

# 基于机器视觉的轴承防尘盖检测算法<sup>①</sup>



袁冬冬<sup>1</sup>, 应俊<sup>2</sup>, 解利军<sup>3</sup>, 周迪斌<sup>1</sup>

<sup>1</sup>杭州师范大学 杭州国际服务工程学院, 杭州 311121)

<sup>2</sup>(易博工控表业(杭州)有限公司, 杭州 311305)

<sup>3</sup>浙江大学 航空航天学院, 杭州 310027)

通讯作者: 周迪斌, E-mail: dibin1\_zhou@126.com

**摘要:** 为实现工业现场对轴承防尘盖的自动检测, 对机器视觉检测的关键技术进行了研究, 提出一套基于机器视觉对轴承防尘盖的检测, 针对轴承图像的特点, 采用了一种最小二乘法进行圆拟合圆检测算法, 完成了轴承防尘盖区域的提取, 对连通区域的特征进行了分析, 再进行量化处理和判断. 实验结果表明, 该方法实时性好, 准确率高, 可以满足工业检测需求.

**关键词:** 机器视觉; 图像处理; 二值化; 圆检测

引用格式: 袁冬冬, 应俊, 解利军, 周迪斌. 基于机器视觉的轴承防尘盖检测算法. 计算机系统应用, 2019, 28(1): 212-215. <http://www.c-s-a.org.cn/1003-3254/6708.html>

## Detection Algorithm of Bearing Dustproof Cover Based on Machine Vision

YUAN Dong-Dong<sup>1</sup>, YING Jun<sup>2</sup>, XIE Li-Jun<sup>3</sup>, ZHOU Di-Bin<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(Hangzhou Institute of Service Engineering, Hangzhou Normal University, Hangzhou 311121, China)

<sup>2</sup>(Yibo Industrial Control Gauge (Hangzhou) Co. Ltd., Hangzhou 311305, China)

<sup>3</sup>(School of Aeronautics and Astronautics, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

**Abstract:** In order to realize automatic detection of bearing dust cover in industrial field, the key technology of machine vision detection is studied, and a set of bearing dust cover detection is put forward based on machine vision. According to the characteristics of the bearing image, based on image filtering, a least square method is used to carry out circle fitting circle detection algorithm, the bearing detection and extraction of the ROI area are completed. The characteristics of the connected region are analyzed, then binary and morphological operations are carried out, and finally quantitatively processed and judged. The experimental results show that the method has good real-time performance and high detection accuracy, and can meet the industrial requirement of automatic detection of the bearing dust cover.

**Key words:** machine vision; image processing; binarization; circle detection

## 引言

在机械行业中, 轴承是连接不同机器的重要部件. 轴承在装配过程中容易出现质量缺陷导致不合格, 出厂前必须将这些不合格产品识别并剔除, 传统检测方法成本高、效率低, 目前基于机器视觉检测技术逐渐取代传统人工检测, 广泛应用于工业检测中<sup>[1]</sup>. 在轴承

装配过程中, 轴承的尺寸检测和表面质量检测作为机器视觉检测技术研究的重点<sup>[2]</sup>. 轴承的表面缺陷种类多且算法识别难度大, 检测方法还不够成熟, 仍需进一步的研究<sup>[3]</sup>. 轴承在生产过程中容易出现漏装防尘盖或者防尘盖损坏的情况, 防尘盖的缺失导致外部杂质的进入, 加快轴承磨损, 对轴承的寿命影响很大, 甚至可能

① 基金项目: 国家自然科学基金面上项目 (11772301); 浙江省自然科学基金 (LY17F020016)

Foundation item: National Natural Science Foundation of China (11772301); Natural Science Foundation of Zhejiang Province (LY17F020016)

收稿时间: 2018-06-11; 修改时间: 2018-07-04, 2018-07-10; 采用时间: 2018-07-19; csa 在线出版时间: 2018-12-26

牵涉到整个作业链. 因此对生产的轴承进行质量检查是轴承生产产业不可缺少的一部分<sup>[4]</sup>. 本文基于工业检测需求, 主要针对轴承表面质量检测中的防尘盖缺失进行了研究. 在基于机器视觉检测技术的基础上, 完成了图像处理算法模块设计, 实现了轴承防尘盖的快速、准确检测.

