

doi:10.16576/j.ISSN.1007-4414.2023.04.009

# 基于机器视觉的机械加工零件表面微缺陷检测方法\*

张思婉,刘华洲

(郑州铁路职业技术学院,河南 郑州 450002)

**摘要:**为提高微缺陷检测结果精度、提升机械加工零件外观质量,该文引进了机器视觉技术,以某机械生产制造单位为例,设计了一种针对零件表面微缺陷的全新检测方法。根据机器视觉技术的应用需求,搭建了集成工业相机、采集装置、照射光源等为一体的扫描装置,采集零件表面图像;对采集的原始图像进行均值滤波处理,去除图像中可能对缺陷区域的判别造成干扰的因素与噪声;采用阈值分割的方式,提取并划分机械加工零件表面的微缺陷区域;采用提取图像边缘算子的方法,计算零件表面原始图像与待检测图像之间的像素相关性,通过对零件表面微缺陷灰度性质点的匹配,完成检测方法的设计。通过对比实验证明:该方法不仅可以精准检测机械加工零件表面微缺陷,还可以检测到具体的缺陷类别。

**关键词:**机器视觉;灰度性质点;检测方法;微缺陷;表面;机械加工零件

中图分类号: TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1007-4414(2023)04-0031-03

## Machine Vision-Based Detection Method for Surface Micro-Defect of the Machined Parts

ZHANG Si-wan, LIU Hua-zhou

(Zhengzhou Railway Vocational and Technical College, Zhengzhou 450002, Henan, China)

**Abstract:** In order to improve the precision of micro-defect detection results and improve the appearance quality of machined parts, the machine vision technology is introduced in this paper. Taking a mechanical manufacturing unit as an example, a new technical method for micro-defects on the surface of parts is designed. According to the application requirements of machine vision technology, a scanning device integrating industrial camera, acquisition device and illumination light source is built to collect the surface image of parts. The collected original image is processed by mean filtering to remove the interference of relevant factors and noise in the image on identification of the defect areas. The method of threshold segmentation is adopted to extract and divide the micro-defect areas on the surface of machined parts. The method of extracting image edge operator is used to calculate the pixel correlation between the original image of the part surface and the image to be detected, and design of the detection method is completed by matching the gray nature points of the part surface micro-defects. The comparative experimental results show that this method can not only accurately detect the surface micro-defects of machined parts, but also detect the types of defects.

**Key words:** machine vision; grayscale property point; test method; microdefects; surface; machined parts

## 0 引言

在深入机械加工零件的研究中发现,零件在制造时,因材料、加工工艺等原因,产出后的样品表面易出现细微划痕、裂痕等缺陷。此种缺陷不仅会影响机械加工零件的外观,还会对产品的使用造成很大的损害,严重情况下,还会对机械加工零件的后续使用造成一定的安全隐患。现阶段,随着机电设备与机械生产制造设备自动化水平的逐渐提升,手工测试方式已不能满足零件表面缺陷的实时、稳定检测要求<sup>[1]</sup>。基于此,科研单位提出了基于机器视觉的检测技术,根据大量实践发现,此项技术具有非直接接触、高效、精准、可排除干扰等优势,具有取代手工测试、实现高效率自动测试的能力。此项技术现已被广泛应用于机械流水线生产制造等工作中,包括工业产品、农产

品、机械制造产品、零部件等的检测工作中<sup>[2]</sup>。相较于大型产品,机械加工零件对于机器视觉技术应用的要求相对较高。目前大多数零件都是通过外观特点进行识别的,而直接进行外观检测,存在成本高、受客观因素影响大、受环境约束限制多等问题,导致检测工作的实施一直无法达到预期效果。为解决此方面的问题,笔者引进了机器视觉技术,以某机械生产制造单位为例,提出了一种机械加工零件表面微缺陷检测方案。该方案通过重点对机械加工零件表面微缺陷灰度性质点进行匹配,达到零件表面微缺陷精准检测的目的,进而为生产制造企业的缺陷检测提供全新的技术指导。

## 1 基于机器视觉的零件表面图像采集

为实现对机械加工零件表面微缺陷的精准检测,

\* 收稿日期:2023-01-10

作者简介:张思婉(1983-),女,河南南阳人,工程硕士,副教授,研究方向:机械设计制造及其自动化。

开展相关研究前,需先引进机器视觉技术,并进行零件表面图像的采集工作。根据机器视觉技术的应用需求,搭建集成工业相机、采集装置、照射光源等为一体的扫描装置,用于表面扫描<sup>[3]</sup>。此过程如图1所示。

