

DOI: 10.19650/j.cnki.cjsi.J2311127

基于改进 Blob 分析的机器人批量搬运纠偏研究*

陈鹏¹, 陈彦秋¹, 彭俊², 马成龙¹, 刘禹¹

(1. 江南大学机械工程学院 无锡 214122; 2. 无锡隆盛科技股份有限公司 无锡 214028)

摘要:为了解决工业机器人在快节拍搬运任务中因为机械定位误差导致无法正确放置产品的问题,提出了一种基于改进 Blob 分析的两点纠偏定位的两步法策略。第 1 步基于机器视觉与图像处理技术利用改进的 Blob 分析方法识别出定位点,第 2 步利用平面仿射变换原理快速定位大量产品的位置。其中改进的 Blob 分析方法基于图像灰度反转、直方图均衡化、图像滤波技术结合阈值分水岭分割算法实现了对有限光照条件下不易成像的黑色托盘图像中定位圆形特征的可靠分割与圆心坐标提取。从而第 2 步的两点定位的托盘定位策略根据可靠的托盘圆心位置结果来计算托盘偏移前后的平面仿射变换矩阵以完成托盘的纠偏功能。最后通过在实际生产线的搬运工站实验证明基于改进 Blob 分析的两点纠偏定位的两步法策略的托盘识别准确性和召回率分别为 99.75% 和 99.75%,同时产品的搬运时间降低了 20.52%,提高了机器人下料系统的可靠性和效率。

关键词:工业机器人;机器视觉;Blob 分析;托盘纠偏

中图分类号: TP391.7 TP249 TH460.40 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 460.5030

Research on correction of robot batch handling based on the improved Blob analysis

Chen Peng¹, Chen Yanqiu¹, Peng Jun², Ma Chenglong¹, Liu Yu¹

(1. School of Mechanical Engineering, Jiangnan University, Wuxi 214122, China;

2. Wuxi Longsheng Technology Corp., Wuxi 214028, China)

Abstract: To solve the problem that industrial robots cannot place products correctly due to mechanical positioning error in fast beat handling task, this article proposes a two-step strategy for two-point corrective positioning based on the improved Blob analysis. The first step identifies the positioning points based on machine vision and image processing techniques using the improved Blob analysis method. The second step quickly locates the position of a large number of products using the principle of planar affine transformation. The improved Blob analysis method is based on image grayscale inversion, histogram equalization, and image filtering techniques combined with threshold watershed segmentation algorithms to achieve reliable segmentation and circle center coordinate extraction for locating circular features in black pallet images that are not easily imaged under limited lighting conditions. Therefore, the two-point positioning strategy could achieve the planar affine transformation matrix before and after the pallet offset based on the reliable pallet circle center position results to complete the pallet offset correction function. Finally, the experiments at the handling station of the actual production line demonstrate that the accuracy and recall rate of the two-step strategy of two-point deflection correction positioning based on the improved Blob analysis are 99.75% and 99.75%, respectively, while the product handling time is reduced by 20.52%. The reliability and efficiency of the robot unloading system are improved.

Keywords: industrial robot; machine vision; Blob analysis; pallet offset correction

0 引言

随着中国制造 2025 的提出,与制造产业相关的生产过程也朝着自动化与智能化发展^[1]。机器人被引入制造业后,取得了巨大的进步,极大改善了工作条件^[2],工业机器人在复杂的工业环境中,常常需要结合各式传感器来提高其灵活性^[3]。其中机器视觉技术被广泛应用于引导机器人完成特定任务^[4-6]。绝大多数机器人抓放任务,需要目标物体的位置信息作为数据输入,这种无分类的目标定位任务,在已知目标物体形状的前提下,通常有的基于图元拟合来获取目标位置与进行显著性区域检测(Blob 分析)来定位目标两种方法^[7],而在工业领域中基于这两种方法的视觉定位图像处理流程包括采集图像进行预处理、图像分割^[8]、特征提取等其他操作^[9]。其中显著性区域检测(Blob 分析)这类方法的图像分割步骤较为关键。在不同的工业研究与应用场景中不同的图像分割方法被应用。

董大钊等^[10]、吴玉等^[11]都采用阈值分割二值化图像的分割方式获取关键信息用于机器人姿态的纠正算法研究以及紧固螺栓的视觉定位。Jiang 等^[12]也是基于阈值分割结合多尺度的形态处理来得到铆钉的特征用于机械臂抓取。Hou 等^[13]基于阈值分割的方式提出了基于数控机床位置反馈的快速视觉标定方法。Zhang 等^[14],基于 Otus 法的阈值分割方法分割焊缝来完成后续焊缝的追踪任务。阈值分割方法简单高效^[15-16]而分水岭算法^[17]及其改进算法在工业^[18-19]、林业^[20-21]、农业^[22-23]、医学^[24-31]、遥感影像^[32-33]、人工智能^[34]等领域有着广泛的应用。Yang 等^[35]利用多光谱分水岭分割与多尺度拟合的 ITC 轮廓的方法提高了混合阔叶林卫星图像的分割效果。文中方法利用光谱角度替代图像灰度梯度的计算方法基于昂贵的高光谱图像。在本文的场景中并不实用。Tareef 等^[36]利用多通道快速分水岭法在 3 个通道中从重叠的子宫颈细胞团中分割细胞核和细胞质提高了分割准确率。文中的细胞图像背景和目标对比度分明,所用的方法也关注分割后的细胞个数的准确性,并没有准确定位细胞的能力。Sreeshan 等^[37],基于热成像技术结合分水岭分割算法与其他计算机视觉技术提出了一种非侵入式的检测符合材料层合板缺陷的方法。文中的方法对缺陷进行检出但是并不涉及到缺陷的准确位置获取。同时由于缺陷的差异性,对于一些模棱两可的缺陷文中算法识别效果并不佳。Ramezani 等^[38],设计并实现了包含分水岭分割技术在内的 5 阶段算法用于行人检测,文中的分割针对行人场景,但是需要利用多帧图像来减除不必要的信息。Zhuang 等^[39],提出了结合分水岭变换等其他形态学算法与机器学习方法的单目视觉系统鲁棒柑橘果

