

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2105835

# 基于改进的模板匹配在规则边缘零件 内孔检测中的应用\*

万宏强 张晨辉 孙正阳

(西安工业大学机电工程学院 西安 710021)

**摘要:**许多精密仪器零件中的内孔形态各异,针对规则边缘零件内孔的质量检测,提出了一种基于规则边缘改进的快速模板匹配方法。通过对获取的零件图像进行数学形态学以及最小二乘法边缘拟合等操作,提取出只含零件内孔的感兴趣区域(ROD),最后建模对目标零件的内孔进行匹配检测。通过实验对所提算法的精度和速度进行验证,实验表明该算法能够满足零件的工业检测要求,且检测精度比传统模板检测算法测高了8.9%,检测时间比传统模板检测算法少了0.72 s。

**关键词:**边缘检测;数学形态学操作;最小二乘拟合;模板匹配

**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

## Application of inner hole detection of regular edge parts based on improved template matching

Wan Hongqiang Zhang Chenhui Sun Zhengyang

(School of Mechatronic Engineering, Xi'an Technological University, Xi'an 710021, China)

**Abstract:** Due to the different shapes of inner holes of many precision instrument parts, a fast template matching method based on the improved regular edges is proposed, aiming at the quality inspection for inner holes of regular edge parts. By performing mathematical morphology and least squares edge fitting on the acquired part image, the region of interest (ROD) containing only inner holes of parts is extracted, and finally the matching detection of modeling on inner holes of parts is completed. By verifying the accuracy and speed of the proposed algorithm, experiment shows that this algorithm can meet the industrial inspection requirements of parts, the accuracy is 8.9% higher than that of the traditional template detection algorithm, and the detection time is 0.72 s faster than the traditional template detection algorithm.

**Keywords:** edge detection; mathematical morphology operation; least square fitting; template matching

### 0 引言

在精密仪器与设备的生产加工当中,零件缺陷检测是至关重要的,但如今一些传统的检测方法,已经无法满足现代自动化的检测需求,随着自动检测技术的不断发展,基于机器视觉的检测技术也被广泛的应用。从实际应用来看,郑硕文等<sup>[1]</sup>针对目前齿轮表面缺陷检测低效率、低质量和低稳定性等问题,设计了基于机器视觉、通过多传感器相互协调工作的齿轮缺陷检测系统。应用这一系统,可以快速有效对缺陷齿轮进行识别和剔除,满足齿轮产品缺陷检测生产线自动化的要求。褚慧慧等<sup>[2]</sup>提出了一种对焊接质量

进行监测和建立焊接表面的三维形貌的图像处理方法,此方法可以自动提取焊接零件的轮廓曲线、焊接尺寸和表面缺陷等,该方法能够检测多种缺陷,有较好的实际应用价值。黄海龙<sup>[3]</sup>提出了基于数学形态学的图像边缘检测系统,研究了其在机器视觉技术中的应用。林创荣等<sup>[4]</sup>将在线检测运用于圆度的测量,他们运用最小二乘法计算圆柱测量界面的圆度误差,能够对圆度在线检测结果进行较好的评估。Molina等<sup>[5]</sup>针对曲面曲线样式,边角以及深凹面存在的缺陷提出了一种基于挠度和视觉的新方法,该方法旨在增强低强度像素之间的对比度并通过局部方向模糊和改进图像对比度在增强的图像背景提取方法,该方法系统

收稿日期:2021-02-24

\* 基金项目:陕西省自然科学基金基础研究计划项目(2019JM-579)、西安工业大学2020年国家级大创项目(S202010702028)资助

能在 15 s 内计算出缺陷,检测速度较快,但只通过图像中灰度对比度进行检测,其准确精度不够理想。刘斌等<sup>[6]</sup>提出了一种先进行粗检测,再进行精检测的检测方法来提高一般视觉检测时的测量精度,减少其误差,该方法进行测量产生的误差范围在 0.1 mm 以内,有一定的工程应用价值。

