

[自控·检测]

DOI:10.3969/j.issn.1005-2895.2019.01.014

# 基于形态学的双螺孔自动检测技术

杨雪, 陈永清, 郭建亮, 程晓民, 陈廉清

(宁波工程学院材料与化学工程学院, 浙江宁波 315211)

**摘要:**为满足双螺孔准确、高速和客观的实时检测要求,搭建图像采集系统采集待检产品图像,研究了基于数字图像处理的视觉检测系统实现的关键技术。针对需同时检测双孔是否为螺孔及是否有烂牙和螺孔小径尺寸是否在公差范围内等多个检测特征,通过对图像依次作形态学预处理、最大类间方差阈值法分割,应用设定检测区域、图像比较和区域描述技术对螺孔进行分析,并定义检测目标的灰度值、像素个数作为螺孔特征识别的主要依据。开发了机器视觉自动检测系统,包括视觉检测软件及图像采集机构,试用结果表明该系统能准确实现双螺孔的自动检测,系统能满足检测的实时性与准确性要求。

**关键词:**图像处理;双螺孔;形态学;方差阈值法;特征识别

中图分类号:TP274.5 文献标志码:A 文章编号:1005-2895(2019)01-0074-04

## Automatic Detection Technique of Dual Screw Holes Based on Morphology

YANG Xue, CHEN Yongqing, GUO Jianliang, CHENG Xiaomin, CHEN Lianqing

(School of Materials and Chemical Engineering, Ningbo University of Technology, Ningbo, Zhejiang 315211, China)

**Abstract:** For meeting the requirement of precise, high-speed and objective real-time inspection of the double screw holes, an image acquisition system was constructed to collect the product images to be inspected, during which the key technology for visual inspection system realization was studied. Due to the multiple inspection characteristics of double screw holes including the screw thread existence, the rotten tooth existence, and the size tolerance of small diameter, the image was processed through the morphology pretreatment and the maximum between-cluster variance threshold value method segmentation. The inspection zone, image comparison, and region description technology were used to analyze the screw hole. The gray value and pixels quantity were adopted as the main proof of screw hole characteristic recognition. A machine vision automatic inspection system was developed with the visual inspection software and the image capture mechanism. The test result shows that the dual screw holes can be successfully inspected using the proposed system.

**Keywords:** image processing; dual screw hole; morphology; variance threshold value method; characteristic recognition

螺纹连接是设备、仪器和工具等最常见的连接方式。在普通螺纹连接中,内螺纹的质量对连接的可靠性和工作性能甚至正常功能的发挥都起着至关重要的作用<sup>[1]</sup>。普通内螺纹质量检测,常用的检测仪器为螺纹塞规<sup>[2]</sup>。螺纹塞规检测螺纹方法为旋入式,由于检测每一个螺孔,塞规都要旋入旋出一次,耗时极多。双螺孔法兰大批量生产时,每件需检测2次,螺孔孔检

测工序成为生产“瓶颈”,严重制约了生产效率。法兰螺孔采用丝锥加工的工艺,中径的尺寸误差通常会引引起小径误差,测量小径简单方便,故可由测量小径尺寸替代中径的尺寸测量。目前,生产现场对高效的螺孔检测技术、设备有迫切需求。国内、外这方面的研究成果主要有:①利用量球代或量针对内螺纹进行测量的接触测量法;②基于光纤位移传感器的内螺纹参数非

收稿日期:2018-08-15;修回日期:2018-11-10

基金项目:国家自然科学基金资助项目(51275251);浙江省自然科学基金(LY14E050003);宁波市自然科学基金(2015A610149);宁波工程学院2015年度自制教学仪器设备项目。

第一作者简介:杨雪(1998),女,湖北随州人,本科,主要研究方向为计算机视觉技术、机电一体化技术。E-mail:1606354969@qq.com

接触测量方法;③基于成像原理对数据镜像采集及分析,从而对内螺纹进行模拟和拟合的激光三角测量法,和利用棱镜与万能工具显微镜进行配合来测量内螺纹的光截法为主要原理的影像法等非接触测量法<sup>[3]</sup>。这些研究成果还远远不能满足工程需要。因此,为满足高效、准确的检测要求,针对法兰螺孔的检测现状,研发基于计算机视觉的法兰双螺孔自动检测系统意义重大。课题组将计算机视觉和数字图像处理技术应用于大批量生产的法兰双螺孔自动检测,自动检测是否螺孔及测量螺孔小径尺寸是否合格;并统计检测数量、不合格数等检测数据以及对检出的不合格产品作声光报警。

