

基于改进多尺度形态学的带钢缺陷图像边缘检测

张利红¹, 梁英波¹, 吴定允¹, 朱思峰²

(1. 周口师范学院物理与电子工程系, 河南 周口 466001; 2. 周口师范学院数学与信息科学系, 河南 周口 466001)

摘要:针对目前板带钢表面缺陷在线检测过程中无法准确地检测出所有缺陷边缘问题, 根据带钢缺陷的特点, 分析了结构元素的选取, 提出了一种将多尺度形态学和多结构元素有机结合的边缘检测方法。该方法首先进行多尺度形态学滤波降噪, 分别求取 0° 结构元素、 45° 结构元素、 90° 结构元素和 135° 结构元素带钢缺陷图像边缘; 其次通过一定的运算组合, 提取多结构边缘; 最后对得到的带钢缺陷图像的边缘作二值化处理, 再细化边缘得到缺陷图像边缘的最终结果。实验结果表明, 该方法较好地解决了边缘检测精度与抗噪性能之间的协调问题, 实现了在多个尺度上提取板带钢表面缺陷的边缘。同时能够较好地保留图像中缺陷的边缘细节信息, 为带钢表面缺陷在线检测系统中自动分割、缺陷识别等后续处理奠定了基础。

关键词:板带钢表面缺陷; 边缘检测; 多尺度; 多结构元素

中图分类号: TN 911. 73 **文献标识码:** A **DOI:** 10. 3969/j. issn. 1001-5078. 2014. 03. 024

Strip steel surface defects imaging edge inspection based on improved multi-scale morphology

ZHANG Li-hong¹, LIANG Ying-bo¹, WU Ding-yun¹, ZHU Si-feng²

(1. Department of Physics and Engineering, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China;

2. Department of Mathematics & Information Science, Zhoukou Normal University, Zhoukou 466001, China)

Abstract: Aiming at detecting all the edge defects in the surface of strip steel, one way to select the structural elements is analyzed. A new edge detection method which combines multi-scale morphology with multi-structure element is proposed. Firstly, multi-scale morphological filtering method is used to get the edge of 4 structural elements; secondly, the image edge is extracted by some operations. Finally, the binary edge image is processed and the final result is obtained by edge thinning. The results show that the method solves the coordination problem between edge detection precision and denoising ability, the edges detail can be preserved well by extracting surface defect of strip steel edge at multiple scales, which establishes a basis for on-line inspection and automatic segmentation.

Key words: surface defects of board strip; edge detection; multi-scale; multi-structure elements

1 引言

带钢作为航空航天、汽车制造和日常生活用品的原材料, 其质量要求越来越严格。然而带钢制造过程中会产生表面缺陷。这些缺陷大大降低了产品的抗腐蚀性等性能, 钢铁企业花费大量的人力物力检测表面质量, 以便及时发现缺陷并加以控制。但目前带钢缺陷的检测主要依赖于人眼的操作, 这主要是因为现有的边缘检测算法中, 没有一种能够准

确的检测出边缘, 因此, 探求实用的算法意义重大^[1]。图像边缘检测的关键是在尽量多地检测到图像边缘的同时更有效地抑制噪声。

基金项目: 国家自然科学基金(No. U1204618); 河南省教育厅科技研究重点项目(No. 13B510275); 河南省科技厅科技攻关重点项目(No. 122102210170)资助课题。

作者简介: 张利红(1982-), 硕士, 讲师, 主要从事信号与信息处理和图像处理方面的教学与研究。E-mail: dabang662@163.com

收稿日期: 2013-07-08

常用的边缘检测算子如 Canny、Sobel 常常在检测边缘的同时加强噪声^[2],形态边缘检测器不会放大噪声^[3],但单尺度的形态学梯度算子的性能取决于结构元素的大小;尺度大的结构元素虽然去噪能力强,但会模糊图像细节;尺度小的结构元素虽然能很好的保持图像的细节信息,但是去噪能力弱^[4]。针对以上边缘检测方法的优缺点,本文在单尺度形态学梯度边缘检测的基础上,提出了一种多结构多尺度形态学梯度边缘检测算法,并将其应用于带钢缺陷的边缘检测,利用多结构元素可以检测出带钢缺陷图像不同方向的边缘,多尺度形态学边缘检测可以利用大尺度下的抗噪特性抑制噪声^[5],可靠地识别边缘;利用小尺度下的定位特性,再由粗到细跟踪边缘,得到带钢缺陷图像边缘的位置。实验结果表明本文提出的算法具有很强的抗噪性,能有效地检测到带钢缺陷图像的边缘。

