

DOI:10.19344/j.cnki.issn1671-5276.2025.02.035

基于形态学处理和计量测量的端盖图像识别研究

张厅瑞¹, 梁蔓安¹, 李伯乐²

(1. 广西科技大学 机械与汽车工程学院, 广西 柳州 545006;

2. 广西柳工机械股份有限公司, 广西 柳州 545116)

摘 要:研究端盖图像的识别是为了在生产线高速运行的情况下,快速准确地识别和判断每种端盖的类型。针对这个问题,提出一种基于形态学处理和计量测量的端盖图像识别方法。针对端盖图像进行滤波、二值化、形态学处理、形状变换、形状分析和计量测量法等操作。通过算法设计实现工件的自动化识别,提高了此类零件分类的精度和可靠性。

关键词:机器视觉;形态学;计量测量;特征提取

中图分类号:TP391 **文献标志码:**B **文章编号:**1671-5276(2025)02-0181-05

Research on End Cap Image Recognition Based on Morphological Processing and Metrological Measurement

ZHANG Tingrui¹, LIANG Man'an¹, LI Bole²

(1. School of Mechanical and Automotive Engineering, Guangxi University of Science and Technology, Liuzhou 545006, China;

2. Guangxi Liugong Machinery Co., Ltd., Liuzhou 545116, China)

Abstract: This paper studies end caps recognition, particularly quick and accurate identification and determination of the type of each end cap in high-speed production line scenarios. A morphology-based processing and metrological measurement method for end cap image recognition was proposed. The end cap images were subjected to filtering, binarization, morphological processing, shape transformation, shape analysis, and metrological measurement operations. Through algorithm design, automated recognition of the end caps was achieved, which improved the accuracy and reliability of of this type of the component classification.

Keywords: machine vision; morphology; metrological measurement; feature extraction

0 引言

目前,装载机前后车架广泛采用轴承端盖。尽管机器加工制造的端盖用途不同,但颜色和纹理相似,导致在分类过程中经常混入其他型号的端盖。传统上,不同型号端盖分类的方法主要是人工分类法,这种方式劳动量大且效率低。本研究旨在利用机器视觉技术实现轴承端盖的识别,达到解放劳动力的目的。然而,对于具有厘米级大尺寸形状的零件来说,颜色和纹理非常相似,即便使用高分辨率的视觉硬件,也难以实现稳定和高精度的识别要求。传统的技术在处理这类零件时仍面临一定的困难。

机器视觉对于各种技术都是必不可少的,其已广泛应用于各类产品的分类系统,如故障分类、汽车零件筛选以及颜色识别等领域^[1]。基于机器视觉的零部件分类技术具备非接触测量、长时间工作、较宽的响应范围等优点^[2],这为金属端盖的

分类提供了有效的解决方案。

通过机器视觉技术实现工件的识别是一个热门课题。本文提出的基于机器视觉的端盖识别技术旨在解决传统工业生产中的端盖分类问题。运用工业相机和图像处理技术,研究了基于机器视觉的端盖图像识别算法,并提出了一种基于形态学处理和计量测量端盖图像识别方法,最终实现准确识别具有以上特征零件的目的,并对端盖图像进行有效分类,以实现稳定和高精度的分类要求。

1 问题分析

本文以金属端盖为研究目标,其示意图如图 1 所示。为了确保将端盖上的轮廓拍摄清晰,经过多种方案尝试比较,最终采用工业相机配合条形光源的方法,在适当的角度下拍摄出端盖表面的图像如图 2 所示。

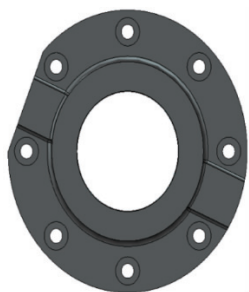


图1 金属端盖示意图

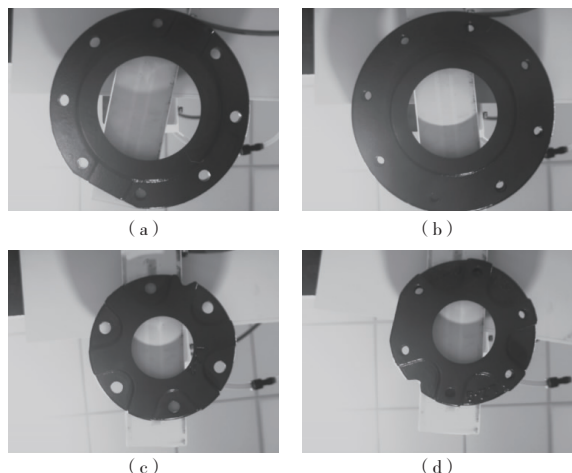


图2 采集不同类型端盖的原始图像

由于相机特性,捕捉到的工件图像可能存在过饱和的高光区域。此外,现场工作环境恶劣,背景光线不稳定且光照条件不理想,进一步降低了识别精度。同时,工人随机摆放端盖于物料仓内,导致工件位置分布随机,增加了识别的难度。