### 1 双螺孔检测系统组成

本系统需要测量2个螺孔的小径尺寸及检测是否螺孔。测量1个螺孔小径尺寸需要配置1个摄像机,摄像机、镜头轴心线与螺孔中心线对齐,竖直置于螺孔正上方,采用平板光源背光照明方式;为了保证待检工件足够的取放空间及成像质量,选定合适的物距。检测是否螺纹,可用1个摄像机同时检测2个孔,摄像机、光源均与螺孔中心线倾斜成一定角度安装,采用平板光源正向照明方式。

系统主要硬件包括分辨率为2 048 × 1 536 摄像机3个、M0814-MP 镜头1个、M7528-MP 镜头2个、1394 图像采集卡2块、白色平板 LED 光源3个,故障警报灯1个,工控机(含显示器)1台和音频输出开关控制板1块等。

双螺孔自动检测系统结构如图1所示。

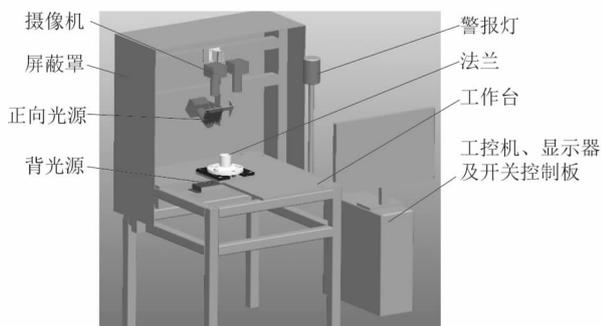


图1 检测系统结构

Figure 1 Detection system structure

3个摄像机按顺序先后采集图像,程序系统依照设计好的算法读取图像并分别处理。本系统采集到的螺孔图像质量高,螺孔与背景的对比明显,特别是螺纹区域高亮清晰显示,满足后续图像处理的需要。螺孔、

小径源图像如图2所示。

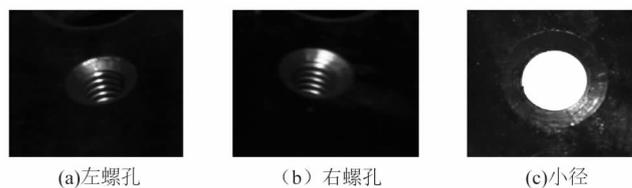


图2 源图像

Figure 2 Source image

## 2 自动检测系统开发

源图像为灰度图像,受工况等客观条件的影响,存在较多噪声,必须首先对源图像进行预处理,消除噪声干扰<sup>[4]</sup>。系统开发软件采用NI的LabVIEW。

### 2.1 螺孔检测

#### 2.1.1 螺孔图像预处理

2个螺孔采用相同的算法,分别处理。

##### 1) 形态学闭操作预处理

形态学中的闭操作常用于除去图像中的暗细节部分,相对地保留明亮部分;可以融合窄的缺口和细长的方口,填补图像的裂缝及破洞,起着连通补缺作用<sup>[5-7]</sup>。

设  $f$  为输入图像函数,  $b$  为结构元素,其定义域分别为  $D_f, D_b$ , 则闭操作有:

$$f \cdot b = (f \oplus b) \ominus b \quad (1)$$

对内螺纹源图像应用闭操作处理,结果如图3所示,图像质量得到极大提高。

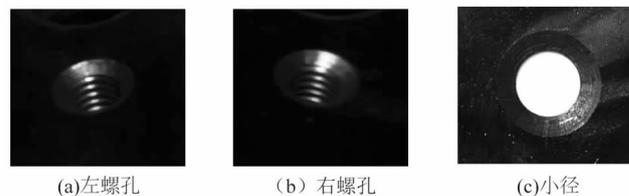


图3 闭操作处理

Figure 3 Close operation

##### 2) 图像分割

因为摄像机、光源与螺孔倾斜一定角度,螺纹特征在图像中高亮显示;而光孔图像则是灰暗的。最大类间方差阈值法是阈值自动选择的最优方法,课题组选择最大类间方差法求最佳阈值,以螺纹特征为检测目标,对图像进行二值化处理,把图像分割为螺纹特征亮区域与背景暗区域2部分<sup>[8]</sup>。

经过分割处理之后的图像,螺纹的灰度与非螺纹的灰度为白黑相反,为实现计算机的识别、检测提供了可靠的依据。

### 2.1.2 螺纹特征检测

对分割处理后的图像设置感兴趣区域(region of interest, ROI),分析 ROI 内分散的白色特征;螺纹图像,螺纹特征为若干个独立的白色特征;非螺纹图像,ROI 内无白色特征。