实检测方法提高了柑橘视觉定位的鲁棒性。文中的图像目标物体和背景有着强烈的对比,分水岭分割注重分割数量准确性并不对个体进行定位不同于本文直接利用分水岭分割进行定位。Cao 等^[40]提出了一种基于分水岭分割算法和自适应阈值分割混合算法的方法处理结合红外和可见光传感器采集的小麦倒伏图像。文中侧重利用分割算法对目标面积进行准确分割,而不涉及对目标进行定位。Boatswain 等^[41],使用基于分水岭分割算法的产量监测仪,对洋葱产量进行质量评估和产量估计。为小蔬菜作物生产者提供实时收获信息,文中的算法用对农作物的个数进行统计同样没有对目标进行定位。Shen 等^[42],利用包含改进的分水岭分割算法的三步法对乳腺超声图病灶进行分割,且获得较好的鲁棒性。但是文中算法针对医学领域场景病灶分割的完整性,同样不涉及分割之后的定位准确性。

虽然在目标与背景有明显差异的场合基于阈值分割的 Blob 分析方法有很好的效果。而在光照位置不固定、光照条件不佳且视觉识别对象为不易成像的黑色物体的快速下料场合,由于识别对象特征提取受到光照和杂物干扰且目标和背景差异不明显,使用基于阈值分割的 Blob 分析方法容易失效。同时当前的分水岭分割在各个领域都侧重于对目标个体的分割,并没有涉及直接利用分水岭分割进行目标的定位。对此本文以机器人下料视觉系统定位托盘的应用场景为例,其中黑色 ABS 材料的物料托盘不利于相机成像且存在光照效果差、贴纸干扰和光源偏移大等其他干扰。而通过使用改进的基于分水岭分割的 Blob 分析定位算法在本文的应用场景中拥有更高的识别成功率和准确性,在此基础上结合两点定位策略基于平面仿射变换纠正偏移位置提高机器人下料效率与可靠性。

1 系统与方法搬运两点定位策略

本文的工业机器人下料系统用于搬运生产线的工业产品到指定位置的托盘中,托盘的位置会因为机械定位和磨损会偏移理想的指定位置,需要对搬运位置进行精准定位。本系统的视觉定位策略采用两步法:第 1 步采用基于分水岭分割改进的 Blob 分析图像定位算法,提高视觉定位的可靠性;第 2 步采用基于仿射变换原理的两点定位策略,保证所有存储点位置信息的准确性并提高工业机器人定位下料点位的效率。最终实现机器人对全部下料点位的快速精准定位。

1.1 视觉定位系统设计

视觉采集模块通过治具固定在 KR210 型 KUKA 工业机器人的第六轴法兰盘上,通过工业机器人可以引导视觉模块到不同的位置执行拍摄任务。存放产品的物料

托盘放置在机械臂下方,托盘的尺寸统一存放托盘的坑位为圆形直径 155 mm,圆心处有圆孔方便机器人的末端执行器放置产品,被抓取的产品为圆柱形直径为 150 mm 为厚度 30 mm。系统正式运行前,利用示教器标定所有的 240 个下料点位并存储到本地。系统运行时,机器人接收到生产线的信号后,抓取固定位置的产品移动到存放产品的托盘上方指定的第 1 个拍照位置,机器人通过 Profinet 给 PLC 发送机器人位置就绪的信号,PLC 收到信号后,通过以太网发送拍照触发信号给视觉模块,智能相机拍摄图片之后直接在相机本体处理图片并得到托盘圆心的机械坐标值 1,然后机械臂移动到第 2 个拍照位置重复执行拍照,处理操作获取第 2 个托盘圆心的机械坐标值 2。然后智能相机发送两个圆心坐标值到 PLC 中,并由 PLC 发送到机械臂中用于更新所有之前存储的搬运点位后进而引导机器人进行下料动作,系统组成和大致工作原理如图 1 所示。

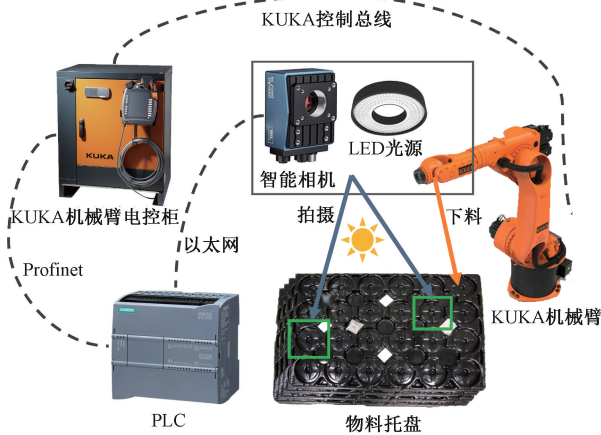


图 1 视觉定位系统与两点定位纠偏策略
Fig. 1 Visual positioning system and two-point positioning correction strategy

1.2 方法设计

1) 改进的 Blob 分析托盘圆心定位算法

上述基于视觉定位的机器人下料系统理论上可以对托盘的小幅度偏移进行纠正完成产品的精准下料。这需要图像识别具有较高的准确性和鲁棒性。针对识别托盘圆心坐标值的需求,本文提出基于分水岭分割的改进 Blob 分析黑色托盘圆心定位算法,包括前处理,图像分割、后处理 3 个部分。算法流程如图 2 所示。

在图像前处理方面,由于 Halcon 中封装的分水岭算法是参考^[17]基于浸没的分割模型,如果直接对原图进行分割,并不能得到想要的大圆区域。所以经过实验探索,首先对图片进行图像取反操作,将目标区域的像素灰度值变大。然后由于目标对应的区域和与其他区域在灰度值上很接近不利于算法进行分割,所以采

