

空心圆柱端面缺陷的快速视觉检测

宋乐 林玉池 何冬 刘启海 赵美蓉

(天津大学精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘要 提出了一种用于空心圆柱端面缺陷快速检测的新方法。为适应不同尺寸工件以及工件不同端面的几何特征,采用入射角可变的矩形LED阵列作为光源,通过CCD进行图像采集并进行适当的预处理,约化图像中的有用信息以提高检测效率。工件端面检测采用优化的Hough变换法实现标准圆拟合,通过计算实际像素点至拟合圆的径向偏移量以获得缺陷像素点,实现端面缺陷定量评价。实验结果表明,该方法具有较高的检测速度与精度,可用于空心圆柱等小尺寸工件端面质量的在线检验,提高现有的生产线效率。

关键词 视觉检测 空心圆柱 Hough变换 端面缺陷 小尺寸

中图分类号: TP391.41 文献标识码: A 文章编号: 1006-8961(2009)10-2137-04

Rapid Visual Detection for Hollow Cylinder Top Surface Defects

SONG Le, LIN Yu-chi, HE Dong, LIU Qi-hai, ZHAO Mei-rong

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology and Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072)

Abstract A new method for undersized part surface defect detection is proposed. In order to meet workpieces with different sizes and different surface geometry characteristics, we use the rectangular LED array with variable incidence angle as the light source. The original facing image is captured with CCD and treated with a series of pre-processing procedures. Then optimized Hough transform is adopted to fit circle rapidly for end face detection. Radial offsets from pixel point to fitted standard circle are calculated to acquire defected pixel points and then realize the quantitative evaluation for the end face defect. Experimental results show that this method can realize on-line detection of undersized part surface quality promptly and accurately as to improve the efficiency of existing production lines.

Keywords visual detection, hollow cylinder, Hough transform, top-surface defect, undersized

1 引言

在当前的工业生产过程中,机器视觉检测方法具有高速度、高精度和高可靠性等优点,可大大提高生产效率与自动化程度。近年来,国内外在视觉检测领域进行了广泛的研究^[1],相关成果已取得了一定程度的应用。然而,机器视觉技术尚未达到成熟阶段,往往存在仪器结构复杂,实时性不强等缺点,

尤其在小尺寸工件检测方面,与人眼视觉判别相比仍处于较低水平,尚需进行不断完善。

空心圆柱是小尺寸工件中的典型件,其外形包含圆、矩形等多种几何体,具有一定的代表性。以空心圆柱作为滚动体的圆柱滚子轴承是机床主轴轴系中的主要部件之一,其端面质量缺陷直接影响着轴承的工作安全。因此,基于机器视觉技术,以空心圆柱为例,给出了一种工件端面缺陷的新型检测方法。

基金项目:国家自然科学基金项目(60874106)

收稿日期:2009-06-22;改回日期:2009-07-21

第一作者简介:宋乐(1981~),男,讲师。2008年于天津大学获测试计量技术及仪器工学专业博士学位。主要研究领域为机器视觉算法及检测技术。E-mail: songle@tju.edu.cn

2 系统总体结构

检测系统由工作台、光源、图像传感器、图像采集卡、计算机及相关处理程序等组成。被测工件被安放于玻璃工作台上的指定位置,即 CCD 图像传感器的正下方。由于不同圆柱端面具有不同几何特

性,采用入射角可变的 LED 光源,以对各端面提供均匀的光照条件。工作台下的底面光源可进一步加强图像的对比度。如图 1 所示,被测工件的图像信息由 CCD 传感器接收后,经图像采集卡传输至计算机。计算机通过基于 Visual C++ 平台开发的图像实时处理算法,实现对工件端面缺陷的快速检测,并将检测结果进行显示。

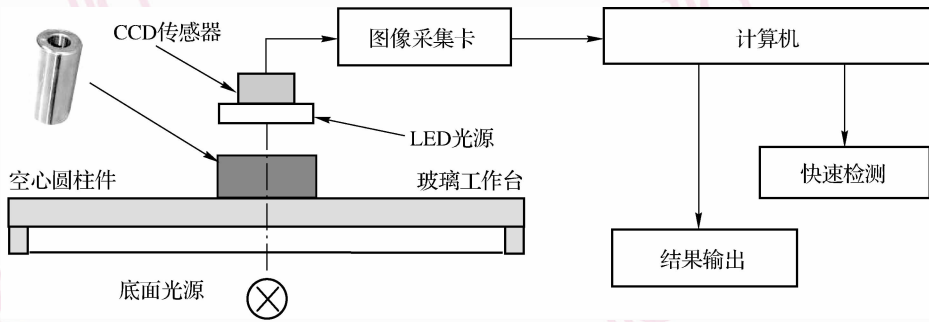


图 1 系统结构示意图

Fig. 1 System configuration sketch

3 视觉检测算法及其实现

对于空心圆柱工件,端面视图为一圆环面,如图 2 所示。在均匀光照下,圆环之间的金属表面图像应呈现为较为均匀的白色高亮状态,即像素灰度值相对较高;当端面存在残损或划痕时,缺陷处在光照下会产生局部阴影而在图像上呈现深色,即像素灰度值相对较低。因此,通过对图像灰度值进行分析,即可得到工件的检测结论。

