

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2212101

基于麻雀搜索优化的背景分割算法的 板簧尺寸检测方法^{*}

周波^{1,2,3} 万熠^{1,2,3} 梁西昌^{1,2,3} 侯嘉瑞^{1,2,3}

(1. 山东大学机械工程学院高效洁净机械制造教育部重点实验室 济南 250061;

2. 山东大学机械工程专业国家级实验教学示范中心 济南 250061; 3. 山东大学工程训练中心 济南 250002)

摘要: 针对复杂背景下汽车板簧轮廓特征点难以提取的问题,提出改进麻雀搜索优化的 K-means 背景分割算法并辅以投射激光提取待测特征点。首先,通过遍历全局像素,根据梯度阈值确定最优方向,减小向最优方向移动的步长数值,以此改进麻雀搜索优化算法,克服算法全局搜索能力弱、容易陷入局部最优的问题;其次,将麻雀搜索的兴趣像素点作为 K-means 算法的初始中心点,把具有相似特征的像素点聚为一类,使板簧从复杂的背景环境中分割出来,获取板簧的外形轮廓;最后,向板簧表面投射激光辅助标记,相交于板簧轮廓,提取待测特征点。结果表明,提出的基于背景分割的汽车板簧尺寸检测方法可以提取待测特征点,且精度可达 0.25 mm,形成在线测量数据,有利于改进生产工艺。

关键词: 机器视觉;尺寸检测;图像分割;K-means 算法;麻雀搜索优化算法

中图分类号: TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 520.6040

Detection method for plate spring size based on sparrow search optimization background segmentation algorithm

Zhou Bo^{1,2,3} Wan Yi^{1,2,3} Liang Xichang^{1,2,3} Hou Jiarui^{1,2,3}

(1. Key Laboratory of High-Efficiency and Clean Mechanical Manufacture, School of Mechanical Engineering, Shandong University, Jinan 250061, China; 2. National Demonstration Center for Experimental Mechanical Engineering Education, Shandong University, Jinan 250061, China; 3. Engineering Training Center, Shandong University, Jinan 250002, China)

Abstract: Under complex background, it is difficult to extract the contour of automobile plate spring. Therefore, an improved K-means background segmentation algorithm based on sparrow search optimization is proposed, and the feature points to be measured are extracted by beam laser. Firstly, by traversing the global pixels, the optimal direction is determined according to the gradient threshold, and the step size moving to the optimal direction is reduced. So as to improve the sparrow search optimization algorithm, which can overcome the problem that the algorithm has weak global search ability and is easy to fall into the local optimal. Secondly, the pixel points of interest searched by sparrows were taken as the initial center point of K-means algorithm, and the pixels with similar characteristics were grouped into one group, so that the spring could be separated from the complex background environment and the contour of the spring could be obtained. Finally, ray laser is applied to the surface of the spring for auxiliary marking, and the feature points to be measured are extracted by intersecting the contour of the spring. The results show that the proposed detection method of plate spring size based on background segmentation can extract the feature points, and the accuracy can reach 0.25 mm, forming online measurement data, which is conducive to improving the production process.

Keywords: machine vision; size detection; image segmentation; K-means algorithm; sparrow search optimization algorithm

0 引言

板簧是汽车重要的底盘零件之一,其特点是重量和尺

寸比较大、负载高、工作条件恶劣^[1]。为了降低生产成本,保证板簧质量,需要对板簧进行检测,目前的检测方式主要是传统的人工接触式测量。采用人工方式进行测量时,一

收稿日期:2022-11-16

^{*} 基金项目:山东省重点研发计划(2020JMRH0202)、山东省新旧动能转换重大产业攻关项目(2021-13)、济宁市重点研发计划项目(2021DZP005)、山东大学教育教学改革研究项目(2022Y133, 2022Y124, 2022Y312)、山东省重点研发计划(重大科技创新工程)(2022CXGC020701)项目资助