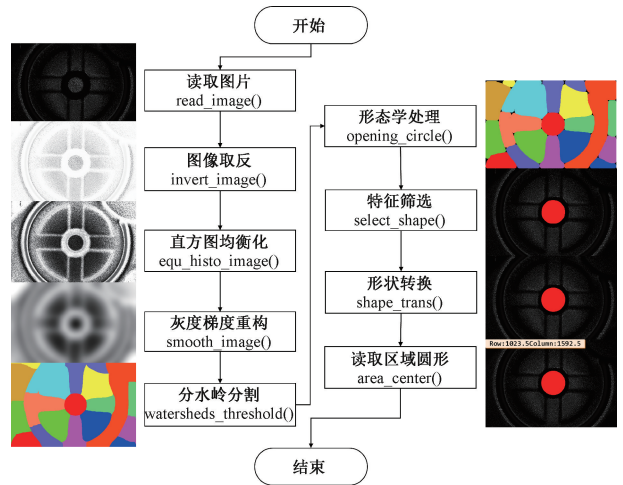


图 2 基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法流程
Fig. 2 The improved Blob analysis and location algorithm based on watershed segmentation

用直方图均衡化^[43]的操作来增强图像对比度。然后选择基于文献[44]中滤波原理的 smooth_image() 算子对直方图均衡化后的图像进行平滑处理,重构图像的灰度梯度,当设置过滤器为 deriche2,参数 Alpha 值为 0.01 时,图像的局部灰度极值得到了抑制,灰度梯度得到了重构,效果如图 3(a) 中第 4 幅图所示。从而可以保证目标区域可以通过分水岭算法得到很好的分割,效果如图 3(b) 第 4 幅图所示。

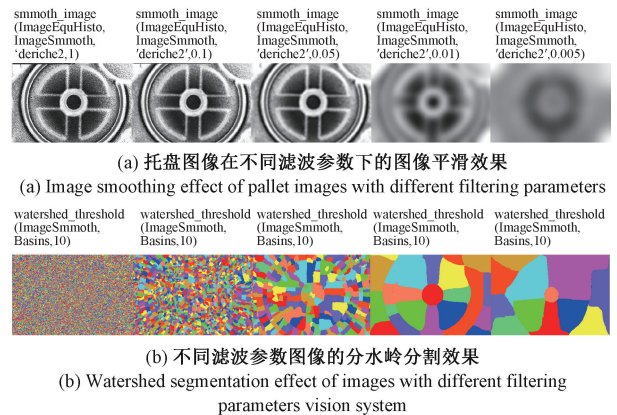


图 3 不同滤波参数对图像分割效果的影响
Fig. 3 Influence of different filtering parameters on image segmentation

图像前处理完毕之后,即可进行分水岭阈值分割处理, Halcon 中封装的分水岭分割算法^[17]基于浸没的方式^[45]来分割图像中不同灰度值的区域。基于前面的预处理操作,在本应用中,直接利用 Halcon 中的 watersheds_threshold() 算子进行处理。

图片分割完成之后则进行分割区域的后处理,这需要对分割的不同区域进行筛选,由于目标区域是一个特征较为明显的圆形区域,所以利用面积和圆度两个特征可以很好的筛选出目标区域。为了保证筛选的成功率,利用形态学中的开运算方法并使用圆形结构元素先对区域进行开运算处理去除区域的尖角保证区域的圆度。最终完成区域的选取并转化为圆形输出圆形坐标值。

2) 两点定位纠偏策略

为提高产品搬运效率本文利用机械臂灵活移动且具有较高重复定位精度的特性、整组托盘共 240 个点位相对位置固定且由机械装置保证水平的便利性。选取在视觉系统可达范围内的两个下料点作为定位纠偏依据,将相机的拍摄位置设置在托盘正上方,并将识别对象设为托盘坑位中的圆孔,如图 4(a) 所示。预先在固定的两个拍摄位置拍摄标准图像并识别托盘圆心作为托盘偏转前的参照,通过这种定位方式可以使系统在工作时只需要在执行两次拍摄即可完成整组托盘共 240 个下料点的位置纠正。所需要信息的获取与纠正的原理如图 4(b) 所示,灰色方框表示托盘未发生偏转时的图像与识别对象的圆心坐标,这部分操作在系统正式工作前完成。黑色方框表示托盘发生偏转后的图像与识别对象的圆心坐标,这部分操作在机器人上线运行时进行。由此基于平面仿射变换原理,利用被识别对象圆心在偏转前后的坐标值即可对托盘进行纠偏操作,其原理的数学表达式如式 (1) 所示。

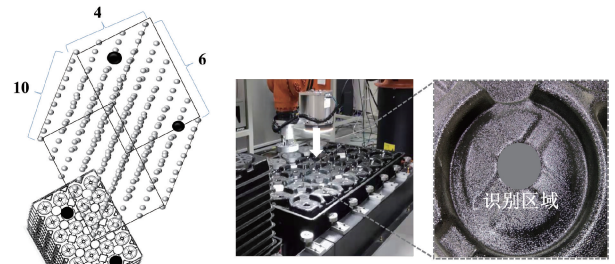
$$\begin{bmatrix} x' \\ y' \\ 1 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} R_{11} & R_{12} & T_x \\ R_{21} & R_{22} & T_y \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x \\ y \\ 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

式中: x, y 为纠正前的点位坐标向量, x', y' 为纠正后的坐标值向量。式中 $R_{11}, R_{12}, R_{21}, R_{22}, T_x, T_y$ 均可根据相机在两个固定位置拍摄得到的偏转后的两个坑位实际坐标与预先存储的未偏转的两个点位的圆心理想坐标值求得的矩阵。

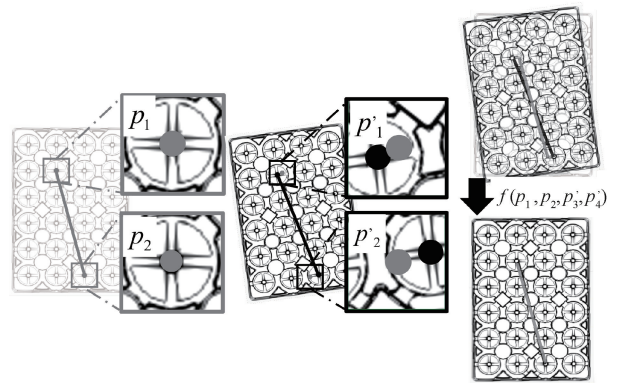
1.3 评估

1) 图像识别算法评估

对改进算法的性能进行评估需要利用一些性能指标。准确性 (*accuracy*) 是衡量一个算法的识别成功率的重要指标,准确性越高算法的识别效果越好,其数学表达式为式 (2)。其中 TP 表示图像中存在待识别区域同时算法也能准确提取的样本的数量, FP 表示算法将不是待识别区域的部分识别为待识别区域的样本的数量。 FN 表示图像存在待识别区域但算法却无法正确提取的样本的数量。 TN 表示图像中不存在待识别区域算法也无法提取待识别区域的样本的数量。此外精度 (*precision*), 用于对提取到待识别区域的样本的准确性进行衡量,其数