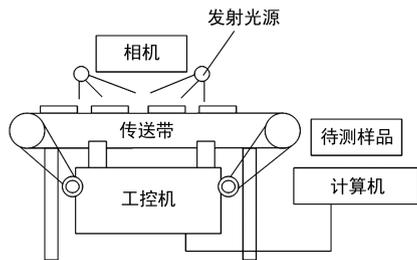


图1 机器视觉扫描装置

根据扫描需求与被测样品的表面颜色,选择荧光灯、LED灯、卤素灯等作为发射光源。在此基础上,对所选的机械加工零件样品进行分析,为更直观地捕捉暗色系零件表面的细微缺陷,提高采集图像整体的对比度,选择6 500~7 500 K的白色LED灯光作为发射光源。在实际应用过程中,选择控制器,寻找合适的光源与零度,并配合打光方式,降低机械加工零件表面的反光现象。按照上述方式,实现对表面图像的采集。

## 2 机械加工零件表面微缺陷区域提取与处理

图像的采集完成后,采用阈值分割的方式,提取并划分机械加工零件表面的微缺陷区域。在此过程中,需要先对采集的原始图像进行均值滤波处理,通过此种方式,去除图像中相关因素与噪声对缺陷区域判别的干扰。此过程如式(1)所列:

$$g(x,y) = \frac{1}{m}f(x,y) \quad (1)$$

式中: $g(x,y)$ 表示完成滤波处理后的表面图像; $m$ 表示均值滤波处理过程中的权值,此次计算取 $m=3$ ; $f(x,y)$ 表示采集的零件表面原始图像。

对完成上述处理后的图像进行网格化分割,提取分割图像中的最大连通域,采集定点坐标,绘制坐标点的最小外接矩阵,对绘制的区域进行填充,生成一个全新的图像区域,此区域的计算如式(2)所列<sup>[4]</sup>:

$$R_2 = R \cap R^c \quad (2)$$

式中: $R_2$ 表示最小外接矩阵填充区域; $R$ 表示原始区域; $R^c$ 表示判别区域。

对 $R_2$ 进行形态学数字化处理,通过采集处理过程中的干扰条件,得到用于划分机械加工零件表面微缺陷区域的判别因子,判别因子计算如式(3)所列:

$$k = (R_2 - H) \times H \quad (3)$$

式中: $k$ 表示用于划分机械加工零件表面微缺陷区域的判别因子; $H$ 表示结构元。设定 $k$ 的相对取值,以

此为依据,完成机械加工零件表面微缺陷区域的提取与处理。

## 3 零件表面微缺陷灰度性质点匹配

在上述设计内容的基础上,可假定采集的零件表面原始图像 $f(x,y)$ 与待检测图像 $f_1(x,y)$ 两者之间的像素均等,在此基础上,采用提取图像边缘算子的方法,掌握图像之间的相关性<sup>[5]</sup>。同时,引进差影法,对图像之间的相似性进行限制与核对,当图像 $f(x,y)$ 与图像 $f_1(x,y)$ 的相似值达到设定的阈值后,将此图像标注为合格图像,反之可以认为图像扫描的机械加工零件存在表面微缺陷。按照上述方式可以初步实现对零件样品缺陷的判定,其中相似度计算公式如式(4)所列:

$$R = \frac{\sum_a \sum_b [f_1(x,y) \times f(x,y)]}{\left\{ \sum_a \sum_b [f(x,y)] \right\}^2} \quad (4)$$

式中: $R$ 表示相似度计算结果; $a$ 表示图像设置系数; $b$ 表示图像实际系数。

为提高计算结果的精度,需要对系数进行归一化处理,通过此种方式,实现对零件表面微缺陷灰度性质点的高精度匹配,降低在微缺陷识别过程中,灰度值与照射光源对检测结果的影响。系数归一化处理计算公式如式(5)所列:

$$R = \frac{\sum_a \sum_b [f_1(x,y) \times f(x,y)]}{\left\{ \sum_a \sum_b [f(x,y)] \right\}^2 \times \left\{ \sum_a \sum_b [f_1(x,y)] \right\}^2} \quad (5)$$

完成上述处理后,再提取机械加工零件表面微缺陷区域。选择图像不同区域的色彩,按照公式,进行图像的割断处理。处理过程中,根据原始图像的清晰度,对其进行强化处理,即将图像转化为一种便于自动分析和识别的格式,使用背景灰度反演法,对每个像素灰度进行比例变换,实现被检测对象的灰度正向化,完成对灰度区域的插补。在此基础上,将插补后的结果进行增益放大,消除因光照、温差、相机位置等原因而产生的黑点或亮点。重复上述步骤,使用完成归一处理后的系数将其与原始图像进行比对,得到表面微缺陷点,以此完成对机械加工零件表面微缺陷的检测。

