

# 基于机器视觉的轴承端面缺口算法

昆山奥德鲁自动技术有限公司 周佳，于洋，郁彬

**【摘要】**针对轴承生产企业，传统的人工目视检查轴承外观中视觉疲劳弊端，提出一种基于机器视觉技术的缺陷算法，用于轴承端面材料缺口识别，可快速检测此类缺陷。所提出的机器视觉检测装置，利用 CMOS 图像传感器获取到被测轴承图片，采用本文提出的缺口算法，识别出缺口面积数值，通过判定是否超过设定阈值来区分轴承是否存在缺口不良。在实际生产应用中证明，该算法稳定快速，适用性好。

**【关键词】**轴承缺陷；机器视觉；图像识别；边缘提取；连通域

在轴承实际生产过程中，由于原材料不良、加工异常、流转磕碰挤压等原因，会有少量产品产生端面边缘材料缺损，从而造成最终使用时带来品质隐患。轴承生产企业通过人工目视检验环节来剔除此类缺陷，由于人工检测的视觉疲劳、主观性等特点，往往会造成不良品流出，且难以符合现代化数字工厂的严苛要求；随着制造企业对产品质量需求不断提高，采用机器视觉检测方法的自动化检测设备需求量也随之增加<sup>[1]</sup>。对于此，提出一种基于机器视觉技术的轴承端面缺口不良的识别算法。

本算法分为如下步骤：

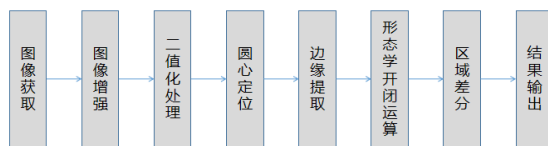


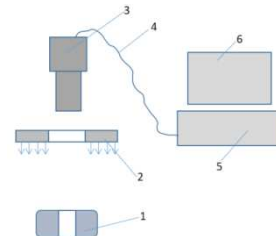
图 1 计算步骤示意图

Fig.1 Calculation process

## 1 图像获取

图像识别系统由 CMOS 图像传感器、照明光源、千兆网口图像卡、计算机、软件算法构成，如图 1 所示。工作原理：照明光源发出垂直于轴承表面的均匀光线，使被测轴承表面产生良好对比度的阴影轮廓，经过镜头透射，光线传入 CMOS 相机，转变为数字信号，经千兆网线传输进计算机图像卡，计算机软件从图像卡中获取得到图像

数据。



1-被测轴承；2-照明光源；3-CMOS 图像传感器；4-千兆网线；5-计算机；6-软件算法与界面显示

图 2 图像获取示意图

Fig.2 Image capture

## 2 图像预处理

### 2.1 图像增强

图像增强是指有目的地强调图像的整体或局部特性，将原来不清晰的图像变得清晰或强调某些感兴趣的特征<sup>[2]</sup>。图在实际应用中，由于每个轴承产品存在表面加工纹路、材质、粗糙度等方面的差异，需要对采集的原始图像进行增强处理，提高软件算法的通用性。根据图像的实际特性，兼顾运算量，本算法中采用基于线性灰度变换的图像增强算法，直接对像素点进行操作，分为两步：

均值滤波：

$$g(x, y) = \frac{1}{M} \sum_{f \in S} f(x, y), \quad (1)$$

线性变换：

$$h(x, y) = f(x, y) + (f(x, y) - g(x, y)) * F, \quad (2)$$

其中,  $f(x, y)$ :原始图像  $(x, y)$  处的灰度数据;  $M$  均值滤波域,  $s$  为该域的范围;  $g(x, y)$ :均值滤波后的图像数据;  $F$ :对比度强度;  $h(x, y)$ :增强后的最终输出结果图像。通过控制参数  $M, F$  来控制增强效果。 $M, F$  数值越大, 增强的强度越大, 默认设置  $M = 4, F = 8$ 。