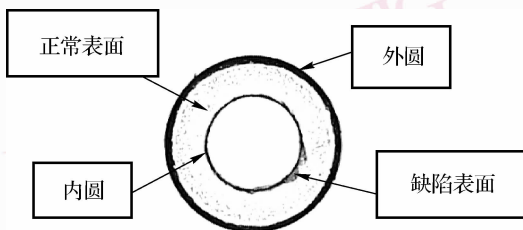


图 2 原始灰度图像

Fig. 2 Original grey scale image

针对端面图像的特征,将其分为内圆与外圆两个区域分别进行检测,结合一系列图像处理算法,以做出最终的判断。图 3 给出了端面的检测流程。

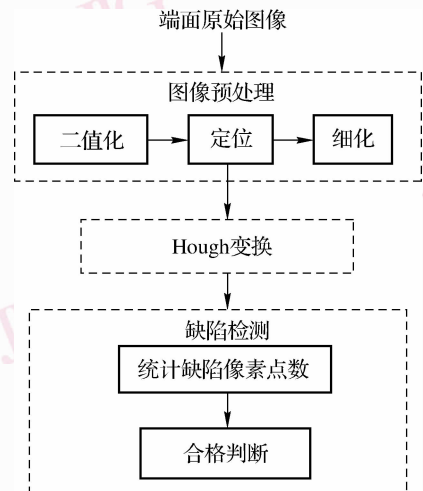


图 3 端面检测流程图

Fig. 3 Top-surface detection flow chart

3.1 图像的预处理

预处理的作用是突出图像中的有用信息,以便进行后续处理。首先通过二值化将图像中的干扰信息去除,由于被测对象与背景的灰度值相差较大,因此本文采用最大方差比法^[2],动态生成最佳二值化阈值,克服基于固定阈值的二值化无法适应环境光照变化的缺点,如图 4(a)所示。此后,再利用投影定位法^[3],通过统计端面圆环在不同方向的像素投影,确定圆环外边界在原图中的准确坐标值,即确定

包含端面的矩形区域。由工件的已知几何关系即可实现内圆与外圆的分割,如图 4(b)所示。另外,端面缺陷点大小的随机性会造成图像中反映缺陷的黑色像素点粗细不均,此处使用图像细化算法^[4]提取图像骨架,同时保持图像细小部分的连通性,从而将图像约化为一组单像素特征点集,在保留原有图像重要特征的同时,消除了冗余信息,如图 4(c)所示。

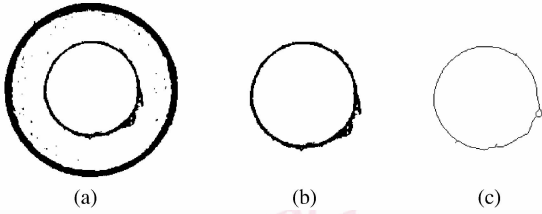


图 4 图像预处理效果图
Fig. 4 Image pre-processing results

3.2 基于优化 Hough 变换的圆拟合

端面图像经过预处理,可获得内、外圆的细化图像。以内圆为例,判定其合格与否,可通过将其与标准圆的比较来进行。鉴于工件尺寸与位置的不确定性,采用拟合的手段,动态获取适合被测工件的标准圆。

目前,在针对给定像素的圆拟合方法当中,以 Hough 变换法为最有效方法之一^[5]。Hough 变换的基本原理在于利用点与线的对偶性,将原始图像空间中给定的曲线通过曲线表达形式变为参数空间的一个点^[6]。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题。也即把检测整体特性转化为检测局部特性。

假设在图像平面确定一个圆周。令 $\{(x_i, y_i) \mid i = 1, 2, 3, \dots, n\}$ 为图像中要确定的圆周上点的集合,而 (x, y) 为集合中的一点,它在参数坐标系 (a, b, r) 中的方程为

$$(a - x)^2 + (b - y)^2 = r^2 \quad (1)$$

对于图像中任意确定的一点,均有参数空间一个 3 维的锥面与之对应。对于圆周上的任何点集合 $\{(x_i, y_i)\}$, 这些 3 维锥面构成圆锥面簇。若集合中的点在同一个圆周上,则这些圆锥簇相交于参数空间上某一点 (a_0, b_0, r_0) , 这点恰好对应于图像平面的圆心坐标及圆的半径。

Hough 变换在计算上将参数空间进一步分割为累加器单元 $A_{(i,j,k)}$, 并将其置零; 根据式 (1) 对参数做相应的循环, 如果一个 a_0 值得到相应的 b_p, r_q , 就