### 1 算法框架

轴承防尘盖的检测需要经历图像采集与预处理、圆检测、ROI 区域提取、ROI 区域二值化、形态学操作、连通区域特征分析、量化处理与判断等步骤. 图 1 显示的是算法框架.

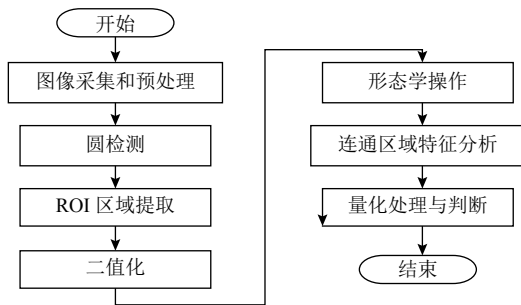


图 1 检测算法流程

#### 1.1 图像采集和预处理

图像处理前必定进行图像采集. 图像采集是将图像将传感器检测到的图像信息传输到计算机的过程<sup>[5]</sup>. 一般选择工业相机如 COMS 和 CCD 进行图像采集, 选择背光源. 在工业现场, 由于受到周围环境的影响, 图像会产生噪音、高光等, 所以必须进行降噪处理, 便于图像后续处理和识别, 方便特征提取. 常用的降噪方法有中值滤波、均值滤波、高斯滤波等<sup>[6]</sup>. 在去噪的同时, 中值滤波会因小缺陷出现漏检, 如划痕和麻点. 均值滤波破坏了图像的细节, 从而模糊了图像. 为使图像更加逼真地复现被检轴承, 采用高斯滤波消除噪声干扰. 在空间域和频率域中, 由于高斯噪声在数学上的易处理性, 故实践中常用这种噪声模型. 以至于高斯模型常常应用于在一定程度上导致最好结果的场合. 选取无盖处理结果如图 2 所示.

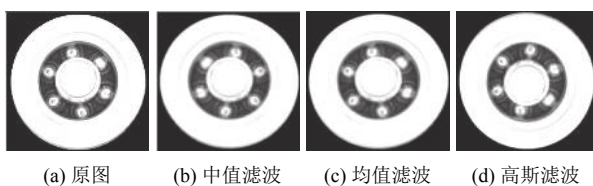


图 2 滤波效果对比

#### 1.2 轴承防尘盖区域检测和提取

轴承防尘盖区域可以设置为 ROI (感兴趣的区域). 后续的图像处理和分析只需要针对 ROI 进行, 这可以有效提高检测的速度和准确性<sup>[7]</sup>. 为了提取 ROI, 我们需要检测内外环并提取 ROI. 这涉及到圆形边缘检测. 轴承中心位置的确定和环半径的计算是防尘盖提取的基础. 常用的圆拟合方法有最小二乘法 and 霍夫变换法. 霍夫变换法可以很好地拟合不完整的圆. 通常需要半径长度 (工业轴承的半径长度确定). 本文的轴承轮廓基本没有缺陷. 原则上可采用两种方法, 但最小二乘法可用于计算高精度的圆心和半径<sup>[8]</sup>. 并且运算速度快, 最小二乘法更适合圆拟合. 将提取 ROI 区域划分为两个步骤: 第一步, 使用最小二乘法拟合轴承中心位置和外圆半径. 第二步, 根据轴承参数中的防尘盖内外径占轴承外圆半径的比例, 提取出防尘盖区域. 如图 3 所示.