(a) 托盘点位分布与机器视觉系统的识别操作
(a) Pallet location distribution and the operation of machine vision system



(b) 托盘的平面两点定位纠偏原理
(b) The principle of correcting deviation of pallet based on plane two-point positioning

图 4 两点定位纠偏策略的实现

Fig. 4 Implementation of two-point positioning and correcting strategy

学表达式为式 (3)。召回率 (*recall*) 是用于度量正例被正确的分为正例的比例其表达式为式 (4), 其在本文中可以对算法正确识别包含待识别区域图像的比例进行判断。

$$Accuracy = \frac{\sum TP + \sum TN}{\sum TP + \sum TN + \sum FP + \sum FN} \quad (2)$$

$$Precision = \frac{\sum TP}{\sum TP + \sum FP} \quad (3)$$

$$Recall = \frac{\sum TP}{\sum TP + \sum FN} \quad (4)$$

在真实的生产应用中视觉识别的精准度对机器人的下料十分重要。本文将数据集 B 分发给 3 个人独立标注并取标注结果的平均值作为真值。对改进后算法的准确性在数据集 B 中进行对比实验,数据集 B 的采集在后文说明。同利用对图像识别的坐标与真值坐标的差值通过平均值 (*mean*) 和标准偏差 (*standard deviation*) 两个指标进行衡量,其数学表达式为式如下:

$$\Delta x = |\hat{x} - x_{true}| \quad (5)$$

$$\Delta y = |\hat{y} - y_{true}| \quad (6)$$

$$\Delta r = \sqrt{\Delta x^2 + \Delta y^2} \quad (7)$$

$$SD = \sqrt{\sum_{i=1}^n (\Delta \hat{r}_i - \bar{\Delta r})^2 / (n - 1)} \quad (8)$$

式中: \hat{x} 表示算法识别出的圆形区域的圆心的 x 坐标值, x_{true} 表示人工标注的 x 坐标真值。 \hat{y} 表示算法识别出的圆形区域的 y 坐标值, y_{true} 表示算法识别出来的圆形区域。 Δx 、 Δy 、 Δr 表示算法识别的圆形区域与人工标注的圆形区域在 x 、 y 和圆心半径 r 方向上的偏移值。 $\Delta \hat{r}_i$ 表示某个样本在圆心半径 r 方向上的偏移值。 $\bar{\Delta r}_i$ 表示所有样本在圆心半径 r 方向上偏移量的平均值。 SD 表示所有样本的算法识别坐标与人工标注坐标差值的标准差。

2) 两点定位策略性能评估

为了验证两点纠偏策略的效率和准确性, 本文进行两点纠偏视觉识别方式与逐点定位视觉识别方式进行对比实验。第 1 步对两点纠偏策略的高效性进行验证首先获取机械臂从抓取到放置产品整个过程的运行时间 T_{work} , 然后收集图像识别所消耗时间 T_{rec} , 同时设置一个等待时间表示此系统在机器人搬运过程中的各个部件的响应时间 T_{wait} 。计算出两点纠偏测量和逐点定位测量的时间损耗。第 2 步对两点纠偏策略的准确性进行验证, 分别用两点定位策略和逐点定位策略获取产品的下料点集 P_1 与点集 P_2 , 并与真实点集 P_{true} 对应做差判断两点纠偏策略的准确性。值得说明的是点集 P_1 的点是利用数据集 B 中得识别结果获得, 点集 P_2 则通过顺序选取点集 P_1 中的两组点用于所有点位的纠偏并选取纠正点位中的最大偏移值, 点集 P_{true} 为数据集 B 中人工标注的圆心点位。最后通过识别值与真实值的差值的平均值 (*mean*) 和标准偏差 (*standard deviation*) 两个指标进行衡量两点纠偏策略准确性。

3) 实验平台

为了验证本文提出的视觉定位策略的识别准确性、鲁棒性与识别定位效率。搭建了如图 5 所示的机器人下料系统, 搭载视觉模块对托盘的图像进行采集。其中视觉模块硬件由相机 PALLAS 6563M-M0、镜头 HN-1616-5M-C2/3X 与功率为 150 W 的 LED 光源组成, 采集为分辨率为 3 088 pixel × 2 064 pixel 的单通道的黑白图像。本文将算法运行在 HALCON HDevelop 18.11 Steady (64-bit) 环境中, 硬件参数为 Intel(R) Core(TM) i5-6300HQ CPU @ 2.30 GHz。

上述系统已用于实际生产, 本文利用实际生产中产生的图像数据, 制作了两个样本数量不同的数据集 A、B, 数据集 A 由视觉系统自建立以来相机采集的所有图片中随机选取的 14 373 张图片组成。数据集 B 由从数据集 A 中随机选择的 400 张图片组成。作为对比, 基于阈值分割的 Blob 分析定位算法、本文基于分水岭分割的 Blob 分

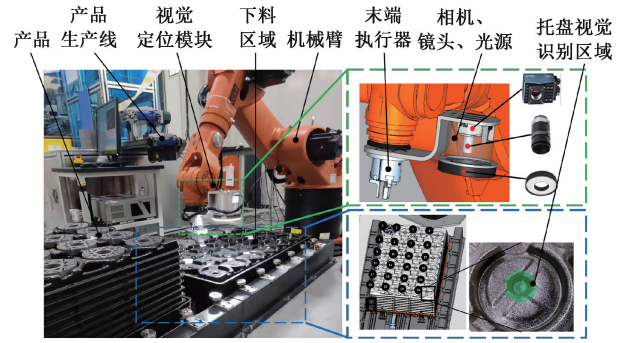


图 5 基于机器视觉的机器人搬运实验平台实物
Fig. 5 Robot handling experimental platform object based on machine vision

