

快速检测轴承表面缺陷方法的研究

陶青平, 吴锡生

(江南大学 物联网工程学院, 江苏 无锡 214122)

摘 要: 轴承表面缺陷可分为两种,一种是低于目标灰度的缺陷,另一种是高于目标灰度的缺陷. 针对单阈值分割算法只能检测轴承前一种缺陷的局限性,而多阈值分割算法仅能检测高于目标灰度缺陷的情况,提出了一种基于 OSTU 的多次阈值分割图像快速检测轴承表面缺陷的方法,该算法相对于多阈值算法复杂度小,且根据轴承图像的特点缩小了阈值取值的范围,较好满足了在线检测轴承表面缺陷的实际需求.

关键词: 大津法;多阈值;轴承;缺陷检测;灰度

中图分类号: TP391.4

文献标识码: A

文章编号: 1000-7180(2011)10-0098-03

Rapid Detection Method of the Bearing Surface Defects

TAO Qing-ping, WU Xi-sheng

(College of Content Networking Engineering, Jiangnan University, Wuxi, 214122, China)

Abstract: Bearing surface defects can be divided into two classes, one is the defect of gray-scale lower than the target and another is the defect of gray-scale higher than the target. Aiming at the limitation that single-threshold segmentation algorithm can only detect the first defect and the situation that multi-threshold segmentation algorithm can only detect the second, a new rapid detection method on the bearing surface defects is introduced based on multiple-OSTU. The complexity of the algorithm is smaller than multi-threshold one, and according to the characteristics of the bearing image, it narrows the range of threshold values. So it satisfies the need of on-line detection of bearing surface defects.

Key words: OSTU; multi-threshold segmentation algorithm; bearing; defects detection; gray-scale

1 引言

轴承是机械行业中一个非常重要的零件,使用极其普遍且品种繁多,轴承的加工精度和质量关系到机械产品的使用性能、质量和寿命,所以对轴承加工质量检测一直是轴承产业中最重要的一环^[1]. 轴承表面的缺陷(如压痕、啃伤、划痕和锈蚀等),会直接影响到轴承的使用.

目前利用轴承图像的灰度对轴承表面缺陷进行检测,大多采用单阈值分割图像,然后再根据缺陷特征以达到产品检测的目的,但轴承在生产中出现端面擦伤和磕碰伤等缺陷时,采集得到的轴承图像中不仅有低于轴承目标图像灰度的缺陷,同时有高于轴承目标图像的灰度缺陷. 对于前一种缺陷,利用单

阈值检测方法可以检测出来^[2],而对于后一种缺陷,单阈值检测方法却显得无能为力,特别是对轴承图像只存在后一种缺陷时,单阈值检测方法将无法检测到缺陷. 为了解决该问题,本文提出了一种基于 OSTU 的多次阈值轴承表面缺陷检测方法. 该方法首先通过对采集得到的轴承图像进行滤波,去除采集图像时带来的噪声,然后利用 OSTU 多次阈值分割法将图像分离出两个阈值,再根据缺陷的定义检测出图像的缺陷区域.

2 图像处理

2.1 中值滤波

通过图像采集系统采集得到的轴承图像(图 1)往往带有一些噪声,为了后续更好地准确定位分割

轴承,先对轴承图像进行降噪处理.常用的一些降噪方法^[3-4]有邻域平滑、保存边界平滑、多图像平均和中值滤波等.本系统采用中值滤波算法.

中值滤波是一种基于排序统计理论的非线性平滑滤波方法,原理是首先确定一个以某个像素为中心的方形邻域,然后将邻域中各个像素灰度值进行排序,最后取中间值作为中心像素新的灰度值,这里所说的邻域通常被称为窗口.文中选用 3×3 大小的窗口对轴承图像进行滤波.效果如图2所示.