#### 1) ROI 设定

ROI 设定为一个椭圆,椭圆内至少包括 2 个螺牙,最大为椭圆边不包括螺孔倒角处(具体大小根据不同的螺孔直径设定)。这样设定,可避免螺纹外部特征、倒角等的影响。

#### 2) 最小像素个数参数 $S_{\min}$

参数  $S_{\min}$  是螺牙像素数的最小允许值,作为判别螺牙的主要依据。

#### 3) 螺牙特征的判别

首先,搜索有效检测区域内灰度值为“1”的对象目标,对搜索到的对象目标,把它限制在一个  $L \times W$  的矩形内,如图 4 所示。在 ROI 内,直接计算灰度值为“1”的像素总数  $S$ 。求得像素总数后,依据步骤 2) 中设定的参数  $S_{\min}$ ,即可判别是否螺牙:

$$\left. \begin{array}{l} S < S_{\min}, \text{非螺牙;} \\ S \geq S_{\min}, \text{螺牙。} \end{array} \right\} \quad (2)$$

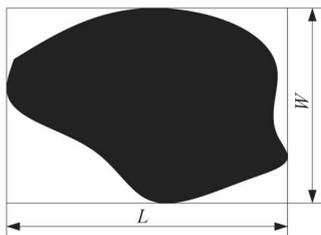


图 4 目标像素计算

Figure 4 Target pixel calculation

#### 4) 螺孔判别

若 ROI 内独立的白色特征数量  $M \geq 2$ ,判断目标为螺孔;反之,非螺孔。

### 2.2 圆特征拟合计算小径尺寸

采用背光照明方式,采集到的小径图像,经二值化预处理后分析,小径圆特征曲线不够光滑,需通过图像处理方法拟合圆,可求得准确的半径大小。本系统,既需考虑测量精度,还要求更快的运算速度。而最小二乘法可以很好地满足测量精度及运算速度的要求,因此采用最小二乘拟合圆方法求小径圆的半径<sup>[9]</sup>。

设圆半径  $R$ ,圆心为  $(x_0, y_0)$ ,曲线方程为:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2. \quad (3)$$

可得

$$x^2 - 2x_0x + x_0^2 + y^2 - 2y_0y + y_0^2 - R^2 = 0. \quad (4)$$

令  $\alpha = -2x_0, \beta = -2y_0, \gamma = x_0^2 + y_0^2 - R^2$ ,则

$$x^2 + y^2 + \alpha x + \beta y + \gamma = 0. \quad (5)$$

那么,第  $n$  个采样点  $(x_n, y_n)$  到圆心  $(x_0, y_0)$  的距离为  $R_n$ ,该点与圆心所构成圆的面积为  $\pi R_n^2$ 。则圆面积误差

$$\delta_n = \pi(R_n^2 - R^2) = \pi(x_n^2 + y_n^2 + \alpha x_n + \beta y_n + \gamma). \quad (6)$$

令面积误差平方和函数

$$N(\alpha, \beta, \gamma) = \sum_{n=1}^M \delta_n^2 = \pi^2 \sum_{n=1}^M (x_n^2 + y_n^2 + \alpha x_n + \beta y_n + \gamma)^2. \quad (7)$$

由函数极值方法知,使  $N$  取得极小值的参数  $\alpha, \beta$  和  $N$  应满足:

$$\frac{\partial N}{\partial \alpha} = \frac{\partial N}{\partial \beta} = \frac{\partial N}{\partial \gamma} = 0. \quad (8)$$

即有

$$\left. \begin{array}{l} \frac{\partial N}{\partial \alpha} = 2\pi^2 \sum_{n=1}^M (x_n^2 + y_n^2 + \alpha x_n + \beta y_n + \gamma)x_n = 0; \\ \frac{\partial N}{\partial \beta} = 2\pi^2 \sum_{n=1}^M (x_n^2 + y_n^2 + \alpha x_n + \beta y_n + \gamma)y_n = 0; \\ \frac{\partial N}{\partial \gamma} = 2\pi^2 \sum_{n=1}^M (x_n^2 + y_n^2 + \alpha x_n + \beta y_n + \gamma) = 0. \end{array} \right\} \quad (9)$$

可求得参数  $\alpha, \beta$  和  $\gamma$ ,即

$$\left. \begin{array}{l} (x_0, y_0) = (-\alpha/2, -\beta/2); \\ R = (\sqrt{\alpha^2 + \beta^2 - 4\gamma})/2. \end{array} \right\} \quad (10)$$

通过对轮廓的定位及计算,求得半径为  $R$ 。

通过标定运算,半径的像素值转换为长度单位数值。在程序中设置小径最小值  $R_{\min}$ 、最大值  $R_{\max}$ ,若检测有  $R_{\min} \leq R \leq R_{\max}$ ,则小径合格;反之,不合格。

### 3 自动检测系统的实现

综合螺纹特征检测及小径尺寸检测,课题组开发的双螺孔自动检测系统流程如图 5 所示。

按照内螺纹自动检测模块的算法,运用双螺孔自动检测程序系统对批量产品进行检测。程序界面只显示一个小径检测图像。结果如图 6 所示。

检测到不合格产品,程序系统输出音频信号,由音频输出开关控制板转换为开关信号,控制警报灯接通。工作人员根据警报灯的状态或检测界面的“结果判断”可直观知道待检工件是否合格。应用自动检测程序系统,工件检测时间约 3.5 s/件,系统对不合格品均能正确检出。

