

# 基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷检测系统研究

刘凯<sup>1</sup>, 王伟华<sup>1</sup>, 张勇<sup>2</sup>, 朱天明<sup>1</sup>

(1. 南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016; 2. 扬州振永工业技术发展有限公司, 江苏 扬州 225002)

**摘要:**针对笔芯球珠表面缺陷检测识别问题,设计并实现了基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷检测系统。笔芯球珠在球面展开机构作用下,通过图像采集模块获取5张可以完全覆盖整个球面的图像。通过对每幅图像进行缺陷图像提取后,采用基于轮廓角点匹配的方法实现对每幅图像中缺陷图像的拼接;基于提取的有效特征组合通过KNN分类算法对完整的缺陷图像进行缺陷识别。试验结果表明,该方法能够对笔芯球珠表面缺陷进行精确有效的检测与识别。

**关键词:**笔芯球珠;机器视觉;表面缺陷;图像处理

中图分类号:TP23; TP391.4 文献标志码: 文章编号:1671-5276(2019)04-0156-03

## Research on Detection System for Surface Defects of Refill Ball Based on Machine Vision

LIU Kai<sup>1</sup>, WANG Weihua<sup>1</sup>, ZHANG Yong<sup>2</sup>, ZHU Tianming<sup>1</sup>

(1. College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China; 2. Yangzhou Zhenyong Industrial Technology Development Co., Ltd., Yangzhou 225002, China)

**Abstract:** To detect the surface defects of refill ball, this paper designs a detecting system for its surface defects based on machine vision. Under the effect of the spherical unfolding module, five images which can entirely cover the whole ball surface are obtained by image acquisition module. The defect image extracted from the 5 images is mosaiced based on contour. Then, based on the combination of the extracted effective features, the whole defect image is identified by KNN classification algorithm. The experimental result shows that the method can be used to detect and recognize the ball surface defects accurately and effectively.

**Keywords:** refills ball; machine vision; surface defects; image processing

## 0 引言

笔芯球珠作为圆珠笔芯的关键零件,其表面缺陷直接影响笔芯的书写性能<sup>[1]</sup>。目前国内生产笔芯球珠的厂家大多采用人工抽检的方法,由于笔芯球珠直径较小(0.2 mm~2 mm),检测人员需通过显微镜对球珠表面进行观察,判断球珠表面是否存在缺陷<sup>[2]</sup>。该方法劳动强度大,检测效率低,检测结果易受检测人员素质和经验影响,且由于采用抽检方式,无法保证所有球珠的质量。因此,对笔芯球珠表面缺陷检测技术的研究具有非常重要的理论和实用价值。

生产过程中常见缺陷球珠表面缺陷主要分为裂缝缺陷、洞缺陷、削皮缺陷,如图1所示。

## 1 基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷检测系统

本文设计的基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷检测系统包括:笔芯球珠自动上下料、球面展开图像采集、球面缺陷图像提取、缺陷图像拼接及缺陷识别等。系统检测流程如图2所示。

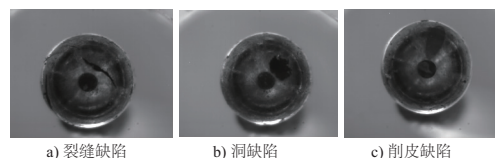


图1 球珠缺陷

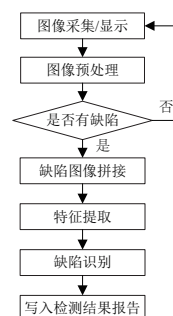


图2 基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷检测流程

### 1.1 图像预处理

a) 球面图像校正

基金项目:江苏省自然科学基金(BK20151470)

作者简介:刘凯(1981—),男,江苏淮安人,副教授,博士,研究方向为仿生机器人、数控技术、机电控制及其自动化。

相机所获得的球珠图像是基于笛卡儿坐标系下的投影图像,球珠表面缺陷图像的大小及形状会随球珠转动的位置而变化。故本文将球珠表面投影图像转换到球面弧长坐标系中。如图3所示,新坐标系 $xl$ 轴长度定义为平行于原坐标系 $yOz$ 平面且过球面上点 $P$ 的平面与球面相交产生的圆上劣弧的长度; $yl$ 轴方向长度定义为平行于原坐标系 $xOz$ 平面且过球面上点 $P$ 的平面与球面相交产生的圆上劣弧的长度。