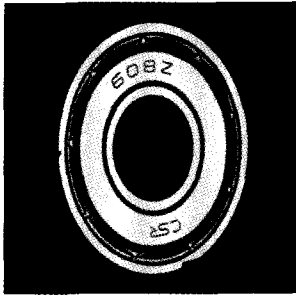


图1 原始图

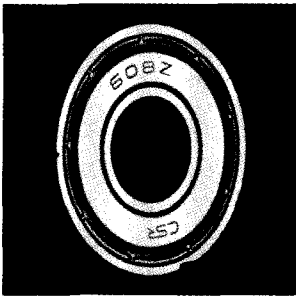


图2 中值滤波后的图

2.2 OSTU 分割算法原理

OSTU 法^[5]又称大津法或最大类间方差法.在一些实时图像处理系统中得到广泛应用.其单阈值 OSTU 算法原理如下:

记 $f(i, j)$ 为 $M \times N$ 图像 (i, j) 的点处的像素灰度值,灰度级为 m .则 $p(k)$ 为灰度值为 k 的频率,即 $p(k) = 1/M \times N \sum_{f(i, j)=k} 1$.假设图像的灰度分割值为 t ,则将图像分为两大类,即 $\{f(i, j) \leq t\}$ 和 $\{f(i, j) > t\}$,并分别记为 $w_0(t) = \sum_{i \leq t} p(i)$ 和 $w_1(t) = 1 - w_0(t)$ 这两类的概率.而 $u_0(t) = \sum_{i \leq t} \frac{ip(i)}{w_0(t)}$ 为第一

类的均值, $u_1(t) = \sum_{i > t} \frac{ip(i)}{w_1(t)}$ 为第二类的均值, $u = \sum_i ip(i)$ 为整幅图像的均值.其类间方差值为 $\sigma(t) = w_0(t)(u_0(t) - u)^2 + w_1(t)(u_1(t) - u)^2$.OSTU 算法就是遍历各个灰度级,求出使 σ 最大的值,即

$\sigma_{\max} = \max_{0 \leq t \leq m} \sigma(t)$.但在轴承图像中,图像主要分为背景和轴承目标两大部分,利用 OSTU 分割出来的阈值 t 高于整幅图像的平均值,且低于整幅图像平均值到最大灰度值之间所有像素值的平均值,即 $u < t < \sum_{u < i < m} \frac{ip(i)}{w_1(u)}$,即在该取值范围内找出使 σ 达到最大的 t 值.

2.3 轴承图像阈值化处理

利用上述所述的 OSTU 算法原理,找出本文所提出的两个阈值来分割预处理好的轴承图像,即 t_0 和 t_1 ,且 $t_1 > t_0$.其思想是首先第一次利用单阈值 OSTU 算法求出轴承图像第一个阈值 t_0 ,然后将图像中像素灰度值小于或等于 t_0 的值置为 255,其他保持不变,得到新图像;再利用 OSTU 算法求出新图像的另一个阈值 t_1 .并使新图像灰度值 $f(i, j) \leq t_1$ 的像素灰度值为 0, $f(i, j) > t_1$ 的像素灰度值为 255.其处理步骤如下介绍.

步骤 1:计算中值滤波后图像的各灰度级的概率分布情况.

步骤 2:求整幅图像的平均灰度值 $u_0 = \sum_i ip(i)$,并求从 $[u_0]$ 到最大灰度值之间的平均灰度值 $u_{01} = \sum_{[u_0] \leq i < m} \frac{ip(i)}{w_1[u_0]}$.

步骤 3:遍历 $[u_0]$ 到 $[u_0] + 1$ 之间的值,按照 OSTU 公式求出第一个分割阈值 t_0 .

步骤 4:将小于图像中像素灰度值小于或等于 t_0 的值置为 255,其他保持不变,得到新图像.

步骤 5:将原来图像的概率分布中小于或等于 t_0 的概率和加到灰度级为 255 的概率上,并将它们的概率均置为 0,作为新图像的概率分布情况.

步骤 6:重复步骤 2,3,按照 OSTU 公式求出第二个分割阈值 t_1 .

步骤 7:将图像中像素灰度值小于或等于 t_1 的置为 0,大于其值置为 255,得到所要处理的图像.

最后仍得到只有两个灰度值的轴承图像.对图 2 中的图像按上述方法进行处理,处理结果如图 3 所示.