在当前的实际应用中,基于机器视觉的尺寸测量与缺陷检测在众多的领域和行业中使用频繁<sup>[7-10]</sup>,在机械设备与零件的加工检测当中尤为突出,因此进行相关方面的研究是十分重要的。对于零件内孔的质量检测,常用的模板匹配算法存在检测速度慢、检测精度低等问题,在保证应用要求的前提下如何尽可能的降低复杂度提高精度是该领域的一个研究方向,因此本文结合目前已有的理论与方法对传统的模板匹配算法进行了改进。针对具有规则边缘零件中的不规则孔的质量检测,本文以某规则边缘零件为例,该零件经过车削加工,端面产生多个圆孔和不规则形状。为了检测此类零件内孔的数量、位置以及大小是否符合标准,提出了一种基于规则边缘改进的快速模板匹配方法,使得此类零件在检测时的精准度比传统模板检算法测高了 8.9%,检测速度比传统模板检算法快了 0.72 s。

### 1 基于规则边缘改进的快速模板匹配方法

在本文方法中首先获取标准零件图像,然后对标准零件图像进行处理并建立标准零件的模板库,最后将目标零件图像与标准零件模板库进行匹配从而判断目标零件的合格性。本文检测方法的原理及流程如图 1 所示。

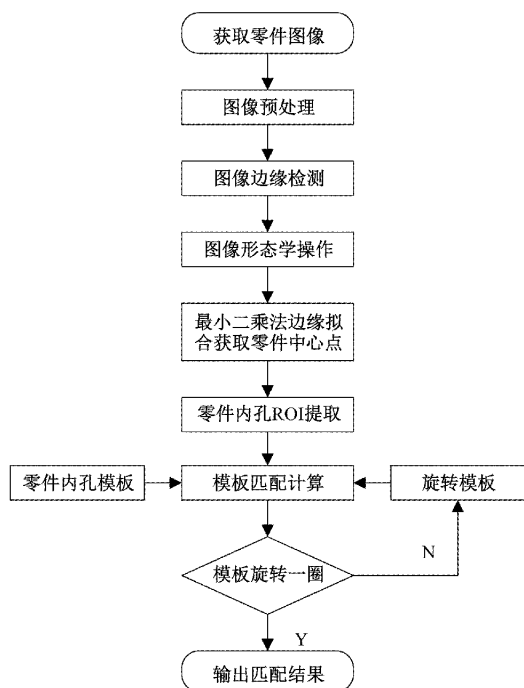


图 1 检测原理及流程

#### 1.1 零件图像的获取

本文所提的基于规则边缘改进的快速模板匹配方法实

验平台的构建如图 2 所示。实验使用的是具有 130 万像素全局快门 USB 接口的 halcon 彩色工业相机,相机型号为 HT-UB130GC。为了获取比较清晰的边缘细节,需要合适的光源亮度,所以最终选择了 MV-RL-V 系列环形光源,此光源是专为机器视觉、工业显微镜设计的高亮度 LED 光源,亮度可调、低温、均衡、无闪烁,无阴影,特有的内嵌式结构,减少光线干扰从而显著提高图像质量。

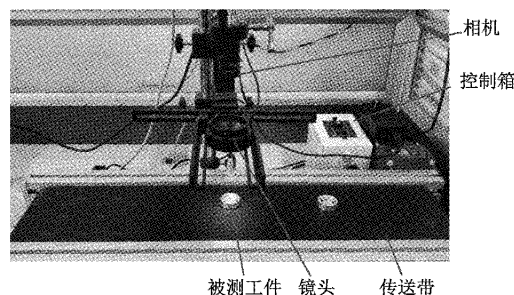


图 2 实验平台

以某盘类铝合金工件为检测对象,实验目的是检测此零件内孔的数量、位置以及大小是否符合标准,以便验证本文提出的基于规则边缘改进的快速模板匹配方法能够高效高精度的检测规则边缘零件内孔的加工质量。调整好合适的光源,通过 CCD 工业相机采集零件图像,利用 MATLAB 软件对图像进行获取,获取的零件图像如图 3 所示。

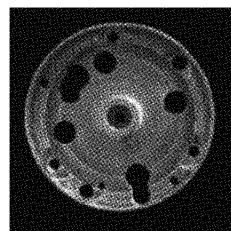


图 3 零件原图

#### 1.2 零件图像的处理

零件图像处理过程如下:

##### 1) 图像灰度化、滤波、二值化

将采集的零件原图采用 MATLAB 中的 rgb2gray 函数进行灰度处理,得到零件的灰度图像,然后运用自适应中值滤波算法去除原始图像中含有的噪声,同时完整保留图像的边缘信息。如图 4 所示,滤波后的零件灰度图像边缘清晰完整。由于后续形态学运算是基于二值图像完成的,需要将灰度图像作二值化处理。本文采用最大类间方差法 (OSTU 法),它是根据图像灰度值进行图像分割,将图像分割成目标和背景两部分,可以自动计算选取阈值,具有一定的自适应性,分割效果较好<sup>[11-13]</sup>。如图 5 所示,OTSU 法处理得到的零件二值图像。

##### 2) 采用 Canny 算子提取边缘

为了获取较好的零件边缘,对一些常用的边缘检测算子进行效果试验,根据零件的边缘检测效果以及实际检测

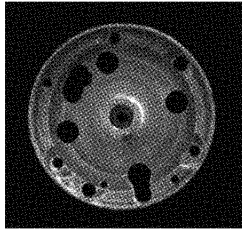


图 4 自适应中值滤波图像

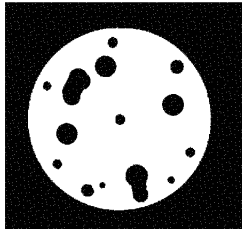


图 5 OTSU 法二值图像

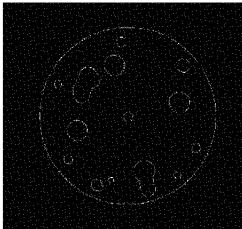


图 6 Canny 算子边缘提取

3) 零件图像的数学形态学操作

零件图像经过预处理后,在背景上还会存在一些噪声,可以利用函数 findLargeBlock\_2D 来寻找图像中的最大块,获取不含背景的零件图像,再将此图像进行数学形态学中的闭运算处理,得到经过闭运算处理后的零件图,利用函数 imfill 对经过闭运算处理后的零件图进行填洞处理,得到经过填洞处理后的图像。经过闭运算处理后的零件图如图 7 所示,经过填洞处理后的图像如图 8 所示。

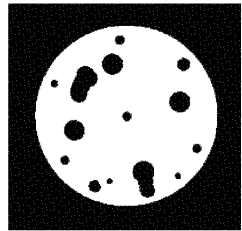


图 7 经过闭运算处理后的零件图

4) 最小二乘法边缘拟合

此零件边缘为规则圆形,通过 Canny 算子定位零件图像边缘后,利用最小二乘法对零件轮廓进行圆的拟合来得到圆心,即得到零件中心位置。零件边缘进行拟合圆后的图像如图 9 所示。

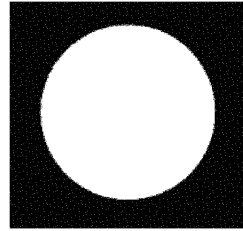


图 8 填洞处理后零件图

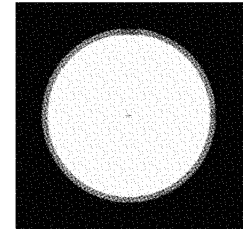


图 9 最小二乘法拟合获取中心

5) 零件内孔的 ROI 提取及内孔数量判断

在后面的零件内孔匹配检测过程中,待检区域只占整幅图像的一部分,并且在非检测区域中存在其他干扰,会影响到零件内孔的检测。因此,需要首先定位出原始图像中的待检端面区域,即提取图像中的感兴趣区域 ROI(region of interest),零件内孔质量检测只在感兴趣区域内进行<sup>[14]</sup>。将经过闭运算处理后的零件图和经过填洞处理后的图像进行边缘拟合,并获取零件中心。从零件中心向上下左右各截取一段像素且使零件完全包含其中,获取两个相同大小的图像,将两个图像做差从而获取零件内孔图像,并利用函数 bwareaopen 去掉小于最小孔的连通域。