2 算法设计

针对端盖的图像识别问题,采用的方法主要包括图像的预处理、提取 ROI 区域、连通区域特征分析、计量测量等步骤。在实际应用中,为了在保持所关心图像特征信息不减少的前提下,减少处理图像的像素个数并提高图像处理效率十分重要。通过 Blob 分析找到包含目标的区域,然后对工件识别达到准确分类的目的。算法步骤如下:

1) 对采集到的端盖图像进行预处理,选择锐化和中值滤波去除噪声并保留边缘信息;

2) 利用区域生长法对图像进行区域分割,得到包含目标零件的二值化图像;

3) 对端盖图像进行形态学处理操作,增强图像中的有用数据并消除干扰信息,保留一定的边缘特征^[3];

4) 采用圆形拟合算法对图像中的圆形目标进行精确测量,得到端盖图像的精确轮廓;

5) 通过 Canny 边缘检测法提取轮廓线,采用轮廓筛选策略去除干扰轮廓并提取端盖图像切边的轮廓。

算法流程如图 3 所示。

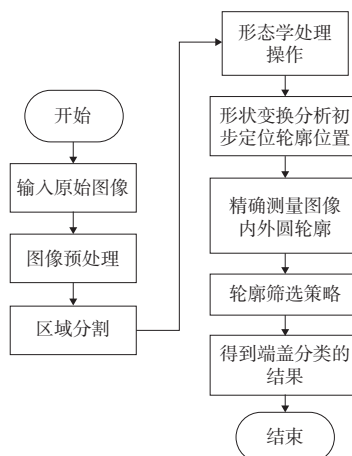


图3 算法流程

3 Blob 分析

Blob 分析是一种对图像进行二值化处理的方法,它通过将图像分割成连通区域来分离目标和前景^[4-5],从而提取出包含目标零件的信息。

3.1 图像预处理

在进行零件特征提取之前,为了获取高质量的图像,首先要进行预处理^[6],消除噪声。本文首先对采集到的端盖图像进行灰度化,然后针对一些对焦不准可能存在模糊不清的灰度化图像进行了锐化。锐化后,为获得质量更高的图像,根据端盖图像噪声特点,选取中值滤波来消除图像中的噪声。

中值滤波通过将滤波窗口沿着图像移动,对每个像素点进行滤波处理,并将其周围的像素值按照大小排序并取中间值,保证原有图像轮廓信息不被破坏的情况下尽可能地抑制干扰噪声^[7]。其实现过程如下:

$$G(x, y) = \text{Med} \{ F(x-m, y-n) \} \quad (m, n \in A) \quad (1)$$

式中: $G(x, y)$ 为滤波后的图像中点 (x, y) 的灰度值; $F(x, y)$ 为原始图像中点 (x, y) 的灰度值; A 为滤波窗口。以某型号端盖为例,本文采用中值滤波方法进行图像处理的效果如图 4 所示。



(a) 锐化前的图像



(b) 锐化后的图像



(c) 中值滤波后的图像

图4 运用中值滤波前后对比效果图

3.2 区域生长法

为了有效分割图像,基于区域生长法实现区域的分割。首先选取一个端盖或多个像素作为起始点,然后根据定义的相似性准则,对相邻的像素进行相似性度量。如果相邻像素与端盖像素的相似性满足预设的生长准则,则将其加入到同一区域中,组合成为更大的区域。不断重复以上过程,直到所有像素都被分配到某个区域为止。

区域生长法的核心是相似性准则,根据中心点的灰度值作为阈值处理的参考阈值 T ,公式如下^[8]:

$$E = |f(x, y) - f(m, n)| \quad (2)$$

式中: $f(x, y)$ 是端盖像素点的灰度值; $f(m, n)$ 是相邻像素点的灰度值; T 为固定阈值分割时选取的阈值; E 为端盖像素与相邻像素之间的灰度值之差。若 $E < T$,则将其并入已生长区域;若 $E \geq T$,则 $f(x, y)$ 保持不变。端盖运用区域生长法的效果图如图5所示。