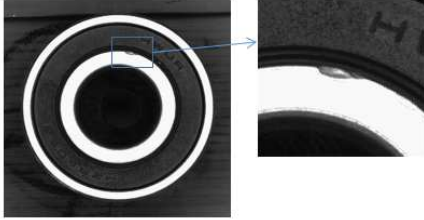


图3 原始图  
Fig.3 Original image

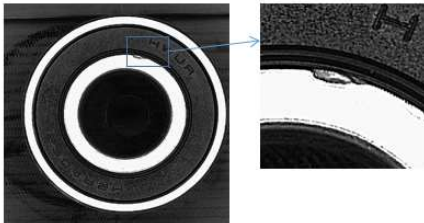


图4 增强后的图片  
Fig.4 After enhance

## 2.2 二值化处理

二值化原理:

$$B(x, y) = \begin{cases} 255; & f(x, y) > T \\ 0; & f(x, y) \leq T \end{cases} \quad (3)$$

$T$  是二值化的阈值设定;  $B(x, y)$ :二值化后的输出图像;

由于前面已经对产品进行了线性灰度增强处理, 配合光源照明与相机曝光的规范, 在实践中表明, 直接对  $T$  进行阈值设定是稳定可行的, 默认设定  $T = 120$ 。

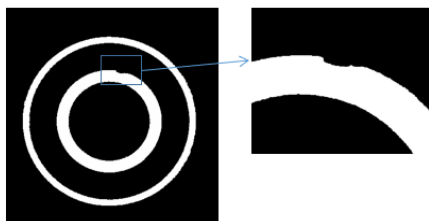


图5 二值化后的图片

Fig.5 After threshold

## 3 圆心定位与边缘拟合

### 3.1 圆心定位

在实际生产中, 每个轴承来料进入检测拍照区域内, 位置会有一些的偏差, 所以需要在计算缺陷之前, 对每个被测轴承进行目标定位。目标物体的定位方式有多种, 包括重心计算、形状轮廓匹配、灰度匹配、样本匹配等<sup>[3]</sup>。对于轴承来说, 这里的定位要求只有物体的圆心, 并不关心轴承旋转角度, 所以本方法中采取连通域最大面积法来计算出轴承的圆心位置。

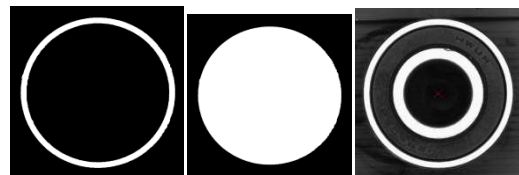
将二值化后的图像进行连通域计算(采用8邻接), 并得出最大的白色区域。8邻接联通算法原理<sup>[4]</sup>: 对于图像中的某个中心像素坐标  $(x, y)$ , 他周围的8个像素点中的某一个点  $(x', y') \in [(x-1, y-1), (x, y-1), (x+1, y-1), (x-1, y), (x+1, y), (x-1, y+1), (x, y+1), (x+1, y+1)]$

如果  $(x', y')$  灰度值与  $(x, y)$  一样, 就表示  $(x', y')$  与  $(x, y)$  是连通的。

这里采用 Two-Pass 两次遍历法<sup>[5]</sup>, 计算得出二值图像中的所有联通区域:

$$\begin{aligned} reg[n] &= TwoPassConnection(B), \\ regMax &= Max(reg[n]), \\ (centerX, centerY) &= regcenter(regMax), \end{aligned}$$

其中,  $B$ :二值化图像矩阵;  $reg[n]$ :联通区域的矩阵数组;  $regMax$ :最大面积的白色区域矩阵;  $(centerX, centerY)$ :计算出的轴承中心坐标。



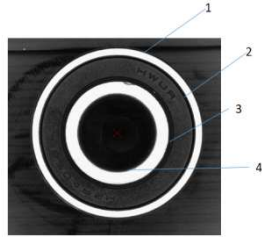
(a) 最大联通区域 (b) 闭合 (c) 定位出中心

图6 定位圆心示意图

Fig.6 Position center process

### 3.2 边缘提取

对于轴承来说, 边缘缺口应包含4条边的计算, 如下图所示:



1-外端面外边缘；2-外端面内边缘；3-内端面外边缘；4-内端面内边缘

图7 轴承4条边缘说明示意图

Fig.7 the 4 edges of bearing surface

边缘是指图像灰度变化率最大的地方(图像灰度值变化最剧烈的地方), 图像灰度在表面法向变化的不连续造成。一般认为边缘提取是要保留图像的灰度变化剧烈的区域<sup>[6]</sup>。按照边缘特性, 由轴承圆心往外, 两条内边缘都是由黑到白, 两条外边缘都是由白到黑, 所以, 此处我们抽象成两种边缘(即内边缘与外边缘)来论述计算过程。本文以内端面外边缘为例论述, 边缘提取的计算过程包含如下步骤: 同心圆框定、边缘类型选择、区域开/闭运算;

要将边缘提取出来, 本算法以区域来提取边缘轮廓, 对区域进行形态学特征计算更为简便稳定。边缘提取原理: 以圆心( $centerX, centerY$ )为参考中心, 生成一个同心圆区域  $regRing$ , 同心圆的内环半径  $Rin$ , 被计算边缘轮廓  $R$ , 同心圆外环半径  $Rout$  需满足, 如图 8(a):

$$Rin < R < Rout$$

生成的感兴趣区域  $regRing$  :

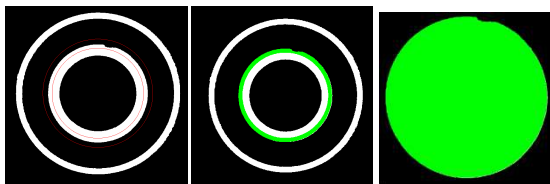
$$regRing = GenRing(centerX, centerY, Rin, Rout)$$

对于内边缘, 选择黑色部分; 对于外边缘, 选择白色部分, 通过  $bWhite$  参数控制, 本例选择出内端面外边缘, 选择白色部分, 如图 8(b)。

$$regEdge = Selreg(regRing, bWhite),$$

然后进行区域闭合运算, 计算得到的是一块闭合区域, 此区域的外轮廓就是需要被计算的轴承边缘  $regEdgeFill$ , 图 8(c)。

$$regEdgeFill = Fillreg(regRing),$$



(a) 感兴趣圆环区域 (b) 边缘连通区 (c) 边缘闭合

图8 边缘区域计算过程示意

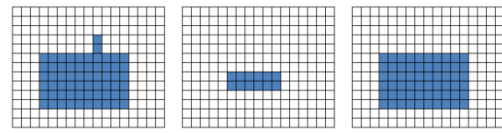
Fig.8 process of edge calculation

## 4 识别算法

### 4.1 图像矩阵的闭运算、开运算

对于缺口类的缺陷来说, 在它的边缘上, 可能是突出的, 也可能是凹进的, 所以需要对这两种状况同时运算, 采用形态学开运算/闭运算原理进行计算<sup>[7]</sup>;

开运算原理: 先腐蚀后膨胀, 开运算能够除去孤立的小点、毛刺、小凸出, 而总的位置和形状不变。这样就把凸出的缺口去除。

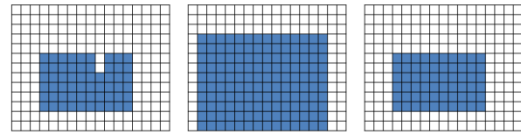


(a) 带有突出的矩阵 (b) 腐蚀 (c) 膨胀

图9 开运算原理

Fig.9 principal of opening

闭运算原理: 先膨胀后腐蚀闭运算能够填补小湖(即小孔), 弥合小裂缝, 而总的位置和形状不变。这样就把凹进的缺口去除。



(a) 带有凹进的矩阵 (b) 膨胀 (c) 腐蚀

图10 闭运算原理

Fig.10 principal of closing

对提取的边缘  $regEdgeFill$  进行开闭运算:

$$regOC = OpenClose(regEdgeFill, bOpen, W),$$

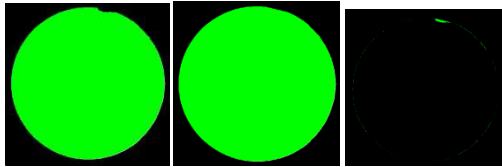
$regOC$ : 开闭运算后的区域矩阵;  $bOpen$ :