2.4 缺陷识别

2.4.1 轴承定位与分割

可以知道缺陷一定是在轴承目标图像上,而不会在背景上,所以缺陷识别之前必须定位轴承.众所周知,轴承是一个同心圆的图像,包括轴承内圈,内压槽,密封盖面,外压槽,外圈.而缺陷主要集中在轴承内外圈和密封盖面上.所以只要知道轴承的圆心

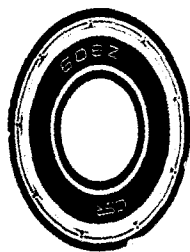


图3 二次阈值分割

位置和任一个圈的半径,就可以根据已知的轴承尺寸,求出各同心圆的半径.在这里我们利用文献[6]所提及的算法思想^[6]求出图3中图像圆心位置 o ,内圈内半径 r_0 .这里已经知道实际轴承的尺寸内圈内半径 R_0 ,内圈外半径 R_1 ,密封盖面内半径 R_2 ,密封盖面外半径 R_3 ,外圈内半径 R_4 ,外圈外半径 R_5 ,根据公式求图像中轴承内圈外半径 $r_1 = r_0 \frac{R_1}{R_0}$,密封盖面内半径 $r_2 = r_0 \frac{R_2}{R_0}$,密封盖面外半径 $r_3 = r_0 \frac{R_3}{R_0}$,外圈内半径 $r_4 = r_0 \frac{R_4}{R_0}$,外圈外半径 $r_5 = r_0 \frac{R_5}{R_0}$.即把轴承分割为轴承内圈,密封盖面和轴承外圈.

2.4.2 缺陷识别

轴承的缺陷是指轴承表面的缺陷尺寸大于一定面积.在轴承图像里我们将缺陷面积转换成一定连通区域的像素数 T ,当在上述分割的面中找到缺陷的像素数 T_0 大于 T 时,则认为该 T_0 为缺陷区域.通过上述处理,本文中可以认定255的连通区域为有缺陷区域.所以只需找到像素值255的连通区域,并且其像素数大于给定的 T ,即可找到缺陷之处.本文采用8连通域法.

3 实验结果及比较

3.1 实验结果

图3中在轴承外圈表面上有3处有缺陷的区域.利用本文算法从在图3中找到像素值为255的最大连通区域像素个数为123.

3.2 实验结果对比分析

目前利用图像灰度来检测轴承缺陷的文献大多利用单阈值方法,将轴承图像划分为背景和目标两个区域,但当图像中出现本文中所述的情况时,单阈值检测图像就不能完全检测到缺陷,图4所示为利用单OSTU算法分割出来的结果,如果图4中不存在像素灰度值为0的缺陷区域,则算法会认为该轴承没有缺陷,从而判定为合格产品,这就出现了误

判.本文分别对只存在低于目标灰度值的缺陷,不存在缺陷和只存在高于目标灰度值的缺陷各取40幅轴承图像,分别为样本1,样本2和样本3,进行实验对比.结果如表1所示.

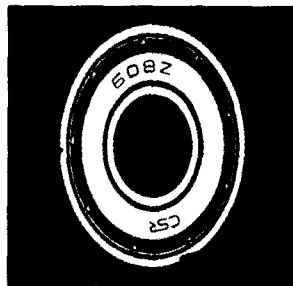


图4 单阈值分割

表1 实验结果对比

样本情况	缺陷检测结果			实际缺陷情况
	单阈值 算法	多阈值 算法	本文 算法	
样本1	有	难以检测	有	有
样本2	无	难以检测	无	无
样本3	无	有	有	有

表1给出了三种算法针对三种不同样本的缺陷检测结果,结果表明单阈值算法无法检测只存在高于目标灰度值的缺陷,而多阈值算法仅对存在高于目标灰度值的缺陷情况作出正确的检测.本文算法综合了二者的优点,检测结果与实际情况相吻合.

3.3 运行速度分析比较

与单阈值算法比较,本文算法采用两次OSTU算法,就其算法复杂度上来讲为其两倍,但文中依据轴承图像的特点,对其两次阈值取值范围都有所缩小,两次阈值范围之和并不为单阈值算法中所述的阈值范围的两倍,就其实验情况,二者的运行时间较为接近.

与OSTU多阈值分割算法比较,其算法的时间复杂度为:若图像的灰度级数为 m ,需要在0到 $m-1$ 之间找出两个值 t_0, t_1 ,来分隔图像,不妨设 $t_1 > t_0$,即 m 在个数中取出两个不同的数,这种取法的组合数为 $C_m^2 = \frac{m(m-1)}{2}$,然后代入二阈值OSTU算法^[7],且每次二阈值OSTU算法需要 $(6+m)$ 次乘法运算, $(2+m)$ 次加法运算,所以其复杂度为 $O(m^3)$.而在本文算法复杂度为单阈值OSTU算法的复杂度 $O(m^2)$.