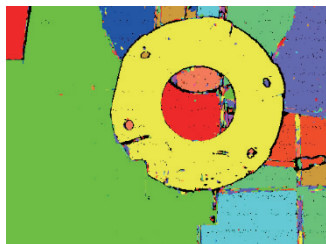


图5 运用区域生长法的效果图

3.3 形态学处理

图像形态学是一种重要的图像处理技术,主要包括膨胀和腐蚀两种^[9]。这两种操作是用一定形态的结构矩阵去增强图像中的数据,消除图像中的干扰信息。本文对图像进行了膨胀和腐蚀处理,公式如下^[10]:

$$R_1 \oplus R_2 = \{x, y | (R_2)_{xy} \cap R_1\} \neq \emptyset \quad (3)$$

$$R_1 \ominus R_2 = \{x, y | (R_2)_{xy} \subseteq R_1\} \quad (4)$$

式中: R_1 表示图像中的一部分区域; R_2 表示任意大小和形状的结构。式(3)表示用结构 R_2 膨胀 R_1 ,即将 R_1 与结构 R_2 进行卷积并求结构 R_2 覆盖区域的像素最大值。式(4)表示用结构 R_2 腐蚀 R_1 ,即将 R_1 与结构 R_2 进行卷积并求结构 R_2 覆盖区域的像素最小值。端盖图像经过形态学处理后的效果如图6所示。



(a) 连接分割后



(b) 闭运算



(c) 填充后



(d) 差运算

图6 形态学处理后效果图

对初步分割得到的区域进行形态学处理,采用半径为 Circle 像素的圆作为结构元素对区域进行形态学闭运算操作,以去除目标区域中的小噪点和空洞;然后,对闭运算后的目标区域进行填充,将图像中的目标区域形状转换为凸包;最后,对于端盖内部的轮廓需要对孔洞填充后的区域与原图像进行差运算以得到更小的圆环区域,实现对目标的去噪、填充和分割,并提高了图像处理的效率和准确性^[11-12]。

4 工件识别

工件识别是通过运用一系列方法,如形状拟合、计量测量和轮廓筛选,来准确区分不同端盖的类型。

4.1 形状拟合

基于形状变换和形状分析的原理,初步实现目标的内外圆形状拟合。首先通过对填充后的目标区域进行形状变换,将目标区域转换为圆形形状。然后获取变换后目标区域的边界,接着把边界转换为轮廓,从而得到目标的圆形拟合轮廓。本文初步拟合得到的效果如图 7 所示。



图 7 形状变换和分析后的效果图

4.2 计量测量法

计量测量技术是机器视觉中的一种常用技术,用于对图像中的目标进行精确测量和定位。根据端盖图像的形状特点,本文采用圆形拟合算法对图像中的圆形目标进行精确测量。圆形拟合算法的实现过程如下:

- 1) 建立圆形拟合模型,得到一组离散的点坐标;
- 2) 通过最小二乘法对离散点进行拟合,找到最优的圆形参数,包括圆心坐标和半径,使得所有点到圆形的距离之和最小;
- 3) 计算拟合误差,评估拟合结果的精度和可靠性,拟合误差用残差平方和来表示,即所有点到圆形的距离之差的平方和。

通过设置测量参数最小得分保证测量的准确性和鲁棒性。最小得分是指测量结果的可信度,得分越高表示测量结果越可信。设置最小得分可以过滤掉得分较低的测量结果,以提高测量的准确性和鲁棒性。本文采用计量测量技术后的效果如图 8 所示。

4.3 轮廓筛选策略

针对上铰接端盖的上唇口和下唇口难以区分的问题,使用端盖目标区域的切线轮廓特征作为分类依据,这是因为上唇口和下唇口在切线轮廓上存在明显的区分度。本文采用基于 Canny 的轮廓提取方法对轮廓进行进一步细分^[13-14],提取的效果如图 9 所示。

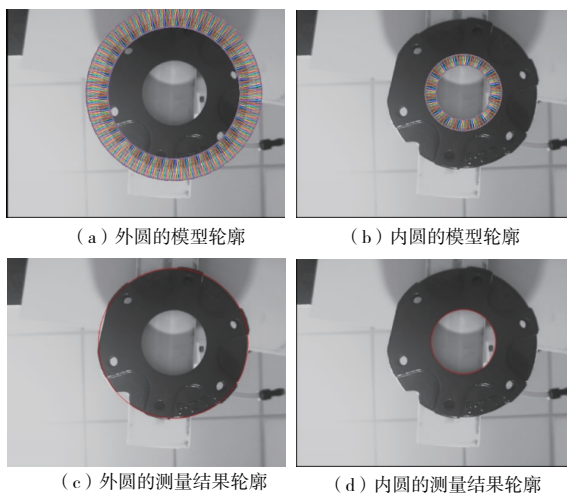


图 8 计量测量后的效果图

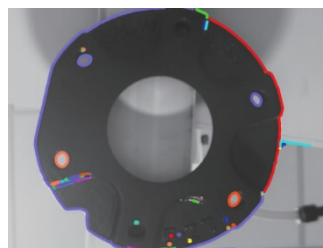


图 9 基于 Canny 的轮廓特征提取

针对轮廓在图像中的表示形式和特点,为提高切线轮廓提取的准确性和鲁棒性,本文尝试了一些优化和改进方法,如合并相邻轮廓和合并共圆轮廓,最终选取轮廓长度、凸度、圆度等特性来获取切线轮廓。根据切线轮廓到质心的平均距离可以实现端盖图像分类的目的。端盖分类的结果如图 10 所示。