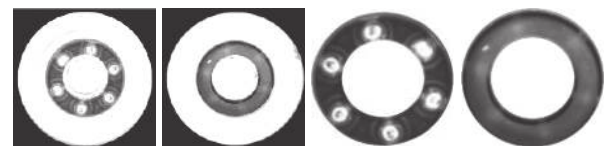


图 3 防尘盖区域提取

最小二乘法通过最小化误差的平方和找到拟合参数的最佳函数匹配<sup>[9]</sup>. 设点集 $(X_i, Y_i)$ ,  $(i = 1, 2, \dots, n)$ , 中点到圆心的距离为 $D_i$ , 最小二乘法拟合圆曲线:

$D_i^2 = (X_i - A)^2 + (Y_i - B)^2$ , 点  $(X_i, Y_i)$  到圆边缘的距离的平方与和半径平方的差为:

$$T_i = D_i^2 - R^2 = (X_i - A)^2 + (Y_i - B)^2 - R^2 = X_i^2 + Y_i^2 + aX_i + bY_i + c \tag{1}$$

令:

$$s(a, b, c) = \sum T_i^2 = \sum [X_i^2 + Y_i^2 + aX_i + bY_i + c]^2 \tag{2}$$

平方差 $s(a, b, c)$ 大于 0, 因此函数存在极小值, 分别对  $a, b, c$  求偏导等于 0, 得到极值, 然后比较所有函数值得到最小值.

$$\frac{\partial s(a, b, c)}{\partial a} = \sum 2(X_i^2 + Y_i^2 + aX_i + bY_i + c)X_i = 0 \tag{3}$$

$$\frac{\partial s(a, b, c)}{\partial b} = \sum 2(X_i^2 + Y_i^2 + aX_i + bY_i + c)Y_i = 0 \tag{4}$$

$$\frac{\partial s(a, b, c)}{\partial c} = \sum 2(X_i^2 + Y_i^2 + aX_i + bY_i + c) = 0 \tag{5}$$

解这个方程组,得:

$$A = -\frac{1}{2}a, B = -\frac{1}{2}b, R = 1/2 \sqrt{a^2 + b^2 - 4c} \quad (6)$$

### 1.3 区域二值化

二值化就是将图像看成不同灰度级区域(目标和背景)的混合,通过各种计算方法比如自适应阈值法、迭代法、Otsu法等<sup>[10]</sup>选出合适的灰度值阈值,实现图像分割.比如设 $g(x,y)$ 为二维图像点的坐标, $f(x,y)$ 为图像各点的灰度值, $t$ 为设定的阈值,则二值化后的图像 $g(x,y)$ 可表示为:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) > t \\ 0, & f(x,y) \leq t \end{cases} \quad (7)$$

由此可见,确定最佳阈值 $t$ 是二值化的关键,通过大量测试,对比三种方法结果(图4),决定采用Otsu法自适应阈值算法.Otsu法是一种图像灰度自适应的阈值分割算法,由日本学者大津于1979年提出.该方法通过计算不同阈值对应的类间方差,当类间方差最大时即为分割图像的最佳阈值.

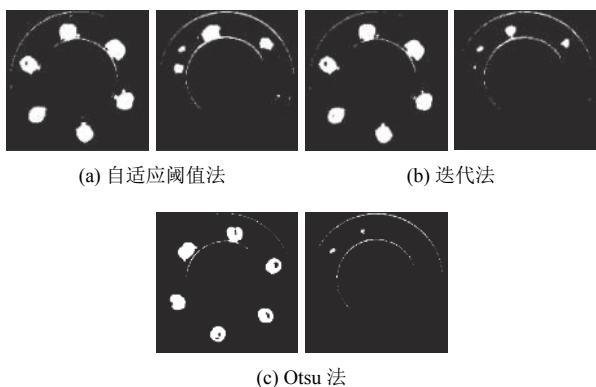


图4 阈值分割算法对比

假设阈值 $T(k) = k, 0 < k < L - 1$ ,并假设 $C_1$ 由灰度值在区间 $[0, k]$ 内的所有像素组成和 $C_2$ 由灰度值在区间 $[k - 1, L - 1]$ 内的所有像素组成,像素被分到类 $C_1$ 中的概率 $P_1(k) = \sum_{i=0}^k p_i$ ,像素被分到类 $C_2$ 中的概率 $P_2(k) = \sum_{i=k+1}^{L-1} p_i = 1 - P_1(k)$ .