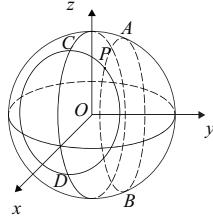


图3 球面投影坐标转换至球面弧长坐标系

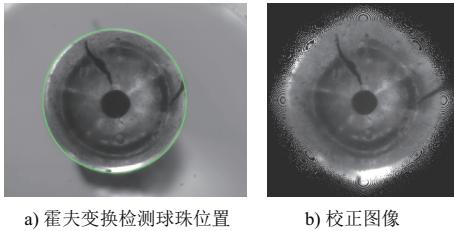
坐标系变换关系如下式:

$$\begin{cases} xl = \sqrt{r^2 - y^2} \arcsin \frac{x}{\sqrt{x^2 - y^2}} \\ yl = \sqrt{r^2 - x^2} \arcsin \frac{y}{\sqrt{x^2 - x^2}} \end{cases} \quad (1)$$

则变换后新图像的尺寸 $L$ 为:

$$L = \pi r \quad (2)$$

本文首先通过霍夫圆变换检测球珠在图像中的位置及球珠在图像中的大小,如图4a)所示。图像进行校正后图像如图4b)所示。由于校正后图像边缘存在模糊现象,将以图像中心为圆心, $0.75L$ 为直径以外的图像区域信息删除,如图5所示。



a) 霍夫变换检测球珠位置 b) 校正图像

图4 球珠的检测图像

#### b) 图像增强

由于球面缺陷图像整体较暗,对比度较差,直接进行缺陷区域图像提取难度较大,采用灰度变换方式提高缺陷图像的对比度。增强后效果如图6所示。由图中可以看出图像对比度得到很大的提升。

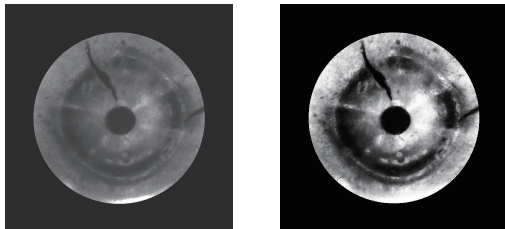


图5 校正图像可信区域 图6 图像增强效果

#### c) 基于区域生长的球面图像缺陷提取算法

在图像采集过程中,由于试验装置及光源的影响,球珠表面图像会有圆环状阴影,对缺陷区域提取结果造成较大的干扰。本文通过设置如图7所示掩码图像对其进行区分,图中黑色区域代表忽略区域,白色区域表示参与运算区域。

在缺陷区域提取过程中,首先通过最大类间方差法<sup>[3]</sup>确定缺陷的初始位置。由于掩码图像的原因,自动阈值提取的缺陷区域可能会在不同程度上被掩码图像截断,如图8所示。为防止将缺陷误分为两种缺陷,需要对被分割开的缺陷区域进行联通恢复,由于同一缺陷区域的像素具有相似性,故选择区域生长算法实现缺陷区域的联通。

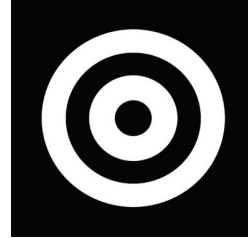


图7 掩码图像

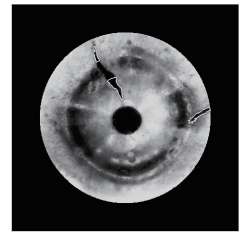


图8 掩码图像作用下提取的缺陷图像区域

1) 种子点选取:将阈值后的缺陷区域质心位置的原始图像点作为种子点。若图像质心的像素值与该区域像素均值之差小于所设定的阈值,则将质心点像素设为种子点;否则以图像质心为中心,查找与均值之差符合阈值的点作为种子点。设置该区域的标准差为种子点选取阈值。

2) 生长准则:将相邻像素值灰度与种子点灰度作差,若其绝对值符合所设定的阈值 $T$ ,将其添加到生长区域中。

$$|f(x, y) - f(x_0, y_0)| \leq T \quad (3)$$

其中阈值 $T$ 为阈值提取的缺陷区域的标准差。

3) 终止条件:一直到图像中没有符合生长准则的像素点为止。

基于区域生长的缺陷融合算法效果如图9所示。

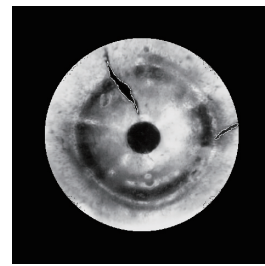


图9 基于区域生长的缺陷区域提取

## 1.2 球珠表面缺陷图像拼接

在球珠表面图像获取的过程中,单幅图像得到的缺陷图像可能并不完整,需要对单次检测过程中获取的每张图像中的缺陷图像进行拼接操作,防止将不完整的缺陷图像输入到后续的缺陷分类模块中去。

对于所提取的缺陷图像,通过观察分析其轮廓特征最为明显,故采用基于轮廓特征的匹配算法。

首先通过Harris角点检测算子<sup>[5]</sup>得到轮廓特征点,再通过各特征点间的欧式距离进行轮廓特征点粗匹配。欧式距离定义如下:

$$Dis_{ij} = \sqrt{\sum_{k=0}^n (X_{ik} - X_{jk})^2} \quad (4)$$

其中: $X_{ik}$ 、 $X_{jk}$ 分别为图像 $I_1$ 中的第 $i$ 个特征向量和图像 $I_2$ 中的第 $j$ 个特征向量的第 $k$ 个分量, $n$ 为特征向量中元素个数。