析定位算法在同一个数据集进行测试。同时依托此下料系统分别对逐点定位策略和两点定位两点的效率和准确性进行验证。

2 结果与讨论

2.1 图像识别评估结果

表 1 为图像处理算法的处理结果。其中基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法在数据集 A 和数据集 B 中从准确性和召回率两个指标上都优于基于阈值分割的 Blob 分析定位算法。基于阈值分割的 Blob 分析定位算法虽然通过图像像素灰度值的大小来分割目标区域可以达到准确率 93.75%, 召回率 93.73% 有较好的识别定位效果。然而由于实际工业环境样品存在各类不利于阈值分割的情况从而造成识别失败, 如图 6(a) 所示主要为贴纸干扰、托盘镜面反射和光照偏移过大等样本类型。相比之下基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法转变分割的目标区域到圆孔外围, 排除了各类干扰提高了识别效果可以将准确性和召回率分别提高到了 99.75% 和 99.75%。但是基于分水岭分割的定位算法在数据集 A 中仍有一些无法识别的 20 个样本。这 20 个识别失败的样本中存在遮挡识别区域的情况、目标区域丢失视野的情况和托盘镜面反射加光照偏移过大的情况如图 6(b) 所示。上述情况很难利用 Blob 分析的方式获取目标, 且在正常工业生产中此类情况也是要避免的。其中托盘镜面反射加光照偏移过大的情况后续可以考虑利用基于深度学习的目标定位方法进一步改进。

精准确度的实验结果如表 2 所示, 通过实验结果对比发现, 基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法的识别结果相比于基于阈值分割的 Blob 分析定位算法的识别结果在均值和方差上略微都有所上升, 所以在识别的精度上有所损失。图 7 为识别坐标的机械偏移相对人工标

表1 识别定位算法改进前后性能对比

Table 1 The performance of the improved algorithm versus the improved algorithm

算法类型	基于阈值分割的 Blob 分析定位算法		基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法	
	数据集 A	数据集 B	数据集 A	数据集 B
指标/数据集				
TP	13 570	374	14 353	399
FP	0	0	0	0
TN	9	1	11	0
FN	794	25	9	1
准确性 (accuracy)/%	94.475 8	93.750 0	99.937 4	99.750 0
精度 (precision)/%	100.000 0	100.000 0	100.000 0	100.000 0
召回率 (recall)/%	94.472 3	93.734 3	99.937 3	99.750 0

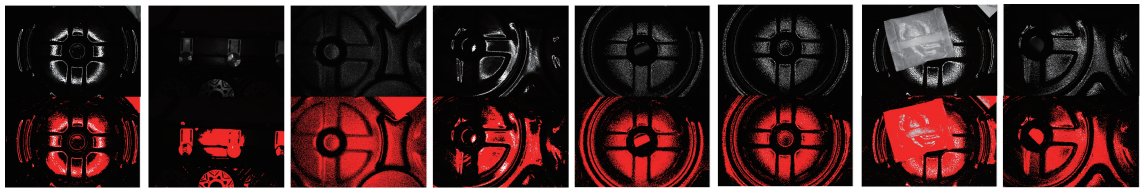
表2 图像识别精准度实验结果

Table 2 The result of image recognition deviation

算法类型	基于阈值分割的算法		基于分水岭分割的算法	
	像素偏移 /pixel	机械偏移 /mm	像素偏移 /pixel	机械偏移 /mm
均值(mean)	2.841 0	0.181 59	3.352 0	0.214 1
方差(SD)	2.594 4	0.166 10	2.699 7	0.172 9

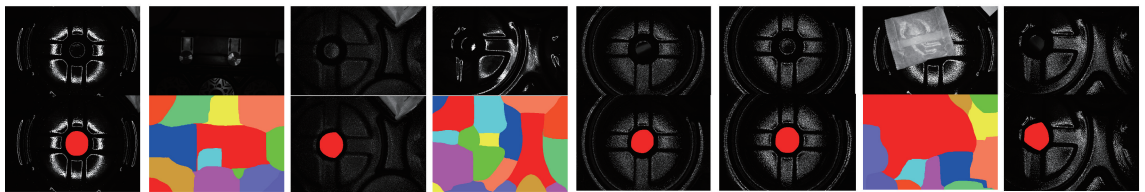
注的真值的折线图。从图中可以看出大部分的样本机械偏差值控制在 0.5 mm 以内,少量样本的机械偏差值控制在 1 mm 以内,偏差值最大的样本也小于 2 mm。

基于分水岭分割的算法在识别精度上有所损失的原因是,环形光源和相机的光轴同轴线,但是被识别的区域是一个下凹的孔,其 Z 轴上方为一个平面但是孔的轴线不是时刻和相机、光源的轴线重合,当光轴的和圆孔的中心有偏移时圆孔的底部可以被照亮,而上方的黑色平面区域则会形成和环形光源类似的环形高光区域。如图 8(a) 所示,其中实线框区域为被识别的大致区域,虚



(a) 基于阈值分割的Blob分析失效样本类型

(a) Failure samples of Blob analysis based on threshold segmentation



(b) 基于分水岭分割改进的Blob分析识别效果

(b) Effectiveness of the improved Blob analysis and recognition based on watershed segmentation

图6 改进前算法识别失效类型与改进后算法对应识别效果

Fig. 6 The recognition of failure type of the unimproved algorithm corresponds to the recognition of improved algorithm

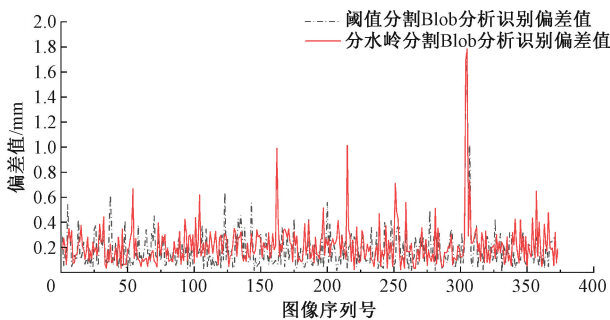
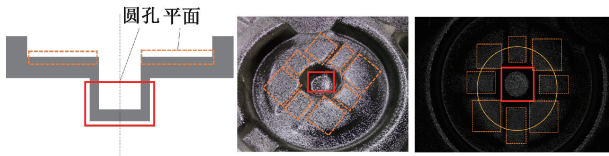


