

表面检测中微小缺陷的识别

程万胜^{1,2}, 赵杰¹, 宋军³

(1. 哈尔滨工业大学 机器人研究所, 哈尔滨 150080; 2. 辽宁科技大学 电子与信息工程学院, 鞍山 114044; 3. 鞍钢集团矿业公司 弓长岭矿业公司 动力厂, 鞍山 114047)

摘要:在表面缺陷检测中, 针对光照不均或有纹理的产品上微小缺陷难于识别的问题, 提出了一种新的视觉识别方法。该方法首先计算产品表面图像中每行和每列的灰度标准差, 然后根据标准差的相对变化量判别缺陷, 并确定缺陷的坐标。实验结果表明, 该方法能准确识别和定位产品表面的微小缺陷。

关键词:表面检测; 微小缺陷; 视觉识别

中图分类号: TG115.28; TP391.41

文献标识码: A

文章编号: 1000-6656(2008)04-0211-02

Identifying Small Defects in Surface Inspection

CHENG Wan-Sheng^{1,2}, ZHAO Jie¹, SONG Jun³

(1. Robotics Institute, HIT, Harbin 150080, China; 2. School of Electronic and Information Engineering, USTL, Anshan 114044, China; 3. Power Plant, Gongchangling Mining Corp, AISG, Anshan 114047, China)

Abstract: In surface defect inspection, a novel approach was introduced for identifying small defects on the object with non-uniform illumination or homogeneous texture. Firstly, it was to calculate the grey-level standard deviations of each row and each column in the surface image. Secondly, based on the relative variance of standard deviation, it could be confirmed whether defects were occurring or not, and the coordinate of the defect might be fixed on too. Experimental results indicated that the small defect in surface image of product could be identified accurately by this method.

Keywords: Surface inspection; Small defect; Vision identifying

在带钢、造纸、玻璃、纺织和陶瓷等行业, 产品的表面质量是一个重要的质量指标。目前, 机器视觉作为表面缺陷检测的主要技术得到了飞速发展。缺陷的识别、分割、特征提取及分类是机器视觉中的研究热点和难点, 如果不能正确识别缺陷, 那么缺陷的分割、特征提取和正确分类将受到影响。目前, 图像识别技术有基于阈值(如 Otsu 的类间距最优阈值法^[1,2]、梯度直方图自适应阈值^[3]等)和基于人工智能(BP 神经网络分割^[4]、支持向量积的图像识别^[5]、模糊图像识别^[6]等)等方法, 但对于微小缺陷的识别却达不到理想的效果。尤其是识别光照不均或有一定纹理的图像中的微小缺陷时, 图像的灰度值不是

很稳定。如果直接用阈值法, 需要阈值的自动调节, 而现有依据灰度直方图自动选择阈值的方法, 从有无缺陷几乎一致的直方图中很难自动寻找到适当的阈值; 而人工智能的方法需要用大量的样本进行训练, 为实际应用带来了难度。

在研究使用线阵 CCD 摄像机检测表面缺陷的过程中, 笔者总结出了一种灰度标准方差的微小缺陷识别算法。该法通过建立空间相关的统计数学模型, 可以准确确定是否存在缺陷并对缺陷定位。

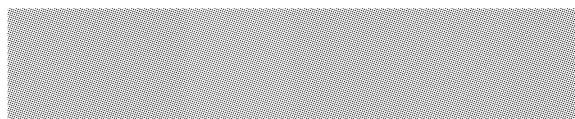
1 方法介绍

线阵摄像机采集图像时, 摄像机和被测目标发生相对位移, 形成对目标的二维行扫描图像信息。无缺陷时, 一行中各像素的灰度值比较接近, 如图 1a 是采集到正常表面一行图像中的 10 个像素, 各个像素的灰度值用 16 位编码分别表示为 B9,

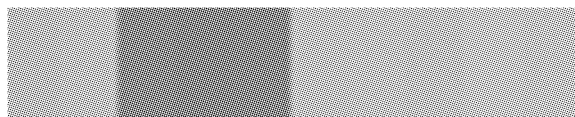
收稿日期: 2007-11-27

基金项目: 长江学者和创新团队发展计划基金资助(IRT0423)

作者简介: 程万胜(1969—), 男, 博士生, 主要研究方向是机器视觉在工业检测中的应用。



(a) 正常图像



(b) 含缺陷图像

图1 采集到的某行图像灰度示意图

BC, BE, BC, C0, BD, BE, BC, C0 和 BE; 如果有缺陷, 灰度值发生变化, 如图 1b 是含有缺陷的一行图像中 10 个像素示意图, 其中第 3~5 像素的灰度值与其它像素的灰度值明显不同, 其灰度值分别为 B9, BC, 8B, 88, 8A, BD, BE, BC, C0 和 BE。