方面锻造现场的高温和噪声会对人体造成伤害,工作环境恶劣,工人劳动强度高;另一方面测量结果易受主观因素影响,测量标准不一致^[2]。

近年来,机器视觉^[3]作为非接触测量方法之一,具有效率高、可形成在线数据等优点,被广泛应用于工业各个领域。陈康清等^[4]通过结合 Canny 算子和 Zernike 矩的亚像素边缘检测算法实现大尺寸面板封装芯片的精密定位检测;李鹏飞等^[5]通过分析坐标值定位对特征角点的位置,并且通过像素与实际尺寸换算,实现基于图像处理的衣服尺寸自动在线测量系统;徐志玲等^[6]利用实际图与模板图匹配差异,并经过图形滤波、二值化及最小外接矩形图像处理算法,结合公差设计原则,实现刹车片的尺寸检测;郭术义等^[7]采用 Canny 边缘检测方法,设计 PLC 下位机和上位机界面,实现机械密封圈在线分拣系统。唐寒冰等^[8]对基于机器视觉的大尺寸零件测量方法研究分析,为了满足工业场景下大尺寸零件的有效测量,需要进一步研究图像边缘检测技术和图像拼接技术。

但是,上述测量方法均是在整洁背景下,提取待测物体轮廓及特征点完成测量,无法满足复杂背景环境下的测量。同时,由于板簧待测特征点由直线及抛物线相切而成,以上测量方法不能直接提取待测特征点。因此,本文提出改进麻雀搜索优化的 K-means 背景分割算法并辅以投射线激光提取待测特征点,从而实现板簧的尺寸检测。

1 检测原理及方案

图像处理的单位是像素,为了获得待测目标的物理尺寸,必须建立该系统环境下图像像素与实际待测尺寸之间的比例关系。确定工作距离,经过相机标定后,获得该测量环境下的像素当量尺寸 K 。

$$K = L_0 / N \tag{1}$$

式中: L_0 为尺寸, N 为像素数目。

保证测量环境及测量参数不变,测量待测工件尺寸时,对所得图像进行处理,获得待测工件像素数目,即可得到待测工件的物理尺寸 L 。

图 1 所示为汽车板簧生产工艺简图,为了保证板簧性能,其外形轮廓由直线及曲线组成,待测位置的厚度差值最大不超过 2 mm,且像素梯度没有明显变化。如果采用 FAST 特征点检测^[9]、SURF 特征点提取^[10]以及 Harris 角点检测^[11]等图像处理方法,板簧待测位置的特征点难以提取,精度无法保证。

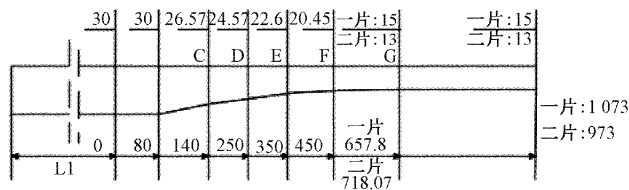


图 1 汽车板簧工艺简图

为了解决上述问题,本文提出如图 2 所示的检测方案,首先将相机布置到板簧侧面进行图像采集^[12];然后,在板簧侧面投射线激光进行辅助标记,板簧轮廓与线激光相交;最后,通过图像处理获得交点坐标并进行运算,从而获得汽车板簧待测位置的厚度尺寸。

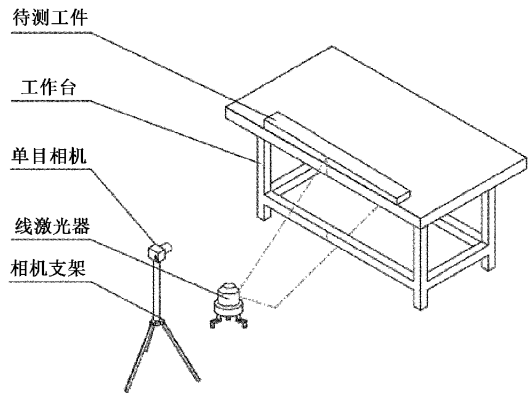


图 2 汽车板簧检测简图

2 检测算法

为保证汽车板簧尺寸测量装置能够高效、准确的工作,除了具备良好的硬件外,还依赖于合理的处理算法及软件设计,包括相机标定^[13]、图像去噪^[14]、设置感兴趣区域^[15]、背景分割^[16]、亚像素边缘提取^[17]、最小二乘拟合^[18]、提取目标特征^[19]、像素坐标解算。重点针对板簧生产环境背景复杂的问题,提出改进麻雀搜索优化的 K-means 背景分割算法,构建软件框架,实现板簧尺寸检测任务。