综上所述,本文算法在检测效果上克服了两种阈值算法的缺点,达到了检测效果;在运行速度与普

(下转第104页)

域一样,但是由于节点个数不同划分的结果也不相同,整体来说簇头的分布位置比较均匀,一般都被多个节点包围,达到了设计目的。

5 结束语

图书馆书库对环境要求严格,针对图书馆环境监测领域的应用特点,结合传感器网络信息采集数据周期性强、单次数据少等特点,设计了一种适用于书库环境信息采集的无线传感器网络分簇机制,该机制在选择簇头时考虑剩余能量和节点分布情况,保证拥有较多邻居,并且能量较高的节点才能当选为簇头,通过计算不同分簇数对应的能耗来确定最佳分簇个数。仿真结果表明,本文提出的方法确保能量较大的节点当选簇头,选举出的簇头在几何位置上分布均匀,有效的减小了网络能耗,延长网络寿命,使传感器网络监控系统具有较强的实用价值。

参考文献:

- [1] 曹涌涛. 无线传感器网络自组织算法关键技术的研究[D]. 上海:上海交通大学,2007.
- [2] Li Q, Aslam J, Rus D. Hierarchical power-aware routing in sensor networks[C]// Proc of the DIMACS Workshop on Pervasive Networking. Rutgers University; IEEE,2001: 387-393.
- [3] Younis M, Youssef M, Arisha K. Energy-aware rou-

ting in cluster-based sensor networks[C]// Proc of IEEE International Symp. on Modeling, Analysis and Simulation of Computer and Telecommunications Systems. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society, 2002: 129-136.

- [4] Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H. Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks[C]// Proceedings of the Hawaii International Conference on System Sciences. Washington, DC, USA: IEEE Computer Society,2000: 223-233.
- [5] Younis O, Fahmy S. Distributed clustering in ad-hoc sensor networks: a hybrid, energy-efficient approach[C]//Proc IEEE INFOCOM, [s. l.]; IEEE,2004: 750-756.
- [6] 郭斌,李喆. 无线传感器网络中基于剩余能量的联合选举动态成簇路由算法[J]. 电子与信息学报,2007,29(12):3006-3010.
- [7] 郝小辰,郭力培,刘彬. 无线传感器网络中能耗平衡的混合路由模型研究[J]. 传感技术学报,2008,21(1):113-117.
- [8] Mhatre V, Rosenberg C. Design guidelines for wireless sensor networks: communication, clustering and aggregation[J]. Ad Hoc Network Journal. 2004 2(1): 45-63.

作者简介:

黄珍珍 女,(1981-),硕士,助理馆员. 研究方向为信息技术.

(上接第 100 页)

通单阈值算法检测速度接近,比多阈值算法要快。

4 结束语

本文针对目前应用单阈值图像检测产品缺陷方法的局限性,而多阈值分割算法仅能检测高于目标灰度缺陷的情况,提出了一种基于 OSTU 多次阈值快速检测轴承表面缺陷的方法,并根据实际情况及依据轴承图像的特点缩小了阈值取值的范围,实验证明,在保证一定检测速度情况下,该方法较前两种方法提高了轴承缺陷的检测正确率。

参考文献:

- [1] 张杨,朱善安. 基于小波变换及纹理特征的轴承防尘盖缺陷检测[J]. 计算机工程,2010,36(8):247-250.
- [2] 焦圣喜,张利辉,江绛. 图像检测技术在工件在线分选中的应用[J]. 机床与液压,2010,38(5):71-72.
- [3] Tang B, Kong J Y. Surface inspection system of steel strip based on machine vision[C]//First International

Workshop on Database Technology and Applications. China, Wuhan; IEEE,2009:359-362.

- [4] Kang G W, Liu H B. Surface defects inspection of cold rolled strips based on neural network[C]//Proceedings of the Fourth International Conference on Machine Learning and Cybernetics. China, Guangzhou; IEEE, 2005: 5034-5037.
- [5] 胡斌,宫宁生. 一种改进的 Ostu 阈值分割算法[J]. 微电子学与计算机,2009,26(12):153-155.
- [6] 陈跃飞,王恒迪,邓四二. 机器视觉检测技术中轴承的定位算法[J]. 轴承,2010(4):54-56.
- [7] 李哲学,陈树越. 快速多阈值图像分割法. 计算机应用[J],2010,30(5):1335-1337.

作者简介:

陶青平 男,(1985-),硕士. 研究方向为人工智能与模式识别

吴锡生 男,(1959-),博士,教授. 研究方向为人工智能、模式识别、图像处理等。