2 多结构多尺度形态学梯度的边缘检测

单尺度形态学梯度定义为:

$$\text{Grad}[f(x,y)] = (f(x,y) \oplus g(x,y)) - (f(x,y) \ominus g(x,y)) \quad (1)$$

单尺度形态学梯度算子的性能取决于结构元素 $g(x,y)$ 的大小。小尺度滤波虽然边缘细节丰富,得到较准确的边缘定位,但是滤波性能差,轮廓模糊;在大尺度下,滤波性能好,轮廓清晰,但是边缘细节丢失,边缘定位上会有一定的偏差。文献[3]综合不同尺度的特性实现互补作用提出了多尺度形态学梯度算子,多尺度形态学梯度定义为:

$$G_n(f(x,y)) = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n [((f(x,y) \oplus g_i(x,y)) - (f(x,y) \ominus g_i(x,y))) \ominus g_{i-1}(x,y)] \quad (2)$$

多尺度形态学梯度算子存在以下两个缺点:①去噪效果不是很好;②图像边缘细节的提取不够完整。因此,本文从去噪和多结构元素两个方面来改进算法。

2.1 多尺度形态学滤波降噪求取图像边缘

本文在文献[6]提出由闭-开运算完成预处理以滤除噪声基础上,首先做闭运算平滑图像,再对平滑的图像作多尺度的形态学梯度。具体算法如下:

$$M(x,y) = [(f(x,y) \cdot g(x,y)) \circ g(x,y)] \cdot g(x,y) \quad (3)$$

其中, \circ 表示开运算符号^[7],目的是消除与结构元素相比尺寸小的亮细节; \cdot 表示闭合运算符号,目的是消除与结构元素相比尺寸较小的暗细节。式(3)可

以同时滤除亮区与暗区中的各类噪声。 $M(x,y)$ 为 $f(x,y)$ 平滑后的图像,再将此和多尺度形态学梯度结合起来,则得到多尺度形态学滤波降噪求取图像边缘:

$$MG_n(f(x,y)) = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^n [((M(x,y) \oplus g_i(x,y)) - (M(x,y) \ominus g_i(x,y))) \ominus g_{i-1}(x,y)] \quad (4)$$

2.2 多结构元素方面的改进

多尺度形态学滤波降噪求取图像边缘公式中采用单一的结构元素,很难检测到不同方向的边缘,因为单结构元素只能检测出与结构元素同方向的边缘,而对与结构元素不同方向的边缘不敏感,因此效果不是很理想。解决此问题的一个有效方法就是采用多个结构元素,分别对图像进行运算,然后将运算后的图像合并起来,即多结构元素形态学运算^[8]。

结构元素的划分有两种方式:一种是 B_i 为不同的几何形状结构元素,如圆形、菱形、正方形等,这种方式运算复杂、效率不高;另一种方式是对原来的大结构元素进行分解产生不同的结构元素,这种方式简单,运算效率高,可以较好的检测到一些细节边缘信息。综合考虑计算的复杂度和边缘检测的效果,实验中取 $n=4, m=4$, 其中, $i=1$ 为 0° 方向的的结构元素; $i=2$ 为 45° 方向的结构元素; $i=3$ 为 90° 方向的结构元素, $i=4$ 为 135° 方向的结构元素。 $j=1$ 表示创建的是 3×3 的结构元素; $j=2$ 表示创建的是 5×5 的结构元素; $j=3$ 表示创建的是 7×7 的结构元素; $j=4$ 表示创建的是 9×9 的结构元素。其中, 3×3 的 $0^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 135^\circ$ 四个方向的结构

元素分别为: $\begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix},$

$\begin{bmatrix} 0 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \\ 1 & 0 & 0 \end{bmatrix}$ ^[9], 5×5 结构元素、 7×7 结构元素、 9×9

结构元素与此类似。

3 本文的算法

本文算法的流程图如图 1 所示。具体的步骤如下:

(1) 多尺度形态学滤波降噪。对分解出的四个结构元素分别按着式(4),同时取 $n=4$,有:

$$MG_n(f(x,y)) = \frac{1}{n} \times \sum_{i=1}^4 [((M(x,y) \oplus g_i(x,y)) - (M(x,y) \ominus g_i(x,y))) \ominus g_{i-1}(x,y)]$$