2.1 K-means 聚类算法

K-means 算法^[20]是一种常用的无监督分类算法。通过该算法将具有相似像素值的像素点聚为一类,达到分割效果。假设有无标签数据集:

$$X = [x_1 \quad x_2 \quad \dots \quad x_n] \tag{2}$$

K-means 算法将像素数据集聚类成 k 簇 $V = V_1, V_2, \dots, V_k$, 其中损失函数为:

$$E = \sum_{i=1}^k \sum_{x \in V_i} \|x - u_i\|^2 \tag{3}$$

其中, u_i 为簇的中心点:

$$u_i = \frac{1}{|V_i|} \sum_{x \in V_i} x \tag{4}$$

算法的基本步骤为:

- 1) 选定要聚类的类别数目 k , 随机选择 k 个中心点。
- 2) 遍历图像像素点, 计算像素点与中点之间的距离, 距离同一中心点最近的点为一个类, 这样完成一次聚类。
- 3) 判断聚类前后像素点的像素值是否发生变化, 如果没有, 则算法终止, 否则进行下一步。
- 4) 根据现有的聚类像素点重新计算聚类中心, 继续进行步骤 2)、3)。

2.2 改进算法

麻雀搜索优化算法(sparrow search algorithm, SSA)是根据麻雀觅食并逃避捕食者的行为而提出的集群智能优化算法,模拟麻雀群捕食和反捕食行为,种群成员分为发现者、跟随者和侦察者^[21]。

麻雀搜索算法的局部搜索能力强,收敛速度较快,但全局搜索能力较弱且容易陷入局部最优^[22]。而 K-means 聚类算法的结果取决于初始簇中心的选择,如果初始簇中心选择不好,就会陷入局部最优解。针对算法容易陷入局部最优的共同问题,对算法进行优化改进:遍历全局像素,根据梯度阈值确定最优方向;减少向最优位置移动的步长数值。

发现者在警戒阈值内的位置更新策略由 $(0, 1]$ 随机数优化为正态分布的随机数,即担任发现者角色的麻雀位置变化符合正态随机数,如式(5)所示。

$$M_{i,d}^{R+1} = \begin{cases} M_{i,d}^R \cdot (1 + Q), & C < ST \\ M_{i,d}^R + Q, & C \geq ST \end{cases} \quad (5)$$

式中: $M_{i,d}^{R+1}$ 表示种群中第 R 代中第 i 个个体的第 d 维位置, Q 为标准正态分布随机数, C 为 $[0, 1]$ 中的均匀随机数, ST 为警戒阈值,其取值范围为 $[0.5, 1.0]$ 。

追随者或加入者的位置更新机制保留,即每只追随者在全维度上向发现者随机靠近,如式(6)所示。

$$M_{i,d}^{R+1} = \begin{cases} Q \cdot \exp\left(\frac{M_w^R - M_{i,d}^R}{i^2}\right), & i > n/2 \\ M_b^R + \frac{1}{D} \sum_{d=1}^D (\text{rand}(-1, 1) \cdot |M_b^R - M_{i,d}^R|), & \text{其他} \end{cases} \quad (6)$$

式中: M_w 为当前种群麻雀的最差位置, M_b 为当前种群麻雀的最优位置。

种群在捕食过程中,遇到危险,做出反捕食行为。反捕食位置更新机制通过与当前全局最差位置以及在最差位置上的麻雀适应度比较得出移动方式,将其优化为随机正态移动方式,即该麻雀位于最优位置,则会逃到最优位置和最差位置之间的随机位置;如果该麻雀不是最优位置,就会在自身位置基础上向最优位置移动,如式(7)所示。

$$M_{i,d}^{R+1} = \begin{cases} M_{i,d}^R + \beta \cdot |M_{i,d}^R - M_b^R|, & f_i > f_g \\ M_{i,d}^R + \beta \cdot (M_w^R - M_{i,d}^R), & f_i = f_g \end{cases} \quad (7)$$

式中: β 为符合标准正态分布的随机数, f_i 为选取麻雀的适应度值, f_g 为全局最佳适应度值。

利用麻雀搜索算法改进 K-means 聚类算法时,以聚类中心作为麻雀算法的优化变量,适应度函数与 K-means 算法的最小损失函数一致,即式(3)。

最终背景分割算法的具体流程如下:

- 1) 随机抽样数据点,作为麻雀搜索聚类候选点;
- 2) 利用麻雀搜索算法搜索最小损失的中心点;
- 3) 将这些像素中心点作为 K-means 的初始聚类点;
- 4) 获得最终的聚类中心点,完成图像分割。