控制进行开运算还是闭运算(此例计算凹进型缺口, 选择闭运算);  $W$ : 开闭运算的强度数值, 一般设定为 100;

### 4.2 区域矩阵差分

前一小节对边缘进行了形态学运算, 得出开运算/闭运算之后的矩阵。接下来此处需要进行矩阵差分  $regDiff$  (取绝对值), 得出缺口部分的区域矩阵。

$$regDiff = ABS(regOC - regEdgeFill),$$



(a)边缘闭合区 (b)开闭运算后 (c)差分矩阵

图 11 缺陷识别过程

Fig.11 process of defect area

### 4.3 连通域运算得出结果

前文已对连通域运算进行了说明此处不赘述原理。由于差分运算后，在差分结果矩阵中会有部分小噪点，此处需要通过连通域最大值求解，来找出最大部分的区域，此区域就是缺陷部分。

$$regTemp[n] = TwoPassConnection(regDiff),$$

$$regOut = Max(regTemp[n]),$$

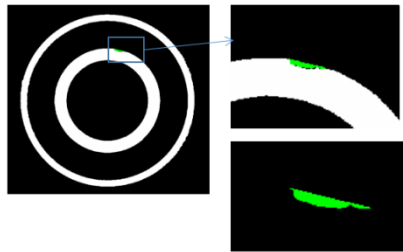


图 12 缺陷计算结果

Fig.12 result of defect

最后计算出缺陷域的面积，就是该边缘上的计算结果，大于设定值就判定为 NG。

$$resout = Area(regOut)。$$

本图中的面积数值=451 像素，超过设定值 80 像素，判定为 NG。

## 5 实际应用结果分析

在实际应用中，根据轴承的实际大小，设定好上述参数，对 100pcs 样品轴承（其中 OK 品 80pcs，不同大小缺陷 NG 品 20pcs），进行 5 次识别，进行逐一拍照计算记录，运行效果如下：

表 1 实际样品测试记录表

Tab.1 Test result of samples

循环	识别 OK	识别 NG	实际 漏检	漏检 率	过杀 率
第一次	80	20	1		
第二次	79	21	0	2%	4.7%
第三次	78	22	0		

第四次	80	20	0
第五次	78	22	1

经核定，漏检的轴承的缺陷很小，在设定上限的临界，在实际生产检验时可以放行。满足工厂实际应用需要，实际运行效果优于人工检测。

## 6 结束语

相对于传统人工检测，基于机器视觉的检测是一种新型的技术方案，它是一种非接触式的快速检测方式，不受工人熟练程度、疲劳度、主观心情的影像，稳定客观的识别缺陷，稳定性高，适应性好，为工业基础件的品质检测提供了新型的解决方案。

### 【参考文献】

- [1]郑凌. 基于图像的轴承套加工缺陷检测研究[D]. 杭州: 浙江大学, 2012.
- [2]高彦平. 图像增强方法的研究与实现[D]. 山东科技大学硕士学位论文. 2005,05.
- [3]刘金保. 形状匹配算法研究及应用[D]. 广州: 广东工业大学, 2011.
- [4]崔屹. 图象处理与分析——数学形态学方法及应用[M].北京:科学出版社,2000.
- [5]徐正光,鲍东来,张利欣.基于递归的二值图像连通域像素标记算法[J].计算机工程,2006,32:186-225.
- [6]欧温暖. 几种常见边缘检测算子的分析比较[J]. 现代计算机(专业版), 2010(5):75-77.
- [7]王爱民,沈兰荪,图像分割研究综述[J].测控技术,2000,19(5):1-7