进行多尺度形态学滤波降噪,求取带钢缺陷图像边缘,获得带钢缺陷图像在不同响应下的边缘。

(2)多结构边缘提取。通过算法将上述四个角度结构元素得到的边缘进行组合,本文采用线性相加的方法,即: $MMG_n(f(x,y)) = \sum_{j=1}^4 p_j MG_n^j(f(x,y))$ 考虑到带钢缺陷图像的特殊性和计算的复杂度,这里取 p_1, p_2, p_3 和 p_4 均等于 0.25。

(3)后期处理。对得到的带钢缺陷图像的边缘作二值化处理,再细化边缘得到缺陷图像边缘的最终结果。

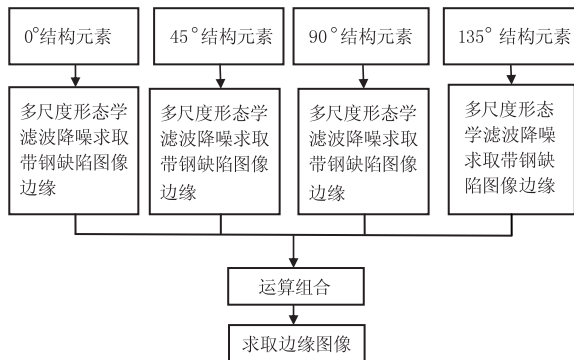


图1 算法的流程图

本算法在 CPU 为 2.93GHz、内存为 4G 的计算机上,通过 MATLAB 语言编程完成。运用本算法对采集出的一带钢边裂缺陷图像作边缘检测。

4 实验结果与分析

在无噪声干扰的情况下,就本文算法处理结果与 Sobel 算子、Canny 算子、文献[6]方法、文献[8]方法进行了对比。图 2 是无噪声存在下的原始带钢边裂缺陷测试图,图 3 是 Sobel 算子所得的结果图,图 4 是 Canny 算子所得结果图,图 5 是为文献[6]方法所得结果图,图 6 是文献[8]方法所得结果图,图 7 是本文方法所得结果图。从边缘检测的效果看,在没有受到噪声干扰的情况下,图 6 文献[8]算法和图 7 本文算法均能较好的进行边缘提取;图 5 为文献[6]方法进行边缘提取时丢失了一部分中下方带钢的边裂边缘,可能会导致后续的带钢表面缺陷在线检测系统缺陷识别时没有识别出相应的缺陷,从而给使用带钢的公司带来不必要的损失;因为原始带钢边裂缺陷图像细节丰富,故图 3 Sobel 算子边缘提取时丢失了许多重要的细节,且边缘不连贯,效果较差;图 4 中 Canny 算子有许多虚假的边缘,提取的边缘会导致带钢表面缺陷在线检测系统缺陷识别时错误的识别。