## 4 对比实验

文中引进了机器视觉技术,从三个方面完成了微缺陷检测方法的设计。为测试该方法的实际效果,下述将以某地区大型机械零件生产加工制造企业为例,按照文中设计的方法,展开对比实验。

实验开始前,选择该企业若干个已完成生产加工

制造的机械零件作为实验样品,此批次产品中有大量存在表面微缺陷的零件,采用人工检测方法对样品进行检测,不仅难度较高且检测结果精度较差,根本无法满足企业对外宣传的高质量生产要求。为解决此方面问题,根据本文设计方法在实际应用中的需求,以数控机床机械加工零件为实验对象,搭建测试环境。实验对象如图2所示。



图2 实验对象

按照表1所列的内容,进行实验环境中设备技术参数的设计与软件工具的选择。

表1 实验环境中设备技术参数的设计与软件工具的选择

序号	项目	参数
1	工业相机	MV-CA050-10GC(海康威视公司提供)
2	工业相机镜头	MVL-MF1200M-5MP
3	图像采集卡	MV-GE1004
4	计算机处理器	Intel Core i9-10400F
5	CPU	@ 2.90GHz
6	运行内存	16GB
7	计算机硬盘容量	1TB
8	编译环境	Visual Studio 2019
9	上位机软件	OpenCV

完成上述内容的设计后,选择存在孔洞、裂纹、崩烂、起层、磨损微缺陷的机械加工零件作为测试样品。在使用本文方法进行零件检测时,需要引进机器视觉技术,扫描零件、采集零件表面图像。在此基础上,提取机械加工零件表面微缺陷区域,按照规范进行缺陷数据的处理,并通过对零件表面微缺陷灰度性质点的匹配,完成对批次样品的检测。为满足实验结果的对比性需求,引进基于HSV颜色空间的检测方法与基于改进Faster R-CNN的检测方法,将这两种方法记为传统方法1与2,根据不同方法的操作规范,使用对应的方法进行对应批次产品的表面微缺陷检测。统计检测结果,将其作为对比实验的最终结果,相关内容如表2所列。

表2 机械加工零件表面微缺陷检测结果

序号	缺陷	样品数量 /个	本文方法 /个	传统方法1 /个	传统方法2 /个
1	孔洞	56	55	52	50
2	裂纹	58	59	64	49
3	崩烂	29	29	17	26
4	起层	64	64	56	60
5	磨损	17	17	15	14

从表2所列的实验结果可以看出,相比传统的检测方法,本文设计的基于机器视觉的检测方法在实际应用中的精度更高,该方法不仅可以精准检测机械加工零件的表面微缺陷,还可以检测到缺陷类别。此种方式可为机械制造企业的高质量生产与加工提供技术帮助。

## 5 结语

随着工业的发展与工业化生产作业的持续推进,机械加工零件的应用范围越来越广泛。为确保工业生产达到预期的质量要求,工业生产与机械加工零件在产出后通常需要经过多道工序的试验检验。由于机械加工零件的生产制造通常为大批量作业,因此在保证高精度的前提下,如何提高零件的自动化检测、提高检测速度与效率,是当前工业生产制造单位的关注重点。为落实此项工作,本文通过零件表面图像采集、机械加工零件表面微缺陷区域提取与处理、零件表面微缺陷灰度性质点匹配,引进机器视觉技术,完成了检测方法的设计。旨在通过此次设计,为机械加工生产制造企业的发展提供全面的技术指导。

## 参考文献:

- [1] 庞宁雅,杜安钰.基于YOLOV5s\_Attention的表面缺陷检测的应用研究[J].现代电子技术,2023,46(3):39-46.
- [2] 邱刚,陈杰,张迺龙,等.基于YOLOv3和HSV颜色空间的绝缘子低/零值故障诊断研究[J].高压电器,2023,59(1):148-153.
- [3] 徐曙,陈潇,张成巍,等.基于改进EPF-Watershod耦合算法的高压电网压电陶瓷表面缺陷检测[J].陶瓷学报,2022,43(6):1113-1122.
- [4] 赵洲峰,赵志勇,邹君文,等.基于声振信号组合特征的随机森林模型及其在绝缘子故障识别中的应用[J].广东电力,2022,35(12):93-100.
- [5] 唐嘉鸿,黄颀,田春岐.基于改进Faster R-CNN的航空发动机制件表面缺陷检测算法[J].机床与液压,2022,50(23):93-98.