3 软件架构设计

尺寸检测系统采用 LabVIEW 与 C++ 混合编程,利用 LabVIEW 中交互界面、硬件互连开发便捷性,以及 C++ 中算法运行效率高效的优点,改进生产者/消费者设计模式,构建消息队列处理框架。从而保证系统具有一定精度的条件下,实现检测系统快速开发、高效运行。

系统主程序采用创建用户事件、取消注册事件及销毁用户事件函数实现动态注册事件,通过创建队列引用、元素入队列、元素出队列、释放队列引用及销毁队列函数,结合字符串数组构建多个队列名称,即实现如图 3 所示的多线程。

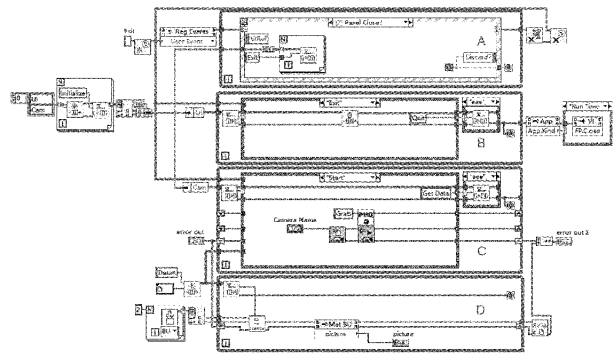


图 3 软件框架结构

主程序线程 A 采用 while 循环、事件结构形成生产者循环,主要用于生成交互界面的事件;主程序线程 B、C 采用 while 循环、判断结构形成消费者循环,根据不同的生产者生成的事件,执行不同的状态,实现 IO 输出、参数设置、数据保存及数据查询功能;主程序线程 D 通过队列函数与线程 C 级联,实现相机采集数据与图像分割算法的同步运行。多个线程分别实现不同功能,从而保证尺寸检测系统具有一定的实时性,软件操作流程如图 4 所示。

如图 5 所示,上位机软件需要进行参数设置,包括相机参数、标定参数、尺寸参数以及预警参数,上位机将相机参数通过视频采集卡传入相机,设定相机采集模式后采集图像,同时采集的图像数据传递到图像处理线程,进行图像分割,进而提取图像轮廓。同时控制激光器投射激光,与提取出来的轮廓形成交点,进一步通过像素与实际距离的换算得到板簧尺寸,并进行判断是否超出极限偏差。

4 结果与讨论

为验证算法效果,模拟板簧生产环境的复杂背景(如图 6 所示),进行仿真实验。仿真平台:Windows 10 64 位操作系统、Core i7-7700 处理器、相机与镜头为 500 万像素,镜头焦距为 25 mm;仿真软件:VS2019、LabVIEW2021(64 bit)。实验时保证待测板簧侧面尽量与相机光轴垂直,且位于镜头中心。此外,使用数显游标卡尺测量板簧厚度尺寸当作验证误差的真实值。

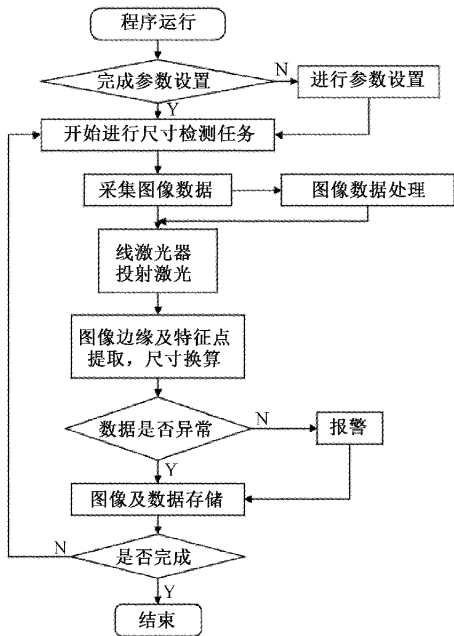


图 4 软件流程

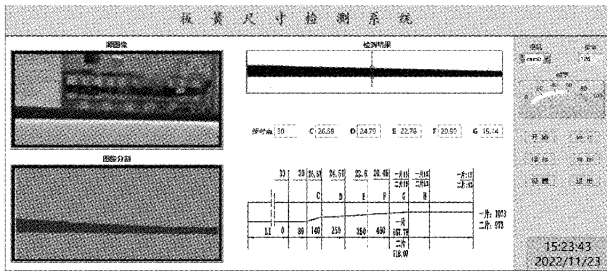


图 5 上位机界面

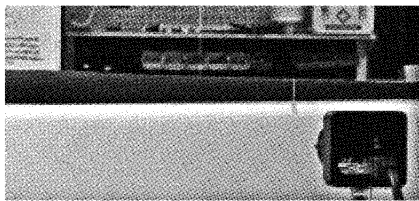


图 6 实验环境模拟

采用张正友标定法,对相机进行重投影,消除相机的畸变影响,如图 7 所示结果表明相机的重投影误差在 0.15 mm/pixel 以内,说明相机可靠稳定。通过标定获得畸变参数,对图像进行校正,同时去除图像噪声,提高特征点的提取精度。

