

# 焊缝缺陷的超声检测图像识别方法<sup>①</sup>

姜金为<sup>1</sup>, 吴瑞明<sup>2</sup>, 刘云峰<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(浙江工业大学 机械工程学院, 杭州 310014)

<sup>2</sup>(浙江科技学院 机械学院, 杭州 310023)

**摘要:** 内部缺陷是影响焊接结构质量的主要因素. 为了分析焊缝内部缺陷, 快速得到敏感度高、边缘清晰的图像数据, 本文根据焊缝缺陷的特点, 结合声图像的特殊性, 采用基于形态学的有噪彩色图像边缘检测方法, 对原始图像进行滤波处理, 实现了缺陷信息的有效分割, 然后根据缺陷的特点通过数学统计的方法统计缺陷的特征值, 最后通过实验证明该方法对缺陷的正确识别具有比较好的效果.

**关键词:** 图像处理; 缺陷识别; 超声检测; 边缘检测

## Recognition Method of Ultrasonic Testing Image about Weld Defect

JIANG Jin-Wei<sup>1</sup>, WU Rui-Ming<sup>2</sup>, LIU Yun-Feng<sup>1</sup>

<sup>1</sup>(College of Mechanical Engineering, Zhejiang University of Technology, Hangzhou 310014, China)

<sup>2</sup>(School of Mechanical and Automotive Engineering, Zhejiang University of Science and Technology, Hangzhou 310023, China)

**Abstract:** Internal defects are the main factor which affect the quality of welded structures. In order to analyze the internal defects of the weld, image data with high sensitivity and sharp edges is needed to acquire. Detection method of noised color image edge based on morphology is proposed according to the characteristics of the welded defects and specialty of sound image. This paper achieves the effective segmentation of the defect information through filter process of original image, distinguishes the characteristics of defects by mathematical statistical method based on characteristics of defects. Finally, experiment proves that this method have a relatively good result for correct identification of the defects.

**Key words:** image processing; defect detection; ultrasonic testing; edge detection

焊接结构在能源、航空航天、石油化工等行业的大型装置设备中是基础性的结构. 由于本身材质不完善, 焊接过程中存在的缺陷有扩展甚至发生灾难性后果的可能性. 因此提前检测出焊接结构的缺陷就可以确保设备的安全运行. 文献[1-2]中指出缺陷的准确检测可以使得新材料、新工艺的优化设计更加有效.

超声检测因具有对缺陷检出率高、检测效率高、适应性广泛以及声束指向性好等优点, 常应用于材料缺陷检测. 超声检测缺陷识别是超声检测领域研究的热点与难点之一. 随着工业的发展, 超声检测缺陷识别技术的更高也要求, 不但要检测出缺陷的有无, 还需明确缺陷的大小、类型及分布等性质. 超声成像便于对检测

缺陷进行分析, 通过对图像的分析与观察可以知道更多的缺陷信息. 先进的数字信号处理技术及图像处理技术在现代焊接质量检测中的应用日益广泛<sup>[3]</sup>.

目前, 已有很多典型的运用图像处理技术进行对象识别的范例, 如运用小波变换的指纹检测<sup>[4]</sup>, 基于OTSU 算法的木材缺陷识别方法<sup>[5]</sup>, 利用不变矩的目标识别<sup>[6]</sup>等. 这些技术都是根据对象固有的细节特性或形状特征进行识别, 但是焊缝缺陷没有固定的细节特性或形状特征. 因此, 只能采取相对比较稳定的统计方式进行缺陷识别. 在本文中为了使超声图像变得直观和便于进行缺陷的定性定量分析, 先对图像进行边缘检测, 再统计其缺陷的几何特征.

<sup>①</sup> 收稿时间:2013-04-08;收到修改稿时间:2013-05-17

### 1 超声图像预处理

超声图像不仅包含有噪声,而且图像模糊,很难将缺陷和背景分开,不利于缺陷识别.为便于图像缺陷识别,须通过图像处理来抑制噪声,改善图像质量.

图像分析就是对图像进行分割处理.边缘检测技术是图像分割、图像增强、图像复原、模式识别、图像压缩等图像分析和处理的基础<sup>[7]</sup>,是所有基于边界分割的图像分析方法的第一步,检测出边缘的图像就可以进行特征提取和形状分析.基于灰度图像的边缘检测方法众多<sup>[8]</sup>,如常用的 R oberts 算子、Sobel 算子、Prewitt 算子、拉普拉斯算子以及 Canny 算子等,曹杨等<sup>[9]</sup>提出了一种改进的 Sobel 边缘检测算法,该方法检测出的缺陷虽清晰,但容易丢失微小的缺陷信息.本文提出了一种基于形态学的有噪彩色图像边缘检测方法,该方法在图像滤波过程中,不会使缺陷图像的边缘细节变模糊,不影响图像特征的提取.

根据数学形态学的方法设计一套变换规则来描述超声图像缺陷的基本结构或基本特征.先作如下定义:

$$\text{腐蚀运算: } X \ominus B = \{x, y | B_{xy} \subseteq X\}$$

$$\text{膨胀运算: } X \oplus B = \{x, y | B_{xy} \cap X \neq \emptyset\}$$

$$\text{开运算: } X \circ B = (X \ominus B) \oplus B$$

$$\text{闭运算: } X \bullet B = (X \oplus B) \ominus B$$

其中,  $B$  表示结构元素,  $X$  表示被操作的原始超声图像.