分配到类 $C_1$ 的像素的平均灰度值为:

$$m_1(k) = \frac{1}{P_1(k)} \sum_{i=0}^k ip_i \quad (8)$$

分配到类 $C_2$ 的像素的平均灰度值为:

$$m_2(k) = \frac{1}{P_2(k)} \sum_{i=k+1}^{L-1} ip_i \quad (9)$$

整个图像的平均灰度值为:

$$m_G = \sum_{i=0}^{L-1} ip_i \quad (10)$$

$\sigma_B^2$ 类间方差类间方差定义为:

$$\sigma_B^2 = P_1(m_1 - m_G)^2 + P_2(m_2 - m_G)^2 \quad (11)$$

类间方差改写为:

$$\sigma_B^2 = \frac{(m_G P_1 - m)^2}{P_1(1 - P_1)} \quad (12)$$

$k^*$ 是最佳阈值:

$$\sigma_B^2(k^*) = \max_{0 \leq k \leq L-1} \sigma_B^2(k) \quad (13)$$

在 $0 < P_1(k) < 1$ 条件下选取 $\sigma_B^2(k)$ 最大的 $k$ 值.

该方法完全基于图像直方图的计算,直方图是一个非常简单的一维阵列.当轴承图像进行二值化时,发现大多数图像只包含了大约一半的灰度,即在某个灰度上的像素个数为零.因此,可以降低Otsu法的方差计算,减少程序的运行时间.

### 1.4 形态学操作

形态学方法应用到数字图像中能够改善图像中存在的一些问题比如:消除图像中小黑斑、填补区域内部的孔洞、消除或合并不连续的边缘、消除高亮造成的噪声等.为了除去图像中孤立的小点、毛刺.决定用开运算(先腐蚀后膨胀)处理:腐蚀是指删除图像中对象的边缘,而膨胀是指将像素加到图像中对象的边缘.(处理前后如图5).

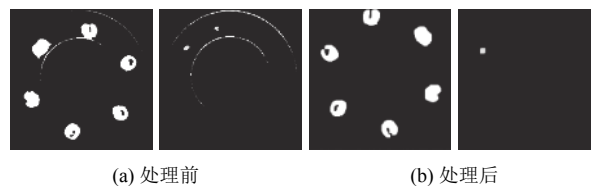


图5 开运算处理

### 1.5 特征提取与分析

经过二值化和形态学操作,图像包含了目标区域和噪声,其中 $C_i$ 表示第 $i$ 个连通区域,其中灰度值一致,8个相邻像素判断为相同区域.一般情况下,滚珠的检测面积较大,噪声和无滚珠的检测面积较小.进一步分析表明,无珠区相对圆度噪声区较小,基于上述分析,综

合考虑了连通区域的面积和圆度特征,我们可以分析和提取连通区域的特征,并为后续的量化处理做准备。

### 1.6 量化与判断

通过对连通区域特征的分析,通过面积大小和连通区域判断轴承防尘盖是否合格。考虑到噪声的干扰,连通区域超过一定大小的面积才算是连通区域。设轴承防尘盖图像中连通区域的数量记为 $C$ ,若 $C \geq 2$ ,则认为是防尘盖不合格。基于对相机的分辨率和处理的图像分析,发现对应的图像设为 $K$ 个像素,所以小于 $K$ 个像素的区域不被认为是连通区域,作为噪声干扰。轴承缺失防尘盖的判别:①统计面积大于 $K$ 个像素的连通区域数,设定为 $C$ 。②若 $C \geq 2$ ,则认为是防尘盖不合格。否则为有防尘盖合格。

## 2 结果分析

为了检测算法的稳定性,对采集到的300幅轴承进行检测,其中有防尘盖的合格轴承100幅,无防尘盖的不合格轴承100幅,防尘盖损坏的不合格轴承100幅。算法检测结果如表1。

表1 检测结果

	被检数量	正确检测数量	误检数量	正确率 (%)
有防尘盖轴承	100	100	0	100
无防尘盖轴承	100	99	1	99
防尘盖损坏轴承	100	98	2	98