根据张正友标定的参数结果对采集的源图像(如图 8(a)所示)进行校正,校正图像经过分割算法处理。为了验证本文算法可行性,与区域生长如图 8(b)、平均阈值如图 8(c)、最大类间方差如图 8(d)分割算法进行对比,对比结果如图 8 所示。

从图 8 可以看出,区域生长法欠分割,平均阈值法过分割,最大类间方差法分割精度差,且 3 种算法分割边缘呈现

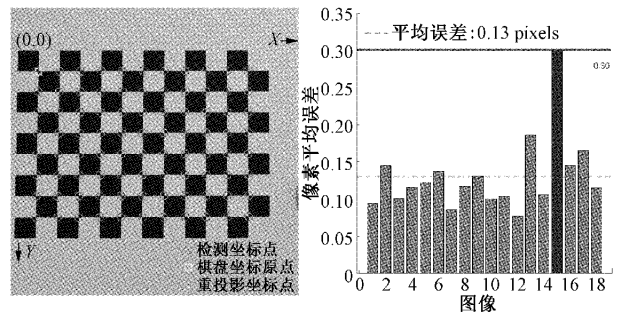
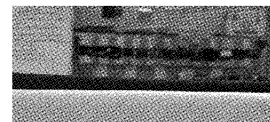


图 7 相机重投影误差

阶梯毛刺状。而本文分割算法如图 8(e)所示,分割边缘对比度大,效果比较好,其结果如图 9 所示,算法迭代 16 次左右,达到最佳效果,将板簧轮廓从复杂的背景中提取出来。



(a) 源图像



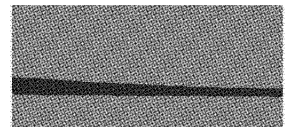
(b) 区域生长法



(c) 平均阈值法



(d) 最大类间方差法



(e) 本文分割算法

图 8 算法对比

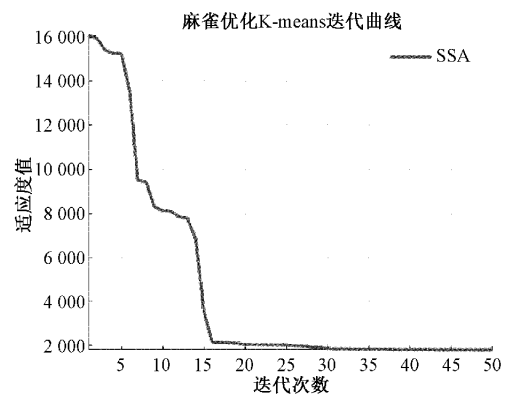


图 9 收敛曲线

进一步对提取出来的板簧进行亚像素边缘提取,再对板簧轮廓做最小二乘拟合,将拟合后的边缘轮廓与投射的线激光相交获得交点,如图 10 所示。

利用标定好后的像素当量尺寸计算交点的像素坐标,经过换算得到板簧的厚度尺寸,结果如表 1 所示,测量的最大误差不超过 0.25 mm。



图10 特征点提取图像

表1 检测结果

位置	实际值/ mm	像素值/ pixel	测量值/ mm	相对 误差/%
标定	30.00	932.93	—	—
C	26.57	829.69	26.68	0.41
D	24.57	770.91	24.79	0.90
E	22.60	708.40	22.78	0.80
F	20.45	640.30	20.59	0.68
G	15.00	470.82	15.14	0.93

5 结 论

本文提出了一种板簧尺寸检测方法,适用于复杂背景下大中型待测物体且特征点难以提取的尺寸检测场景。不需要为待测物体提供整洁背景,从而降低大中型工件检测设备的布置难度,克服复杂背景环境下图像轮廓难以提取的问题。