将经过闭运算和填洞处理后的图像进行边缘拟合,获取两个图像的零件中心,从零件中心向上下左右各取 280 pixel 得到两个 561×561 的图像,将两个图像做差获取零件内孔图像,并利用函数 bwareaopen 去掉小于 20 的连通域,提取出的零件内孔图像如图 10 所示。

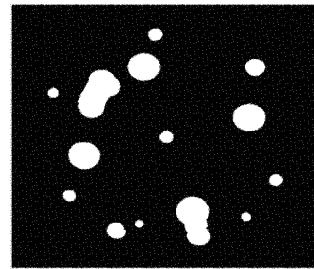


图 10 零件内孔图像

1.3 模板获取和零件匹配检测

Dice 是医学图像中的常见指标,代表的是 ground truth 的分割结果,ground truth 图像可以理解为含有理论分割结果的图像,用来和结果图像进行比较的参照图像<sup>[15]</sup>。Dice 值用公式可以表达为  $\frac{2 * \text{预测正确的结果}}{\text{真实结果} + \text{预测结果}}$ 。

在本文的匹配过程中可以理解成目标零件内孔图像与标准零件内孔图像的吻合度,吻合程度越高 Dice 值越大,但是 Dice 总是 $\leq 1$ 的。考虑到零件公差和实验中误差影响,需要对大量标准零件进行匹配检测来确定合格零件的 Dice 值范围。

对标准零件图像进行上述流程处理,首先进行连通域标记,获取零件内孔数量(本文检测的标准零件内孔数量为 14)储存在数据库中,之后对处理后获得的标准零件内孔图像进行旋转,每旋转  $1^\circ$  进行一次模板获取,旋转一圈共获取 360 个模板,并将所有模板储存在数据库中作为标准。

目标零件进行检测时,对目标零件图像进行上述流程处理,首先将获取的目标零件内孔图像进行连通域标记,判断内孔数量是否符合标准,然后与数据库中模板进行旋转匹配,每旋转  $1^\circ$  获取一次 Dice 值,旋转  $360^\circ$  后输出最大 Dice 值作为此零件的 Dice 值,并判断此 Dice 值是否在合格零件 Dice 值的范围内,从而判断零件内孔的数量、位置以及大小是否符合标准。目标零件内孔旋转匹配过程如图 11 所示。

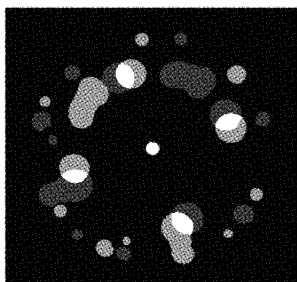


图 11 零件内孔的旋转匹配

当目标零件内孔图像与标准零件内孔图像完全重合时 Dice 值为 1,考虑到误差影响,在确定合格零件的 Dice 值范围时,将大量标准零件的内孔图像与数据库中的标准模板进行匹配检测,得到所有标准目标零件内孔图像检测后的 Dice 值,根据其中最小的 DICE 值,确定合格零件的 Dice 值范围为大于 0.96。

## 2 实验结果分析

此算法根据零件自身特性,利用零件的规则边缘,以及中心内孔圆心位置和零件圆心位置的一致性,精准去除了图像中的无效信息,使检测精度和检测效率更高。根据本文提出的检测算法对总共 500 个已知内孔合格性的零件进行实验检测,零件内孔部分检测结果如表 1 所示。

将传统模板匹配算法和本文提出的基于规则边缘改进的快速模板匹配方法,分别对此 500 个已知内孔大小合格性的零件进行内孔大小的检测,对比检测结果如表 2 所示。

由表 2 可知,与传统模板匹配算法的验证对比,本文提出的基于规则边缘改进的快速模板匹配方法的单个零件平

表 1 零件内孔检测结果

零件名称	零件内孔质量情况	Dice 参数
合格 1. JPG	正常	0.901 65
合格 2. JPG	正常	0.911 95
合格 3. JPG	正常	0.998 41
合格 4. JPG	正常	0.914 09
残次品 1. JPG	残次品-孔位置或者大小不符	0.885 41
残次品 2. JPG	残次品-孔数量不符	0
残次品 3. JPG	残次品-孔数量不符	0
残次品 4. JPG	残次品-孔数量不符	0
残次品 5. JPG	残次品-孔位置或者大小不符	0.798 96
残次品 6. JPG	残次品-孔数量不符	0