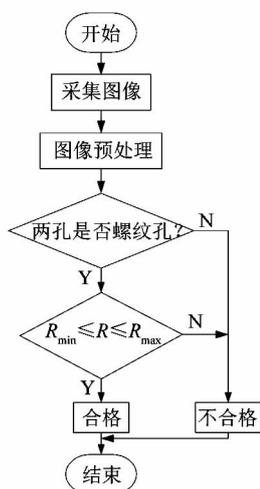


图 5 自动检测程序流程图

Figure 5 Flow chart of automatic detection system

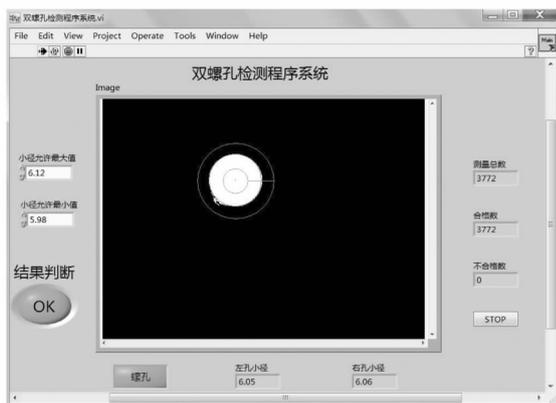


图 6 双螺孔检测结果

Figure 6 Detection result of dual screw holes

#### 4 结语

课题组基于 LabVIEW 软件开发的双螺孔自动检测系统,分别处理双螺纹孔图像及小径图像,集成各个子模块,实现螺孔缺陷及小径尺寸准确检测,系统结构清晰、应用便捷且兼容性好。并结合机电一体化技术,实现不合格品的在线自动报警响应,很好地满足了检测的实时性与准确性要求。系统对于提高内螺纹的检测效率,对内螺纹生产质量的全面监控、提高紧固件的质量与安全性具有一定意义。

#### 参考文献:

- [1] 陈挺,茅振华,周闻青,等. LabVIEW 平台的平面螺纹测量系统研制[J]. 中国计量学院学报,2015,26(2):145-150.
- [2] 王蕴哲,岳晓峰. 内螺纹机器视觉检测系统[J]. 长春工业大学学报,2017,38(2):189-193.
- [3] 田野,叶兵,王连兵. 基于机器视觉的内螺纹检测的实现方法[J]. 仪表技术与传感器,2018(1):64-70.
- [4] 李学聪. 基于机器视觉指针表检测的关键技术研究[D]. 广州:广东工业大学,2014:23.
- [5] BOUAYNAYA N, CHARIF-CHEFCHAOUNI M, SCHONFELD D. Theoretical foundations of spatially-variant mathematical morphology part I: binary images[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2008,30(5):823-836.
- [6] RANQAYYAN R M, NQUYEN T M, AYRES F J, et al. Effect of pixel resolution on textures of features of breast masses in mammograms [J]. Journal of Digital Imaging,2010,23(5):547-553.
- [7] 张银玲. 基于图像的螺纹检测装置的研制[D]. 哈尔滨:黑龙江大学,2017:23.
- [8] SONKA M, HLAVAC V, BOYLE R. 图像处理、分析与机器视觉[M]. 艾海舟,苏延超,译. 3版. 北京:清华大学出版社,2014:124-224.
- [9] 张爽. 列车轮对几何参数在线检测关键技术研究[D]. 吉林:吉林大学,2017:54.

(上接第 73 页)

- [6] 姜标,张向文,汪阳雄. 基于制动力变比值优化分配算法的电动汽车再生制动控制策略研究[J]. 汽车技术,2017(6):29-34.
- [7] 李玉芳,周丽丽. 纯电动汽车电-液复合制动系统控制算法的多边界条件优化设计[J]. 中国机械工程,2012,23(21):2634-2640.
- [8] 高爱云,张明柱,付主木. 基于最佳制动效果的并联式混合动力汽车再生制动控制策略[J]. 中国机械工程,2015,26(15):2118-2124.

- [9] 郭志军,岳东东,聂彦鑫,等. 纯电动汽车再生制动控制策略研究[J]. 机械设计与制造,2018(1):173-176.
- [10] 高树健. 电动汽车再生制动控制策略设计与仿真[D]. 西安:长安大学,2013:29.
- [11] 苏玉青,李舜酩,陈远帆,等. 制动强度判别的再生制动力分配策略研究[J]. 科学技术与工程,2017,17(16):146-150.
- [12] 杨喜峰,王耀南,刘东奇. 增程式电动汽车串联再生制动控制策略[J]. 控制工程,2018,25(2):238-244.