图7 改进前后的 Blob 分析识别偏差值折线图

Fig. 7 Line graph of the recognition deviation between the improved algorithm and the unimproved algorithm

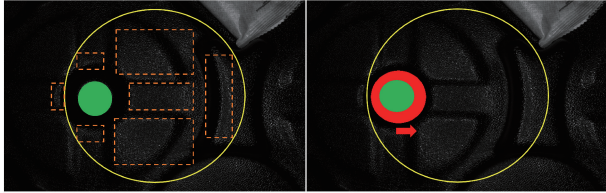
线框区域为平面的高光区域。由于分水岭分割算法中分水岭的建立与分水岭临近区域的像素灰度值与像素的数量相关。如图 8(b) 所示,这些偏移的环形高光区域使得算法建立的分水岭也发生了相应的偏移造成相比于阈值分割更大的偏移值。当然这种误差可以在后续将环形光源换成更大的面光源来降低。

此外,表 3 表示为改进后算法识别基于阈值分割算法识别失败的样本的识别效果,本文统计了数据集 B 中的 24 个样本的,识别结果相对真值的偏移。均值控制在 0.6 mm 以内,方差控制在 0.3 mm 以内。而通过图 9 发现,机械偏移量最大值也小于 1.4 mm 所以改进后的算法



(a) 识别区域对象的外形与光照效果

(a) The shape and lighting effect of objects in the area to be recognized



(b) 分水岭分割使得识别偏差变大的原因

(b) The reason of watershed segmentation making the deviation lager

图 8 基于分水岭分割改进 Blob 分析识别的偏差分析

Fig. 8 Deviation analysis of improved Blob analysis recognition based on watershed segmentation

表 3 改进算法在传统算法不能识别样本上的识别结果
Table 3 The recognition deviation of the improved algorithm on the sample which cannot be recognized by the unimproved algorithm

指标/偏移	像素偏移/pixel	机械偏移/mm
均值 (Mean)	8.245	0.523
方差 (SD)	4.401	0.287

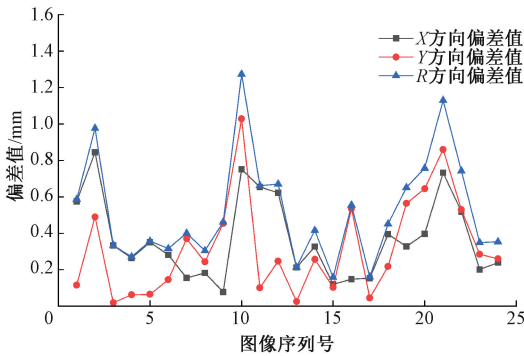


图 9 改进算法在改进前不能识别样本上的识别偏差折线图

Fig. 9 The recognition deviation line graph of the improved algorithm on the sample which cannot be recognized by the unimproved algorithm

在原算法不能识别的样本上也有良好的表现。误差变大是由于识别区域的贴纸、光照不均匀等因素引起被识别区域产生局部高光,让分水岭分割的盆地发生了偏移,从而使得这些样本的均值产生较大的增加。

2.2 两点定位策略评估结果

表 4 表示下料系统的在两点定位策略下的运行时间的实验结果。在相同的搬运量下,利用两点定位策略可以降低系统 20.52% 的时间消耗。这是由于两点定位策略在一组托盘定位中只进行两次图像识别的动作减少简化了图像识别次数,降低了系统的时间消耗。

表 4 不同定位策略的效率对比

Table 4 Comparison of the efficiency of different positioning strategies

参数/定位类型	逐点定位	两点定位
T_{work}	10 s	10 s
T_{rec}	3 s	3 s
T_{wait}	1.5 s	1.5 s
Points	240	240
T_{total}	3 480 s	2 766 s
下降率		20.52%

表 5 与图 10 表示两点定位策略与逐点定位策略在识别精准性上的实验结果,通过对比发现,两点定位相对于逐点定位会损失一定的精准度,通过折线图对比发现两点定位的偏移结果相对于逐点定位会有一个大的

表 5 不同定位策略识别精准度对比

Table 5 Comparison of recognition accuracy of different positioning strategies

指标/策略	逐点定位策略/mm	两点定位策略/mm
均值 (Mean)	0.207 804	0.309 168
方差 (SD)	0.129 814	0.172 579

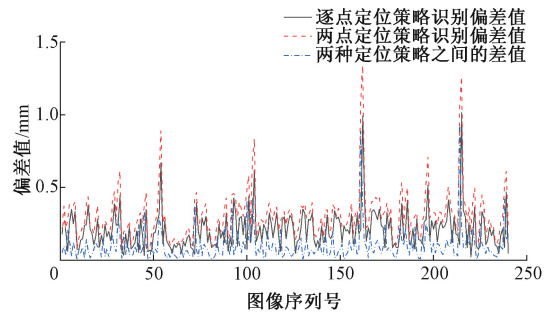


图 10 两点定位策略与逐点定位策略识别偏差对比折线图

Fig. 10 Comparison line graph of identification deviation between two-point positioning strategy and point-by-point positioning strategy

小不定的偏移值同时两点定位引起的偏移量放大也满足最大机械偏移量小于 2.5 mm 的要求。这个偏移值是由于图像识别的结果相对真值有一定误差值,这个误差值经过仿射变换累加到纠偏的所有点位上去,进而两点定位的偏移值都会大于逐点定位的偏移。这个误差可以通过提高视觉系统的精度、提高视觉定位算法的定位精度来降低。