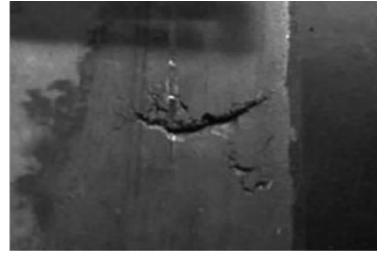


图2 原始带钢边裂缺陷测试图

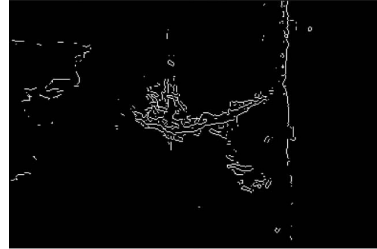


图3 Sobel 算子所得结果图

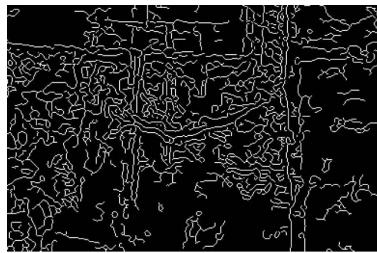


图4 Canny 算子所得结果图

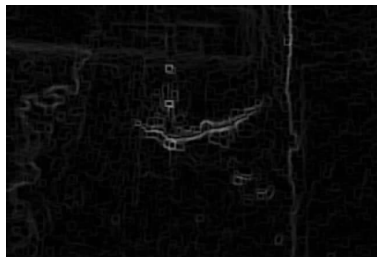


图5 文献[6]所得结果图

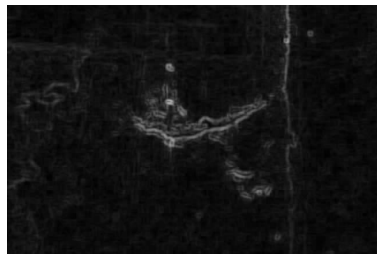


图6 文献[8]所得结果图

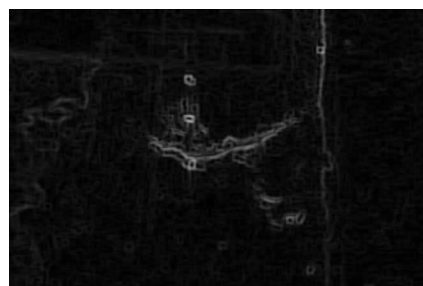


图7 本文算法所得结果图

有噪声存在的条件下,本文算法处理结果分别与形态学梯度、文献[6]方法、文献[8]方法、文献[9]方法进行的结果图对比。其中图8是原始带钢边裂缺陷加噪测试图;图9是用形态学梯度算法提取边缘所得结果图,从图中可以清楚地看到:在检测边缘的同时加强噪声,提取的边缘严重的淹没在噪声中;图10为采用文献[6]的方法提取边缘所得结果图,从图10中可以看到中下方带钢的部分边裂边缘丢失,可能会导致后续的带钢表面缺陷在线检测系统缺陷识别时没有识别出相应的缺陷,从而给使用带钢的公司带来不必要的损失,且仍有少量的噪声存在;图11文献[8]方法和图12文献[9]方法均能较好地提取带钢缺陷的边缘,只是在边缘检测图中有极少量的噪声存在。图13是本文方法所得结果图,从边缘检测的效果看,在受到噪声干扰的情况下,本文算法能在有噪声的时候较好地提取出带钢缺陷图像的边缘,并且去噪的效果较好;因此,本文算法具有较好的噪声鲁棒性和更高的边缘检测精度。