表 2 对比检测结果

	平均检测时间/s	检测精度/%
传统模板匹配算法	0.97	79.8
基于规则边缘改进的 快速模板匹配方法	0.25	88.7

均检测时间比传统模板匹配算法快了 0.72 s,内孔面积检测的平均时间达到了 0.25 s,检测精度相对提高了 8.9%。

## 3 结 论

本文根据零件自身特性,利用零件的规则边缘,以及中心内孔圆心位置和零件圆心位置的一致性,提出了一种基于规则边缘改进的快速模板匹配方法,通过相关图像处理算法,精准去除图像中的无效信息,以此用来检测规则边缘零件内孔的数量、位置和大小是否符合标准,提高了检测的准确率与速度。以本文的规则边缘零件为例进行实验,实验结果表明该算法能够满足零件的工业检测要求,且检测准确率与检测速度大于传统的模板检测方法。

本文提出的基于机器视觉的某零件缺陷检测系统,只能针对具有类似规则边缘的零件进行检测,当零件边缘不规则时,需根据具体零件改变算法以满足检测需求。

## 参考文献

- [1] 郑硕文,刘泓滨,段先云,等. 基于机器视觉的齿轮缺陷检测系统设计[J]. 机械制造,2017,55(10):96-97,103.
- [2] 褚慧慧,王宗义. 基于主动视觉的焊缝成形尺寸测量和缺陷识别研究[J]. 热加工工艺,2017,46(21):206-209.
- [3] 黄海龙. 数学形态学在图像边缘检测和机器视觉中的应用研究[D]. 沈阳:东北大学,2013.
- [4] 林创荣,高健,陈新. 基于网格模型的圆度自动检测和剔除系统的开发[J]. 机械设计与制造,2011(4):262-264.
- [5] MOLINA J, SOLANES J E, ARNAL L, et al. On the detection of defects on specular car body surfaces[J]. Robotics and Computer-Integrated Manufacturing,

- 2017, 48:263-278.
- [6] 刘斌,董正天,胡春海,等. 基于机器视觉的丝网印刷样板尺寸测量方法[J]. 计量学报,2021,42(2):150-156.
- [7] 常俊杰,万陶磊,钟海鹰. 短空间二维傅里叶变换对铝板的损伤定量研究[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(6):102-108.
- [8] 阙禄松,王明泉,张俊生,等. 基于 Canny 算子和形态学滤波的焊缝图像背景去除技术[J]. 国外电子测量技术,2020,39(1):10-14.
- [9] 闵永智,岳彪,马宏锋,等. 基于图像灰度梯度特征的钢轨表面缺陷检测[J]. 仪器仪表学报,2018,39(4):220-229.
- [10] 崔雪红,刘云,王传旭,等. 基于卷积神经网络的轮胎缺陷 X 光图像分类[J]. 电子测量技术,2017,40(5):168-173.
- [11] 王平. 基于数字图像处理的输送带跑偏状态实时监测技术[J]. 煤矿机械,2021,42(2):168-170.
- [12] 常奇峰. 基于 VC++ 的数字图像处理软件开发[D]. 南京:南京航空航天大学,2010.
- [13] 贺慧. 基于机器视觉的表贴元件缺陷检测与分类研究[D]. 西安:西安科技大学,2020.
- [14] WANG F. Research of image processing algorithm based on region of interest [J]. Advanced Materials Research, 2013, 798/799:814-817.
- [15] 何奕松,蒋家良,余行,等. 影像分割中 Dice 系数和 Hausdorff 距离的比较[J]. 中国医学物理学杂志,2019,36(11):1307-1311.

#### 作者简介

万宏强,博士,副教授,硕士生导师,主要研究方向为机电系统控制。

E-mail:413162931@qq.com