3 结 论

本文的工业机器人下料视觉定位系统采用基于改进 Blob 分析的两点纠偏定位的两步法策略完成固定位置批量产品的快速精确定位,第 1 步利用基于分水岭分割的改进 Blob 分析定位算法保证视觉系统的定位准确性和鲁棒性,第 2 步基于视觉系统视觉识别定位提供的托盘的可靠定位数据,基于二维放射变换原理对所有下料点位进行纠正消除托盘实际位置与理想位置间的误差。基于分水岭分割改进的 Blob 分析定位算法提高了传统基于阈值分割的 Blob 分析定位算法的托盘识别成功率且保证了精准度。其中托盘识别准确性和召回率分别从 93.75% 和 93.73% 提高到 99.75% 和 99.75%。同时改进后的算法在基于阈值分割的算法无法识别的样本上的定位识别效果良好。虽然改进后的算法识别偏差相比改进前从 0.182 mm 提高到了 0.214 mm,标准差值从 0.166 mm 提高到 0.173 mm。且两点定位策略略微放大图像识别的误差,机械偏差值均值为 0.309 mm 方差值为 0.172 mm。这些误差的提升可以通过更换照明更均匀的面光源与像素更高的相机来降低。在视觉定位基础上的两点纠偏的策略代替逐点定位的方式提高了下料的效率将原本一组的搬运时间从 3 480 s 降低到 2 766 s,降低 20.52% 的运行时间。在实际生产中改进后的算法的准确的仍满足实际应用需求并在此基础上提高了定位识别的鲁棒性,进而也保证了两点定位策略的稳定性。所以采用本文的基于改进 Blob 分析的两点纠偏定位策略在提高了系统的工作效率与可靠性。为类似的自动化设备下料场景提供了新的快速精准下料思路。

参考文献

- [1] QIAN F. Smart and optimal manufacturing: The key for the transformation and development of the process industry[J]. *Engineering*, 2017, 3(2): 151.
- [2] ZHAO D, SUN F, WANG Z, et al. A novel accurate positioning method for object pose estimation in robotic manipulation based on vision and tactile sensors[J]. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 2021, 116: 2999-3010.
- [3] PAGANO S, RUSSO R, SAVINO S. A vision guided

robotic system for flexible gluing process in the footwear industry[J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2020, 65: 101965.

- [4] PÉREZ L, RODRÍGUEZ Í, RODRÍGUEZ N, et al. Robot guidance using machine vision techniques in industrial environments: A comparative review [J]. *Sensors*, 2016, 16(3): 335.
- [5] SHAHZAD A, GAO X, YASIN A, et al. A vision-based path planning and object tracking framework for 6-DOF robotic manipulator [J]. *IEEE Access*, 2020, 8: 203158-203167.
- [6] ZHU YUN L Z G, ZHANG Y Q. Research progress and prospect of machine vision technology [J]. *Journal of Graphics*, 2020, 41(6): 871-890.
- [7] DU G, WANG K, LIAN S, et al. Vision-based robotic grasping from object localization, object pose estimation to grasp estimation for parallel grippers: A review [J]. *Artificial Intelligence Review*, 2021, 54 (3): 1677-1734.
- [8] KUMAR M J, KUMAR D, REDDY R V K. Review on image segmentation techniques [J]. *International Journal of Scientific Research Engineering & Technology*, 2014, 3(6): 993-997.
- [9] GOLNABI H, ASADPOUR A. Design and application of industrial machine vision systems [J]. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2007, 23 (6): 630-637.
- [10] 董大钊, 高继良, 徐月同, 等. 基于机器视觉的机器人装配位姿在线校正算法 [J]. *浙江大学学报(工学版)*, 2021, 55(1): 145-152.
DONG D ZH, GAO J L, XU Y T, et al. Online correction algorithm for posture by robot assembly based on machine vision [J]. *Journal of Zhejiang University (Engineering Science)*, 2021, 55(1): 145-152.
- [11] 吴玉, 董超群, 陈嘉杰, 等. 基于 Halcon 的蒸汽发生器堵板操作机器人视觉定位算法 [J]. *科学技术与工程*, 2020, 20(28): 11626-11631.
WU Y, DONG CH Q, CHEN J J, et al. Vision positioning algorithm of the steam generator blocking operation robot based on Halcon [J]. *Science Technology and Engineering*, 2020, 20(28): 11626-11631.
- [12] JIANG T, CHENG X, CUI H, et al. Dual-camera-based method for identification and location of scattered self-plugging rivets for robot grasping [J]. *Measurement*, 2019, 134: 688-697.
- [13] HOU B, ZHANG C, YANG S. Computer vision tool-setting system of numerical control machine tool [J]. *Sensors*, 2020, 20(18): 5302.