图8 原始带钢边裂缺陷加噪测试图

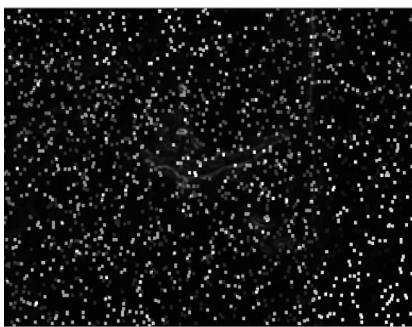


图9 形态学梯度所得结果图

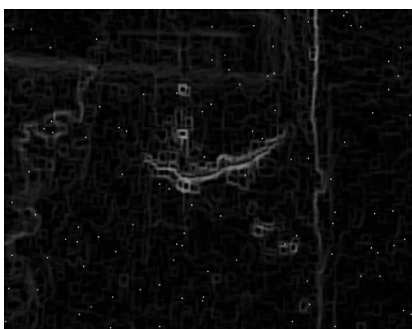


图10 文献[6]所得结果图

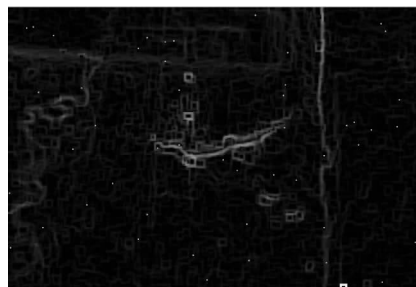


图11 文献[8]所得结果图

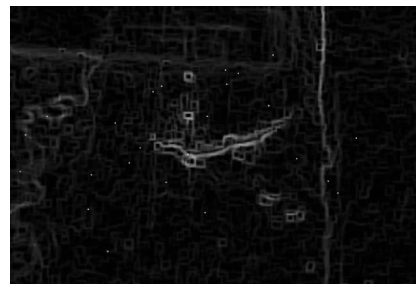


图12 文献[9]所得结果图

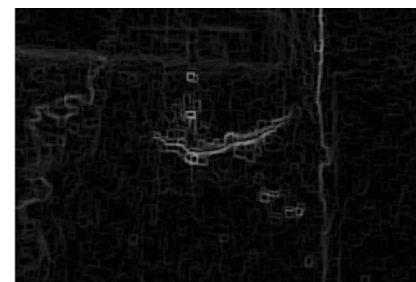


图13 本文算法所得结果图结果图

5 结论

本文提出了一种结合多结构元素和多尺度的特性的边缘检测算法,为验证本文算法的缺陷边缘检测性能,对采集到的带钢表面边裂缺陷图像进行边缘检测处理,并与传统算法和一些文献介绍的边缘处理效果进行比较。结果表明,本文提出的算法在抑制噪声方面明显优于其他方法,且检测的边缘清晰连贯,边缘细节信息保留的较好。而实际工业生产线在线采集的图像大多有较强的噪声,因此本文算法非常适合于这种含噪声的带钢缺陷图像的边缘检测,本文提出的带钢缺陷边缘检测算法对于在线检测系统后续的缺陷检测、缺陷识别等奠定了良好的基础。

参考文献:

- [1] Wu Degang, Zhang Yubo, Cao Libo. Improved algorithm of fuzzy edge-detection [J]. Laser & Infrared, 2010, 40(12):1474-1377 (in Chinese)
吴德刚,张宇波,曹立波.一种改进的模糊边缘检测算法[J].激光与红外,2010,40(12):1474-1377.
- [2] Maliyamu Abulaizi, Eilimnur Abiljan, Turghunjan Ab-

- dukirim Turki. Method of image edge detection based on dyadic wavelet transform [J]. *Laser & Infrared*, 2012, 42 (12): 1389 - 1392 (in Chinese)
- 马丽亚木·阿布来孜, 艾力米努·阿布力江, 吐尔洪江·阿布都克力木. 一种基于二进小波变换的图像边缘检测方法 [J]. *激光与红外*, 2012, 42 (12): 1389 - 1392.
- [3] Yang Gaobo, Du Qingsong. MATLAB image/video processing applications [M]. Beijing: Electronic Industry Press, 2010. (in Chinese)
- 杨高波, 杜青松. MATLAB 图像/视频处理应用实例 [M]. 北京: 电子工业出版社, 2010.
- [4] Liu Qing, Lin Tusheng. Image edge detection algorithm based on mathematical morphology [J]. *Journal of South China University of technology: Natural Science Edition*, 2008, 36(9): 113 - 116 (in Chinese)
- 刘清, 林土胜. 基于数学形态学的图像边缘检测算法 [J]. *华南理工大学学报: 自然科学版*, 2008, 36(9): 113 - 116.
- [5] Kang Jie, Yang Gang. Simulation research of adaptive weight morphological edge detection algorithm [J]. *Computer Engineering and Applications*, 2010, 46(17): 163 - 165. (in Chinese)
- 亢洁, 杨刚. 自适应权重形态学边缘检测算法仿真研究 [J]. *计算机工程与应用*, 2010, 46(17): 163 - 167.
- [6] Rao Haitao, Weng Guirong. The image edge detection based on mathematics morphology [J]. *Journal of Suzhou University: Natural Science Edition*, 2004, 20(2): 42 - 45 (in Chinese)
- 饶海涛, 翁桂荣. 基于数学形态学的图像边缘检测. [J]. *苏州大学学报: 自然科学版*, 2004, 20(2): 42 - 45.
- [7] Wei Na, Wang Zhenchen, Zhang Cong, et al. Research of a new license plate location algorithm [J]. *Laser & Infrared*, 2012, 42(8): 936 - 939. (in Chinese)
- 魏娜, 王振臣, 张聪, 等. 一种新型车牌定位算法的研究 [J]. *激光与红外*, 2012, 42(8): 936 - 939.
- [8] Zhang Lihong, Liang Yingbo. Flame image edge detection based on multi-scale and multi-structuring elements morphology [J]. *Video Engineering*, 2012, 36(11): 138 - 139. (in Chinese)
- 张利红, 梁英波. 基于多尺度多结构形态学的火焰图像边缘检测 [J]. *电视技术*, 2012, 36(11): 138 - 139.
- [9] Zhang Lihong, Liang Yingbo, Zhi Lianhe, et al. The edge-detection of medical image based on multi-scale morphological gradient [J]. *Laser Magazine*, 2012, 33(3): 104 - 105. (in Chinese)
- 张利红, 梁英波, 支联合, 等. 基于多结构多尺度形态学梯度的医学图像边缘检测 [J]. *激光杂志*, 2012, 32(3): 31 - 32.