设每个像素的灰度值为 x_{ij} , 其中 i 为行号, j 为列号, N 为每行的像素数, 则行的灰度均值为:

$$\bar{x}_i = N^{-1} \sum_{j=1}^N x_{ij} \quad (1)$$

行灰度值的方差为:

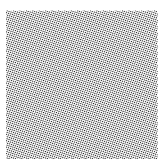
$$S_i^2 = N^{-1} \sum_{j=1}^N (x_{ij} - \bar{x}_i)^2 \quad (2)$$

可以计算出图 1a 中行的标准差为 2.238, 图 1b 中行的标准差为 23.529。有缺陷和无缺陷图像的方差特征非常明显, 由此可以把行、列灰度方差作为判断缺陷是否存在特征。即使对光照不均或有纹理的产品表面图像, 其灰度方差特征也是稳定在某定值附近。由现场检测经验可知, 无缺陷时, 同一纹理产品灰度值的方差变化不大。

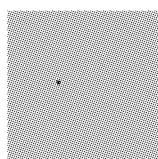
由此可以认为, 如果表面图像的每行及每列的灰度标准差超过设定阈值, 即可认为存在缺陷, 否则就无缺陷。标准差超过阈值的行、列号就确定了缺陷的坐标。

2 仿真实验

图 2 是两幅带有纹理的 120×120 的灰度图。对图 2a 和 b 的行列分别求灰度标准差, 得到图 3 和



(a) 正常图像



(b) 含缺陷图像

图2 某带纹理产品的灰度图

4 的行列标准差曲线。可见, 图 3(无缺陷时)标准差很平稳, 在 2.7~2.8 变化; 图 4(有缺陷时)的标准差变化很大, 超过了 3.1; 如果设置标准差阈值为 2.85, 从曲线图中可确定缺陷的中心位置为 (41, 57)。

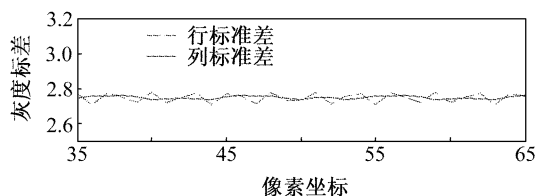


图3 正常图像的行列标准差曲线图

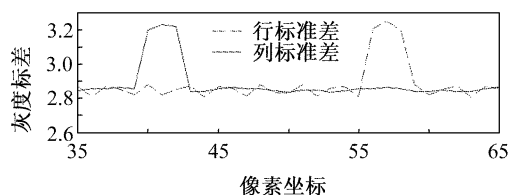


图4 含缺陷图像的行列标准差曲线图

3 实验验证

采用上述方法对产品实际表面图像进行分析, 其灰度标准差曲线见图 5 和 6。由于产品表面具有杂乱纹理, 其正常标准差在 16~26 之间稳定变化; 有缺陷时, 缺陷所在行和列的标准差明显变大, 都超过了 30, 于是很容易识别缺陷的存在, 并根据行列号确定缺陷的具体坐标。

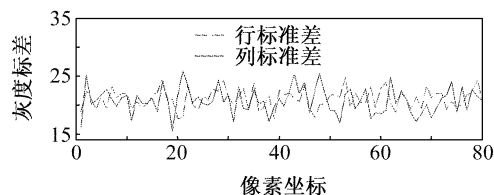


图5 正常产品表面标准差曲线图

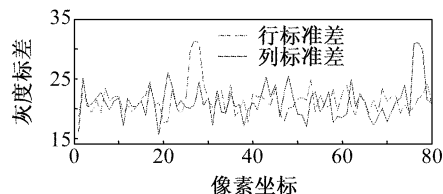


图6 含缺陷产品表面标准差曲线图

4 结论

通过以上统计分析, 提出用灰度标准差方法识别光照不均或带有纹理的产品表面微小缺陷, 并用

(下转第 215 页)

验结果吻合,其拟合公式为:

$$\ln \beta = a\sigma + b \quad (6)$$

式中 a 和 b 为仅与材料性质有关的常数,根据表 1 的实验数据拟合,可得 45 号结构钢 $a = -0.1034$, $b = 5.906$ 。至此,基于电阻变化检测 45 号钢构件损伤状态及预测高周疲劳剩余寿命的公式可归纳为:

$$D = \frac{\Delta R}{\Delta R + R_0}$$

$$N_r = \frac{N}{\left(\frac{\Delta R}{R} + 1\right)^{\frac{2+e^{5.906-0.1034\sigma}}{2}} - 1} \quad (7)$$