利用欧式距离匹配法得到的匹配点可能会存在错误匹配的情况,故采用RANSAC算法剔除错误匹配点对,保证轮廓拼接的可靠性<sup>[6-7]</sup>。

对于待融合的两幅缺陷图像,为保证融合后的图像没有明显的拼接线,采用线性加权法确定融合区域像素点值。

## 2 球面缺陷识别

球珠表面缺陷识别采用算法为K最邻近分类算法(KNN)。该算法首先获取各类缺陷图像作为训练样本,在检测过程中,通过计算实际得到的缺陷图像的特征描述与训练样本特征描述的欧式距离,取与该缺陷图像距离最近的 $k$ 个样本,将 $k$ 个样本中数量最多的类别作为该新样本的标记。

由于球珠表面缺陷大小是随机的,所选用的特征描述需要其不随尺寸大小变化而变化,故选用形状复杂度、矩形度、长宽比及圆形度作为缺陷识别的特征描述。特征计算公式如表1所示。其中 $P$ 和 $A$ 分别为轮廓周长及轮廓面积, $A_{MER}$ 为缺陷区域最小外接矩形的面积, $l$ 和 $w$ 分别为最小外接矩形的长度和宽度, $A_C$ 为缺陷区域最小外接圆的面积。

表1 特征量计算公式

| 特征    | 公式                        |
|-------|---------------------------|
| 形状复杂度 | $S = \frac{P^2}{A}$       |
| 矩形度   | $R = \frac{A_0}{A_{MER}}$ |
| 长宽比   | $r = \frac{l}{w}$         |
| 圆形度   | $C = \frac{A}{A_C}$       |

## 3 试验结果与分析

系统试验平台如图10所示。

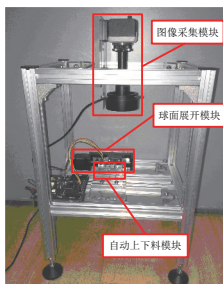


图10 基于机器视觉的笔芯球珠表面缺陷系统试验平台

在缺陷验证试验中,使用90个训练样本,包括裂缝缺陷、洞缺陷及削皮缺陷各30个;测试样本45个,包括3种缺陷类型的球珠各15个,共135个缺陷球珠作为试验样本。试验过程中 $k$ 取7。测试结果如表2所示。

表2 缺陷识别试验结果

| 样本 | 识别缺陷 |    |    |          |
|----|------|----|----|----------|
|    | 裂缝   | 洞  | 削皮 | 总正确率/(%) |
| 裂缝 | 14   | 1  | 0  | 93.3     |
| 洞  | 0    | 14 | 1  | 93.3     |
| 削皮 | 0    | 0  | 15 | 100      |

试验结果表明,KNN算法训练出来的分类器对球珠表面缺陷的识别准确率达到95.5%。改变变量 $k$ 的值、修改算法随机选取训练样本、改变训练样本数目,都会对KNN算法的准确率产生影响。

## 4 结语

本文设计了一种基于机器视觉的笔芯球珠表面检测系统。该方法首先通过球面展开机构及工业相机获取可以完全覆盖球珠表面的5幅图像,通过对5幅图像分别进行预处理操作得到每幅图像中的缺陷图像,通过图像拼接得到球珠表面完整的缺陷图像后输入到KNN分类器中进行缺陷识别。试验结果表明该系统对缺陷识别准确率达到95.5%,满足球珠生产过程中的检验要求,具有工程应用价值。

### 参考文献:

- [1] 徐秀娟. 圆珠笔用碳化钨球珠表面状态及其主要影响因素[J]. 中国制笔, 1994(3): 7-10.
- [2] 郭霞. 大中国的“小圆珠”之痛[J]. 商周刊, 2016(5): 38-40.
- [3] 王磊, 段会川. Otsu方法在多阈值图像分割中的应用[J]. 计算机工程与设计, 2008, 29(11): 2844-2845.
- [4] Otsu N. A threshold selection method from gray-Level histogram[J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 1979, 9(1): 62-66.
- [5] Harris C, Stephens M. A Combined Corner and Edge Detection[C]. In: Proc. 4th Alvey Vision Conf., 1988: 189-192.
- [6] 曹晓光, 徐琳, 郁文霞. 基于角点检测的高精度点匹配算法[J]. 仪器仪表学报, 2006, 27(6): 1269-1271.
- [7] MA Fischler, RC Bolles. Random sample consensus: A paradigm for model fitting with applications to image analysis and automated cartography[J]. Communications of the ACM, 1981, 24(6): 381-395.

收稿日期: 2018-03-01