分析结果表明,图像采集过程中受图像质量影响导致连通区域面积处于临界值是导致误检、漏检现象的主要原因,针对上述情况,有必要对图像的光照进行补偿。传统的照明补偿方法包括直方图均衡化、Gamma校正和自适应光线补偿。对比后发现,直方图均衡化后图像失真,部分细节模糊或丢失。经过Gamma校正后,图像要么变暗,要么整体发亮,它不能将图像中突出区域和阴影区域的合理划分。自适应光线补偿后,压缩图像亮度范围两端的区域,使黑暗图像补偿亮度,增强变换后图像的对比度,提高视觉效果。经过改进后,使检测准确率达到100%,该算法检测时间不超过40ms,能够实时地检测结果,具有很高的鲁棒性,符合工业生产的检测需要。

轴承防尘盖缺失检测与轴承套端面缺陷检测属于同类检测,都是对ROI区域提取,然后进行阈值分割,最后对提取的连通域特征进行分析和判断,轴承端面缺陷检测结果如表2所示<sup>[1]</sup>,对比发现本算法检测准确率得到显著提高,完全满足工业实时性高要求。

表2 检测结果

轴承图像	张数	正确判断个数	正确率 (%)
不存在缺陷	100	97	97
存在缺陷	100	99	99

## 3 结语

目前轴承检测技术逐步向非接触检测、数字化检测、在线检测等方向发展,通过引入先进计算机视觉和检测技术,使机器视觉和工业系统高度融合。快速提高生产效率,推动传统制造业实现产业转型升级。本文提出一种基于机器视觉技术对轴承防尘盖的测量算法进行了研究,文中采用的测量算法检测准确度高,稳定性好,算法采用最小二乘法进行圆拟合圆检测能准确地提取防尘盖区域,能为后面的处理降低了搜索范围,且保证了精度,相应提高了效率,安全而且可靠。实验结果表明:该算法能够实时和准确的检测轴承防尘盖是否合格,能够满足工业检测的要求。

### 参考文献

- 袁清珂,张振亚,吴晖辉,等.基于机器视觉系统的自动检测系统设计与开发.组合机床与自动化加工技术,2014,(11):119-121.
- 陈飞跃,王恒迪,邓四二.机器视觉检测技术中轴承的定位算法.轴承,2010,(4):54-56.[doi:10.3969/j.issn.1000-3762.2010.04.016]
- 王昌,高晶晶.基于机器视觉的轴承生产中的表面质量在线检测与研究.机床与液压,2013,41(19):53-55.[doi:10.3969/j.issn.1001-3881.2013.19.014]
- 陈龙,侯普华,王进,等.轴承表面缺陷类型识别算法.计算机应用研究,2015,32(5):1549-1553.[doi:10.3969/j.issn.1001-3695.2015.05.068]
- 康牧.图像处理中几个关键算法的研究[博士学位论文].西安:西安电子科技大学,2009.
- 刘胜利.基于工业视觉的轴承尺寸在线检测技术[硕士学位论文].西安:西安工业大学,2014.
- 陈文达,白瑞林,吉峰,等.基于机器视觉的轴承防尘盖表面缺陷检测.计算机工程与应用,2014,50(6):250-254.[doi:10.3778/j.issn.1002-8331.1204-0589]
- 霍建亮,曾翎,王德胜,等.基于最小二乘法改进的随机圆检测算法.光电工程,2011,38(5):145-150.[doi:10.3969/j.issn.1003-501X.2011.05.026]
- 徐煜明,韩雁.FPCB基准孔精确定位技术研究.计算机工程与应用,2009,45(29):233-236.[doi:10.3778/j.issn.1002-8331.2009.29.070]
- 陈宁宁.几种图像阈值分割算法的实现与比较.电脑知识与技术,2011,7(13):3109-3111.[doi:10.3969/j.issn.1009-3044.2011.13.052]
- 骆腾斌,陈硕,赵紫阳,等.基于机器视觉算法的轴承套端面缺陷检测研究.机电工程,2018,35(2):148-152.[doi:10.3969/j.issn.1001-4551.2018.02.007]