶点检测算法。通过对边距离测量时得到的边的拟合直线具体算法如下。

步骤1)延长拟合直线至相交,可得到封闭八边形,为光纤理想形状,记录8个顶点位置为理想顶点;

步骤2)在以获取纤芯拟合圆圆心的基础上,连接8个理想顶点与圆心;

步骤3)记录步骤2)连线与八边形轮廓交点,为实际顶点,如图7红点所示;

步骤4)连接对角实际顶点,测量对角顶点距离。

3 实验结果分析

本文利用 Visual C++ 开发八角光纤尺寸检测软件,

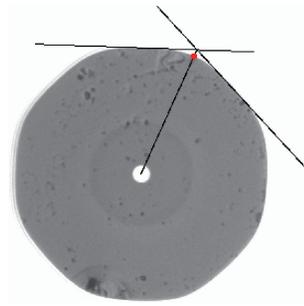


图7 光纤实际顶点示意图

该软件根据文中算法对光纤尺寸进行检测,输入待检测八角光纤截面图,即可得到3种待检测参数并进行显示。实验结果如图8,光纤不同组对边与对角距离采用不同颜色标识。

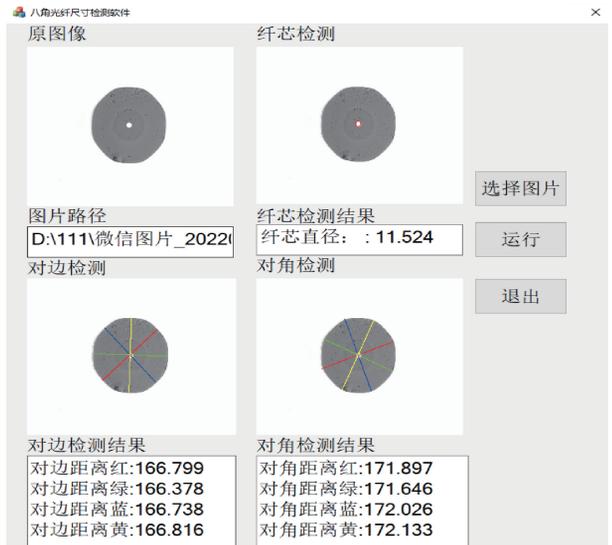


图8 光纤检测结果

为验证测量算法能否满足要求,对多组光纤图片进行重复性测量,每组测量4次,随机选择两组光纤进行显示,测量结果如表2所示。同时为验证算法的可靠性,随机选取一组八角光纤截端图片采用本文方法与多边形拟合方法测量对角距离进行对比试验,检测效果比较标准采用企业要求重复性测量,即标准差,测量结果如表3所示。

重复性计算采用贝塞尔公式^[17-18]计算得到标准偏差,光纤测量参数检测结果满足检测标准(纤芯直径重复性测量 $\leq 0.05 \mu\text{m}$,对边,对角距离重复性测量 $\leq 0.2 \mu\text{m}$),对边,对角距离重复测量精度平均为 $0.1 \mu\text{m}$,达到企业各项指标要求。对角距离测量的对比实验中,多边形拟合一组出现顶点定位偏差过大,本文方法标准差相对更小,更稳定可靠,并且同组对角测量值更大,相对多边形拟合顶点的定位更精确。

表 2 八角光纤几何参数测量结果

组一	纤芯直径/ μm		对边距离/ μm				对角距离/ μm			
1	9.970	164.884	164.655	165.084	165.007	171.703	171.756	171.757	171.964	
2	9.973	164.828	164.304	165.149	165.148	171.935	171.715	171.935	171.890	
3	9.968	165.084	164.390	165.008	164.689	171.883	171.756	171.935	171.927	
4	9.962	164.734	164.376	165.008	164.871	171.883	171.715	171.650	172.220	
平均值	9.968	164.883	164.431	165.062	164.929	171.851	171.736	171.819	172.000	
标准差	0.005	0.148	0.154	0.068	0.196	0.102	0.024	0.141	0.150	
组二	纤芯直径/ μm		对边距离/ μm				对角距离/ μm			
1	9.966	165.188	164.521	165.114	164.833	171.703	171.756	172.043	172.041	
2	9.971	165.008	164.304	165.188	164.794	171.650	171.756	171.935	172.041	
3	9.970	165.035	164.549	164.971	164.719	171.650	171.637	171.935	171.890	
4	9.967	164.938	164.585	165.049	164.629	171.527	171.797	171.813	172.204	
平均值	9.969	165.042	164.490	165.081	164.744	171.633	171.737	171.932	172.044	
标准差	0.002	0.105	0.127	0.092	0.090	0.075	0.069	0.094	0.128	