令 $A_{(0,p,q)} = A_{(0,p,q)} + 1$; 然后对每个累加器进行比较, 找到值最大的累加器, 该累加器所对应的参数值 (a, b, r) 就是在 X-Y 平面上所要求的圆心及半径。

待测圆柱工件的外径 $D = 2 \text{ mm}$, 内径 $d = 1 \text{ mm}$, 长度 $l = 6 \text{ mm}$ 。在现有 Hough 变换的基础上, 结合零件尺寸先验知识数据库, 对拟合圆半径步长、角度步长和半径范围等参数值进行了优化。设半径步长为 1 个像素, 角度步长为 0.1° , 半径范围设为 50 ~ 70 像素, 并将拟合阈值设为 0.999, 由此提高了拟合算法的速度和准确度。

3.3 缺陷检测判定规则

检测某区域是否超出预定合格范围, 可计算细化图像中每个像素点到拟合标准圆的径向偏移量。坏点判断采用逐点扫描的方式确定点坐标 (x, y) , r_{\max} 与 r_{\min} 分别为合格范围的最大和最小半径, 如果 (x, y) 距圆心的距离 r 有 $r_{\min} < r < r_{\max}$, 则像素点合格, 否则判断为坏点。通过对已知合格与否的大量工件进行人为检测, 归纳统计数据, 进而确定机器视觉缺陷点合格标准, 将其作为端面合格的判断依据。外圆检测方法与内圆基本类似, 只需对相应几何参数值进行调整即可。

4 实验与分析

选取 10 组空心圆柱件, 利用本文方法与人工判定结论进行对比, 结果如表 1 所示。其中, 检测区域为 ± 2 像素范围, 内、外圆合格标准分别为缺陷点数低于 30, 50, 平均检测周期为 50ms/件。判别结果合格用 Y 表示, 不合格用 N 表示。

表 1 识别结果对比实验数据
Tab. 1 Comparative experimental results

序号	内圆检测			外圆检测		
	坏点	人工	自动	坏点	人工	自动
1	1	Y	Y	2	Y	Y
2	10	Y	Y	7	Y	Y
3	234	N	N	2	Y	Y
4	379	N	N	43	Y	Y
5	23	Y	Y	95	N	N
6	8	Y	Y	194	N	N
7	14	Y	Y	19	Y	Y
8	29	Y	Y	51	Y	N
9	27	Y	Y	24	Y	Y
10	6	Y	Y	7	Y	Y

由表 1 可见,机器视觉检测结果与人眼结论基本一致。第 8 组中将合格外圆误判为不合格,其原因是由于合格标准值选取过小,可通过重新设定标准阈值或自适应阈值,以获得更加准确的识别结果。后经大量实验数据验证,该检测系统的误判率约为 0.83%,未发现漏判。经分析,误判的原因为外界光照条件变化引起,因此有必要改进现有的光源设计,以利于系统的进一步完善。

5 结 论

本文给出了一种基于机器视觉的空心圆柱工件端面缺陷检测系统,采用多种预处理算法及优化的 Hough 变换法,实现了端面缺陷的定量评价。实验数据表明,该方法具有较高的检测速度与检测精度,为小尺寸工件快速检测提供了有效的途径。

参考文献 (References)

- 1 Golnabi H, Asadpour A. Design and application of industrial machine vision systems [J]. *Robotics and Computer-integrated Manufacturing*, 2007, **23**(6): 630-637.
- 2 Guo Jian-xing, Liu Song-lin, Ni Li, *et al.* An improved image segmentation algorithm based on the otsu method [J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2005, **26**(8): 665-666. [郭建星, 刘松林, 倪丽等. 一种改进的基于最大类间方差的图像分割方法 [J]. *仪器仪表学报*, 2005, **26**(8): 665-666.]
- 3 Ye Xue-yi, Zhuang Zhen-quan, Yao Peng, *et al.* Iris localization based on two-dimensional projection [J]. *Journal of Image and Graphics*, 2005, **10**(3): 305-309. [叶学义, 庄镇泉, 姚鹏等. 基于 2 维投影的虹膜定位 [J]. *中国图象图形学报*, 2005, **10**(3): 305-309.]
- 4 Pratihari Sanjoy, Bhowmick Partha. A thinning-free algorithm for straight edge detection in a gray-scale image [A]. In: *Proceedings of the 7th International Conference on Advances in Pattern Recognition (ICAPR09)* [C], Calcutta, India, 2009: 341-344.
- 5 Cauchie Julien, Fiolet Valérie, Villers Didier. Optimization of an Hough transform algorithm for the search of a center [J]. *Pattern Recognition*, 2008, **41**(2): 567-574.
- 6 Bewes J M, Suchowerska N, McKenzie D R. Automated cell colony counting and analysis using the circular Hough image transform algorithm (CHiTA) [J]. *Physics in Medicine and Biology*, 2008, **53**(21): 5991-6008.