- [14] ZHANG G, YUN T J, OH W B, et al. A study on seam tracking in robotic GMA welding process[J]. *Materials Today: Proceedings*, 2020, 22: 1771-1777.
- [15] OTSU N. A thresholding selection method from gray-level histogram[J]. *IEEE*, 1978, 8:62-66.
- [16] ZHANG Y J. An overview of image and video segmentation in the last 40 years[J]. *Advances in Image and Video Segmentation*, 2006: 1-16.
- [17] VINCENT L, SOILLE P. Watersheds in digital spaces: An efficient algorithm based on immersion simulations[J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence*, 1991, 13(6): 583-598.
- [18] JU A, WANG Z. A novel fully convolutional network based on marker-controlled watershed segmentation algorithm for industrial soot robot target segmentation[J]. *Evolutionary Intelligence*, 2022: 1-18.
- [19] ZHAO Y, LIU J, LI H, et al. Improved watershed algorithm for dowels image segmentation[C]. *7th World Congress on Intelligent Control and Automation*, IEEE, 2008.
- [20] AYREY E, FRAVER S, KERSHAW JR J A, et al. Layer stacking: A novel algorithm for individual forest tree segmentation from LiDAR point clouds [J]. *Canadian Journal of Remote Sensing*, 2017, 43(1): 16-27.
- [21] YIN T, ZENG J, ZHANG X, et al. Individual tree parameters estimation for Chinese Fir (*Cunninghamia lanceolata* (Lamb.) Hook) plantations of south china using UAV oblique photography: Possibilities and challenges [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2020, 14: 827-842.
- [22] GUI L, LISOWSKI R, FAUNDEZ T, et al. Morphology-driven automatic segmentation of MR images of the neonatal brain [J]. *Medical Image Analysis*, 2012, 16(8): 1565-1579.
- [23] WU J, PENG S F, JIANG F G, et al. Extraction of *Camellia oleifera* crown width based on the method of optimized watershed with multi-scale markers[J]. *The Journal of Applied Ecology*, 2021, 32(7): 2449-2457.
- [24] HUANG Y L, CHEN D R. Watershed segmentation for breast tumor in 2-D sonography [J]. *Ultrasound in Medicine & Biology*, 2004, 30(5): 625-632.
- [25] GOMEZ W, LEIJA L, ALVARENGA A, et al. Computerized lesion segmentation of breast ultrasound based on marker-controlled watershed transformation[J]. *Medical Physics*, 2010, 37(1): 82-95.
- [26] LO C M, CHEN R T, CHANG Y C, et al. Multi-dimensional tumor detection in automated whole breast ultrasound using topographic watershed [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2014, 33(7): 1503-1511.
- [27] WANG L, SHI F, LI G, et al. Segmentation of neonatal brain MR images using patch-driven level sets [J]. *NeuroImage*, 2014, 84: 141-158.
- [28] JALAB H A, HASAN A M. Magnetic resonance imaging segmentation techniques of brain tumors: A review[J]. *Archives of Neuroscience*, 2019, 6(Brain Mapping).
- [29] MALMBERG F, HENDRIKS C L L, STRAND R. Exact evaluation of targeted stochastic watershed cuts [J]. *Discrete Applied Mathematics*, 2017, 216: 449-460.
- [30] NG H, ONG S, FOONG K, et al. Medical image segmentation using K-means clustering and improved watershed algorithm[C]. *IEEE Southwest Symposium on Image Analysis and Interpretation*, 2006.
- [31] GUPTA S, THAKUR S, GUPTA A. Optimized hybrid machine learning approach for smartphone based diabetic retinopathy detection [J]. *Multimedia Tools and Applications*, 2022, 81(10): 14475-14501.
- [32] TONG F, TONG H, MISHRA R, et al. Delineation of individual tree crowns using high spatial resolution multispectral WorldView-3 satellite imagery [J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2021, 14: 7751-7761.
- [33] SU B, NOGUCHI N. Discrimination of land use patterns in remote sensing image data using minimum distance algorithm and watershed algorithm [J]. *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, 2013, 6(2): 48-53.
- [34] CHALLA A, DANDA S, SAGAR B D, et al. Watersheds for semi-supervised classification[J]. *IEEE Signal Processing Letters*, 2019, 26(5): 720-724.
- [35] YANG J, HE Y, CASPERSEN J P, et al. Delineating individual tree crowns in an uneven-aged, mixed broadleaf forest using multispectral watershed segmentation and multiscale fitting[J]. *IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations and Remote Sensing*, 2016, 10(4): 1390-1401.
- [36] TAREEF A, SONG Y, HUANG H, et al. Multi-pass fast watershed for accurate segmentation of overlapping cervical cells [J]. *IEEE Transactions on Medical Imaging*, 2018, 37(9): 2044-2059.
- [37] SREESHAN K, DINESH R, RENJI K. Enhancement of thermographic images of composite laminates for debond detection: An approach based on Gabor filter and watershed [J]. *Ndt & E International*, 2019, 103:

68-76.

- [38] RAMEZANI H, ZAKIDIZAJI H, MASOUDI H, et al. A new DSWS algorithm for real-time pedestrian detection in autonomous agricultural tractors as a computer vision system[J]. *Measurement*, 2016, 93: 126-134.
- [39] ZHUANG J, LUO S, HOU C, et al. Detection of orchard citrus fruits using a monocular machine vision-based method for automatic fruit picking applications [J]. *Computers and Electronics in Agriculture*, 2018, 152: 64-73.
- [40] CAO W, QIAO Z, GAO Z, et al. Use of unmanned aerial vehicle imagery and a hybrid algorithm combining a watershed algorithm and adaptive threshold segmentation to extract wheat lodging [J]. *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, 2021, 123: 103016.
- [41] BOATSWAIN JACQUES A A, ADAMCHUK V I, PARK J, et al. Towards a machine vision-based yield monitor for the counting and quality mapping of shallots [J]. *Frontiers in Robotics and AI*, 2021, 8: 627067.
- [42] SHEN X, MA H, LIU R, et al. Lesion segmentation in breast ultrasound images using the optimized marked watershed method [J]. *Biomedical Engineering Online*, 2021, 20(1): 57.
- [43] CASTLEMAN K R. *Digital image processing* [M]. Prentice Hall Press, 1996.
- [44] DERICHE R. Fast algorithms for low-level vision [J]. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 1990, 12(1): 78-87.
- [45] SHEN X, WU X, HAN D. Survey of research on watershed segmentation algorithms [J]. *Computer Engineering*, 2015, 41(10): 26-30.

作者简介



陈鹏, 2021 年于江南大学获得学士学位, 主要研究方向为机器视觉与其工业应用、深度学习与其工业应用。

E-mail: 675516471@qq.com

Chen Peng received his B. Sc. degree from Jiangnan University in 2021. His main research interests include machine vision and its industrial application, deep learning and its industrial application.



刘禹(通信作者), 2003 年于哈尔滨工业大学获得学士学位, 2005 年于韩国 Kyungpook National University 获得硕士学位, 2010 年于加拿大 The University of Western Ontario 获得博士学位, 现为江南大学机械工程学院教授, 主要研究方向为精密机电一体化与装备自动化, 微器件增材制造与柔性传感器, 智能仪器仪表与运动控制, 软材料、表面工程与微纳米技术。

精密机电一体化与装备自动化, 微器件增材制造与柔性传感器, 智能仪器仪表与运动控制, 软材料、表面工程与微纳米技术。

E-mail: yuliu@jiangnan.edu.cn

Liu Yu (Corresponding author) received his B. Sc. degree from Harbin Institute of Technology in 2003, received his M. Sc. degree from Kyungpook National University in 2005, and received his Ph. D. degree from University of Western Ontario in 2010. He is currently a professor in the School of Mechanical Engineering at Jiangnan University. His main research interests include precision mechatronics and equipment automation, additive manufacturing of microdevices and flexible sensors, intelligent instrumentation and motion control and soft materials, surface engineering and micro and nano technology.