表 3 八角光纤对角距离测量结果比较

图号	本文方法对角距离/ μm				多边形拟合对角距离/ μm				
1	171.882	171.712	171.98	172.363	171.897	171.752	171.922	172.264	
2	172.207	171.98	172.241	172.441	171.922	171.898	171.815	172.088	
3	172.114	171.8	172.241	172.441	171.704	171.388	171.033	171.906	
平均值	172.067	171.83	172.154	172.415	171.841	171.679	171.59	172.086	
标准差	0.167	0.136	0.15	0.045	0.12	0.26	0.48	0.18	

4 结 论

本文设计了一种八角光纤检测算法,通过对滤波处理后的图片采用边缘检测对光纤不同区域轮廓进行提取,为进行后续曲线拟合采用 Ramer 算法对外轮廓进行分割,提出过分割处理算法,解决分割错误情况,通过拟合曲线确定实际顶点位置,完成测量参数测量。实验证明本文方法操作简单,可有效提升八角光纤几何参数检测效率及精度,能够满足八角光纤几何参数测量要求。本文通过辅助线确定多边形顶点,适用于待测物体棱角不清晰,难以确定的情况,未来进一步可尝试将轮廓拐角处去除减小对直线拟合影响

参 考 文 献

- [1] 施向荣. 计算机网络通信技术和光纤通信技术研究[J]. 光源与照明, 2022, 163(1): 119-121.
- [2] 彭博文. 现代光纤通信技术的特点及应用[J]. 数字通信世界, 2023, 220(4): 104-106.
- [3] 孙林, 刘宁, 蔡轶, 等. 多芯光纤通信海缆的能效理论及系统参数优化[J]. 光学学报, 2022, 42(15): 39-44.

- [4] 夏于生, 依晓春, 龚江疆. 基于近场光分布法特种光纤几何参数测试[J]. 现代传输, 2022(5): 27-31.
- [5] 李一鸣, 涂建坤, 项华中, 等. 用 Canny 算子和二值化滤波的光纤几何参数测量[J]. 光学技术, 2018, 44(5): 513-518.
- [6] 欧阳琛. 单模光纤几何参数测量及缺陷检测方法研究[D]. 武汉: 湖北工业大学, 2021.
- [7] 曲江月. 光强极值法测量锥型光纤半径的理论与技术研究[D]. 西安: 西安电子科技大学, 2015.
- [8] 彭玉, 王耀南, 周显恩, 等. 基于轮廓曲率的 PET 瓶防盗环断裂检测[J]. 电子测量与仪器学报, 2017, 31(3): 422-429.
- [9] 谢俊, 李玉萍, 左飞飞, 等. 基于机器视觉的孔类零件尺寸在线检测[J]. 电子测量技术, 2021, 44(2): 93-98.
- [10] 刚建华, 鲁明珠. 基于机器视觉技术的激光图像亚像素边缘检测[J]. 激光杂志, 2022, 43(10): 92-96.
- [11] 刘利平, 孙建, 孙文悦. 改进 Zernike 矩的亚像素圆孔

- 类零件测量方法[J]. 电子测量技术, 2023, 46(4): 69-77.
- [12] 邢雪亮, 甘文波, 蒋朝根. 基于机器视觉的航空铆钉尺寸检测技术[J]. 计量学报, 2020, 41(5): 518-523.
- [13] 欧建国. 基于精密定位平台的大尺寸零件智能视觉测量系统研究[D]. 广州: 广东工业大学, 2019.
- [14] 尚波, 张曦, 司春迎, 等. 基于机器视觉的刀具状态在机检测方法的研究[J]. 计量与测试技术, 2017, 44(12): 47-49, 52.
- [15] 陈怡然, 廖宁, 刘超. 基于机器视觉的圆形零件尺寸参数测量[J]. 工具技术, 2022, 56(3): 109-113.
- [16] 张玉登, 刘新妹, 殷俊龄. 基于机器视觉的 PCB 图像焊点数据自动识别技术[J]. 国外电子测量技术, 2020, 39(11): 12-16.
- [17] 袁鹏哲, 张启元, 陈莉, 等. 基于机器视觉的小模数齿轮精度参数自动化检测技术研究[J]. 制造业自动化, 2022, 44(9): 5-10, 28.
- [18] 赵耀, 韩正英, 尚福洲. 基于 NI Vision 的保偏光纤几何参数测量技术研究[J]. 电子测试, 2022, 36(13): 33-35.

作者简介

王晓龙, 硕士研究生, 主要研究方向为图像处理与机器视觉。

E-mail: wangxl905@163.com

陈晓荣(通信作者), 副教授, 主要研究方向为工业图像处理与在线检测。

E-mail: chenxr@usst.edu.cn