需要说明的是,由于受试验周期和实验条件等限制,对 45 号结构钢的高周疲劳试验仅进行了五组不同应力幅的情况,拟合公式的普遍适用性尚待进一步验证。

3 结论

(1) 在外载荷作用下,随着材料内部损伤积累,导电性能下降,金属构件的电阻变化能敏感而且较精确地反映构件内部的损伤演化过程,特别是非线性累积规律。电阻法因其简单易行、敏感精确,可以用于高周疲劳损伤非线性累积检测,也可以推广用于金属构件其它形式的损伤累积研究。

(2) 试验和理论公式都表明:在构件高周疲劳损伤累积过程中,前期较长时间内的电阻值增长缓慢;损伤后期电阻上升速度迅速加快,直至材料断裂时迅速增至最大值。两个阶段正好对应于疲劳损伤演化过程中的微缺陷形成与连接并萌生宏观裂纹和宏观裂纹扩展导致断裂两个阶段,因此电阻变化能形象地反映微观疲劳损伤演化全过程。

(3) 文章结合非线性连续疲劳损伤理论并考虑应力幅的影响,给出了结构钢高周疲劳损伤检测思路和剩余寿命预测模型,提出了模型中待定参数与

材料特性有关的函数表达式以及试验测定方法。理论曲线与 45 号钢试验结果相当吻合,且提出的探测方法简单易行,可供工程实践参考。

(4) 由于理论推导中的假设条件,导致理论模型结果与试验结果相比较有少量偏差,但在工程误差允许范围之内。若考虑到损伤的各向异性、不均匀性、塑性变形、电阻率的变化以及电阻率的各向异性,将会使模型更加精确。

参考文献:

- [1] 吴彦,沈功田,葛森. 起重机无损检测技术[J]. 无损检测, 2006, 28(7): 367—372.
- [2] XiaoYC, Li S, Gao Z. A continuum damage mechanics model for high cycle fatigue[J]. International Journal of Fatigue, 1998, 20(7): 503—508.
- [3] Alves M, Yu JL, Jones N. On the elastic modulus degradation in continuum damage mechanics[J]. Computer and Structure, 2000, 76(6): 703—712.
- [4] 马宝钿,杜百平,朱维斗,等. 电阻法检测疲劳损伤及预测修复效果探讨[J]. 理化检验(物理分册), 2002, 38(11): 493—495.
- [5] Chen Q, Kawagoishi N, Nisitani H. Evaluation of fatigue crack growth rate and life prediction of Inconel 718 at room and elevated temperatures[J]. Materials Science and Engineering A, 2000, 277(2): 250—257.
- [6] 周洪刚. 金属材料高周疲劳损伤研究和寿命预测探索[D]. 杭州:浙江大学, 2003.
- [7] 黄丹,许平聪,郭乙木. 金属疲劳剩余寿命预测模型的一种探索[J]. 实验力学, 2003, 18(1): 113—117.
- [8] 孙斌祥,郭乙木. 考虑电阻率变化的电阻法预测金属材料剩余寿命[J]. 工程设计, 2001, 8(2): 81—84.
- [9] Fatemi A, Yang L. Cumulative fatigue damage and life prediction theories: A survey of the state of the art for homogeneous materials[J]. International Journal of Fatigue, 1998, 20(1): 9—34.

(上接第 212 页)

仿真和实际应用验证了该方法的有效性和可行性。

参考文献:

- [1] Otsu N A. Threshold selection method form gray level histogram[J]. IEEE Trans on Syst Man Cybern, 1979, 9(1): 61—66.
- [2] Kittler J Illingworth J. Minimum error threshold[J]. Pattern Recognition, 1986, 19(1): 41—47.
- [3] 岳贤军. 产品表面图像中的缺陷自动检测方法研究

[J]. 微计算机信息, 2007, 23(6): 297—299.

- [4] 杨治明,王晓蓉,陈应祖. 基于 BP 人工神经网络图像分割技术[J]. 计算机应用, 2006, 26(12): 145—146.
- [5] Jia H B, Yi L M, Shi J J. An intelligent real-time vision system for surface defect detection[C]. Proceedings of the 17th International Conference on Pattern Recognition, Cambridge, 2004: 239—242.
- [6] 陆懿,陈光梦,程松. 一种基于模糊集的灰度图像阈值分割算法[J]. 计算机工程与应用, 2007, 43(20): 75—77.