由于板簧长度与厚度比例大,待测位置特征点相切而成,传统特征点提取方法难以提取,所以通过投射激光,辅助特征点标记,与板簧轮廓形成交点,进而提取所需待测特征点。同时设计了基于 LabVIEW 与 C++ 混合编程的检测系统,通过构建多线程,保证系统具备一定的实时性和鲁棒性,并最终实现板簧的尺寸检测,检测精度控制在 0.25 mm 以内。

参考文献

- [1] 王振兴,竺铝涛,沈伟. 复合材料汽车板簧的应用研究进展[J]. 浙江理工大学学报(自然科学版), 2022, 47(1): 38-43.
- [2] 崔志悦. 重卡板簧悬挂优化及对整车平顺性影响的研究[D]. 济南: 山东大学.
- [3] 张伟,王梦迪,樊俊铃,等. 机器视觉在飞机结构损伤检测中的应用进展与展望[J]. 无损检测, 2021, 43(10): 75-80.
- [4] 陈康清,陈新度,吴磊,等. 大尺寸面板级封装芯片精密定位检测[J]. 电子测量技术, 2021, 44(16): 141-147.
- [5] 李鹏飞,郑明智,景军锋. 图像处理在衣服尺寸在线测量中的应用[J]. 电子测量与仪器学报, 2016, 30(8): 1214-1219.
- [6] 徐志玲,胡琳丽,陈杨,等. 基于尺寸公差和图像处理的刹车片尺寸检测[J]. 仪器仪表学报, 2017, 38(9): 2317-2325.
- [7] 郭术义,杨赛,张鹏博. 机器视觉在机械密封圈在线分选中的应用[J]. 国外电子测量技术, 2021, 40(11):

- 103-110.
- [8] 唐寒冰,巢渊,刘文汇,等. 基于机器视觉的大尺寸零件测量方法研究综述[J]. 电子测量技术, 2021, 44(17): 33-40.
- [9] 张绍荣,张闻宇,李云,等. 基于 FAST 角点和 FREAK 描述符改进的无人机景象匹配算法[J]. 电子测量与仪器学报, 2020, 34(4): 102-110.
- [10] 金妍君,万旺根. 基于联合 SIFT 和 SURF 特征的三维表面重建[J]. 电子测量技术, 2019, 42(11): 107-111.
- [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] 刘腾飞,刘威. FPGA 的图像采集及二值图像显示系统设计[J]. 单片机与嵌入式系统应用, 2020, 20(10): 39-42.
- [13] 王福斌,陈波,沈小伟. 基于 Halcon 的单目相机标定案例实现[J]. 实验技术与管理, 2021, 38(10): 87-93.
- [14] 张娜娜,张媛媛,丁维奇. 经典图像去噪方法研究综述[J]. 化工自动化及仪表, 2021, 48(5): 409-412, 423.
- [15] 韩建敏,李国伟,王振飞. 感兴趣视觉特征耦合种子繁衍的图像检索算法[J]. 计算机工程与设计, 2018, 39(12): 3785-3790, 3796.
- [16] 徐红运,徐小力,左云波,等. 复杂背景下的风力机组叶片图像分割方法研究[J]. 电子测量技术, 2018, 41(22): 60-65.
- [17] 韩东,李煜祺,武彦辉. 基于高斯拟合的亚像素边缘检测算法[J]. 计算机应用与软件, 2018, 35(6): 210-213, 229.
- [18] 谢达奇,梁桥康,孙炜,等. MeanShift 聚类圆拟合算法在焊点检测中的应用[J]. 计算机仿真, 2019, 36(9): 446-451.
- [19] 田光宝,王见,王博文. 单目相机非合作目标提取及位姿检测[J]. 红外与激光工程, 2021, 50(12): 536-544.
- [20] ZHAO Y P, ZHOU X L. K-means clustering algorithm and its improvement research[J]. Journal of Physics: Conference Series, 2021, 1873(1): 012074.
- [21] XUE J K, SHEN B. A novel swarm intelligence optimization approach: Sparrow search algorithm[J]. Systems Science & Control Engineering, 2020, 8(1): 22-34.
- [22] 丁芙蓉. 基于众核的聚类算法并行化研究[D]. 南京: 南京理工大学, 2018.

作者简介

周波, 硕士研究生, 主要研究方向为视觉及工业检测。

E-mail: 695530275@qq.com

万熠(通信作者), 博士, 教授, 主要研究方向为特种机器人、增材制造等。

E-mail: wanyi@sdu.edu.cn