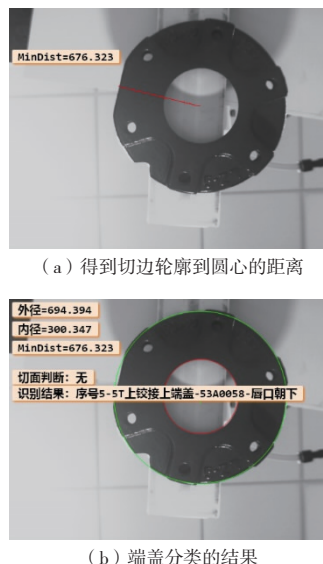


图 10 端盖分类的结果

5 实验分析

为了验证算法的准确性及稳定性,在生产线上拍摄各型号端盖的照片,随机选择了40张端盖图像作为测试对象,对每一幅图像根据本文提出的算法流程进行图像预处理,并提取每张端盖图像的外轮廓和内轮廓,确定内外圆的半径范围以及切线轮廓到质心的距离范围作为分类的依据从而判断端盖的类型。具体分类步骤如下。

1) 满足外圆半径大于680且小于720,同时内圆半径大于280且小于320时,若最小距离大于670,识别结果:上铰接上端盖-53A0058-唇口朝下。

2) 满足外圆半径大于680且小于720,同时内圆半径大于280且小于320时,若最小距离小于670,则识别结果:上铰接下端盖-53A0059-唇口朝上。

3) 满足外圆半径大于940且小于980,同时内圆半径大于470且小于510时,识别结果:下铰接上端盖-53A0155-唇口朝上。

4) 满足外圆半径大于940且小于980,同时内圆半径大于400且小于440时,识别结果:下铰接下端盖-53A0060-唇口朝下。

实验结果表明,该算法对生产制造的4种类型端盖的平均识别准确率均为100%,满足总体设计要求和生产实际需求。

6 结语

轴承端盖作为基础件在机械行业有广泛的应用。本文设计了一种基于形态学处理和计量测量的端盖图像识别方法,完成对生产的各类端盖的分类。实验证明,该方法有效可行,能得到准确的端盖分类效果。与传统的人工分类方法相比,其具备显著的优越性,不仅提高了出厂产品的良品率,也为端盖的识别提供了新的方法。

参考文献:

[1] 沈伟,庞全,范影乐,等. 基于机器视觉的全自动汽车

零件筛选系统[J]. 仪表技术与传感器,2009(9): 97-100.

[2] 陈鹏,张爱梅,张强,等. 基于机器视觉的扁弹簧分类方法研究[J]. 现代制造工程,2017(3):126-129.

[3] 戚义鹏,黄希,许红健,等. 基于Halcon的新型引线框架排片机的设计[J]. 机床与液压,2022,50(20): 130-134.

[4] 石龙杰,周扬,岑岗,等. 基于机器视觉的汽车换挡面板自动分类方法[J]. 现代制造工程,2021(4): 104-108.

[5] 于涛,刘卫国,朱淑亮,等. 基于HALCON的缝纫机针外观质量检测系统设计与研究[J]. 现代制造工程, 2015(3):103-109.

[6] 程爱珍. 基于机器视觉的螺钉头部型号智能在线检测系统[J]. 组合机床与自动化加工技术,2019(9): 114-116,126.

[7] 夏嘉廷. 基于DM6437的轴类零件视觉测量系统应用研究与开发[D]. 杭州:浙江大学,2012.

[8] 范群贞,吴浩,林真. 基于形态学和区域生长法的医学图像分割[J]. 机电技术,2019,42(3):26-29.

[9] 胡学龙. 数字图像处理[M]. 北京:电子工业出版社,2010.

[10] 苑玮琦,朱立军,张波. 基于形态学与支持向量机的虹膜坑洞纹理检测[J]. 仪器仪表学报,2017, 38(3):664-671.

[11] AMINZADEH M, KURFESS T. Automatic thresholding for defect detection by background histogram mode extents[J]. Journal of Manufacturing Systems, 2015, 37:83-92.

[12] 陈琦,阮鸿雁. 基于机器视觉的滑动轴承缺陷检测系统设计[J]. 组合机床与自动化加工技术,2017(5): 92-95,99.

[13] 李润泽,钱仕德,逯汉宁. 基于机器视觉的汽车装配协作机器人机械故障图像识别系统[J]. 机械制造与自动化,2023,52(3)189-192,248.

[14] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,1986,8(6):679-698.

收稿日期:2023-07-03