彩色图像携带的方向、大小、色度等信息能更好的表示缺陷信息.本文使用改进的边缘检测梯度算子:

$$E(x) = ((M \bullet B) \oplus B - (M \bullet B) \ominus B)(x) \quad (1)$$

$$M(x) = ((V \circ B) \bullet B)(x) \quad (2)$$

其中,  $V(x)$  为输入的彩色图像,  $B(x)$  为结构元素,该算法的具体步骤如下:

① 通过式(3)将 RGB 空间图像转换为 HSI 空间图像,并计算 H、S、I 三个分量;

$$\begin{cases} I = \frac{1}{3}(R + G + B) \\ S = 1 - \frac{3}{R + G + B} \min(R, G, B) \\ H = \begin{cases} \theta, G \geq B \\ 360 - \theta, G < B \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

$$\text{式中, } \theta = \arccos \frac{\frac{1}{2}[(R - G) + (R - B)]}{\sqrt{(R - G)^2 + (R - B)(G - B)}}$$

② 分别对 H、S、I 分量按式(1) 进行边缘检测,得到各分量的边缘检测信息;

③ 将得到的 3 个分量的边缘检测信息按式(4) 融合得到最终的边缘检测结果,其中,  $p$  为加权因子.

$$MOE(x, y) = \frac{1}{2} p \bullet [H(x, y) + S(x, y)] + (1 - p) \bullet I(x, y) \quad (4)$$

### 2 超声图像缺陷识别

如何在处理过的超声图像中提取出特征信息,是缺陷识别的关键.焊缝工件中的主要缺陷是气泡、裂纹、夹渣、气孔等,气孔或小夹渣多呈球形,属小的体积性缺陷,反射面比较光滑清晰,边缘形状规则;夹渣没有规则形状,表面粗糙,往往是间断的,填充度较低;气泡多呈椭圆形,边界形状不是很规则,长短轴比值小;裂纹有一定的长度,反射面既有光滑的也有粗糙的,没有固定的主轴方向.

为了识别缺陷信息,刘怀广等提出了以下 5 个统计特征<sup>[10]</sup>:

① 离心率,描述缺陷形状短轴和长轴的比,反应了缺陷的扁平情况:

$$f = \lambda_s / \lambda_1$$

$$\lambda_1 = \frac{\mu_{02} + \mu_{20} + \sqrt{(\mu_{02} - \mu_{20})^2 + 4\mu_{11}^2}}{2} \quad (5)$$

$$\lambda_s = \frac{\mu_{02} + \mu_{20} - \sqrt{(\mu_{02} - \mu_{20})^2 + 4\mu_{11}^2}}{2}$$

式中,  $\mu_{11}$ 、 $\mu_{02}$  和  $\mu_{20}$  是  $\mu_{20}$  超声图像的二阶矩(下同),其具体计算方法参考文献[11].

② 长宽比,表示缺陷等价椭圆的外切矩形长宽比:

$$f = \left[ \frac{\mu_{12}^+ - \mu_{12}^-}{\mu_{12}^+ \mu_{12}^-} + 1 \right] / 2 \quad (6)$$

式中,  $\mu_{12}^+$ 、 $\mu_{12}^-$  分别为三阶矩中正负基数。

③ 填充性, 缺陷内像素点与缺陷外切矩形内像素点的个数比:

$$size = (x_{max} - x_{min}) \times (y_{max} - y_{min})$$

$$f = \frac{N_V}{size} \tag{7}$$

式中,  $N_V$  表示有效像素的个数,  $size$  表示缺陷外切矩形面积大小。

④ 边缘光滑性, 缺陷边缘像素点到缺陷质心的距离的差值和:

$$d(n) = \sqrt{(x_n - x)(x_n - x) + (y_n - y)(y_n - y)}$$

$$f = \frac{\sum_{n=0}^{N_E-1} |d(n+1) - d(n)|}{\max(d) \times N_E} \tag{8}$$

⑤ 灰度标准差, 来反应缺陷区域  $f(x, y)$  内灰度集中的程度, 不规则的缺陷可获得较大的  $f$  值:

$$f = \frac{\sum_{x=0}^{H-1} \sum_{y=0}^{V-1} f(x, y)}{H \times V}$$

$$\delta_H^2 = \frac{\sum_{x=0}^{H-1} \sum_{y=0}^{V-1} ((f(x, y) - f) \times (f(x, y) - f))}{H \times V} \tag{9}$$

$$f = \sqrt{\delta_H^2 / 255}$$

H、V 分别表示 x 轴方向和 y 轴方向边界点的个数。

根据以上 5 个特征参数可以很方便的识别缺陷, 基于边缘检测的焊缝缺陷识别的基本流程如图 1 所示。



图 1 焊缝缺陷识别流程

### 3 实验结果及分析

图 2 为某复合材料的超声检测图像, 图中白色部分为预先布置好的缺陷。图 3 为人为在原超声图像中加入 20% 的噪声图像, 在 Matlab2010b 环境下, 采用传统算法及本文所提出的算法进行图像边缘检测实验, 再对图像进行增强处理, 如图 4 所示。为了统计缺陷特征并对缺陷进行分类, 对每一缺陷给予标号, 分析结果如表 1 所示。

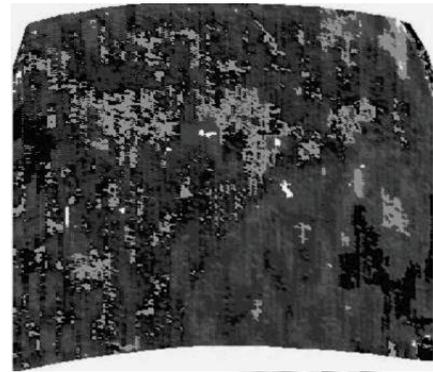


图 2 原超声图像

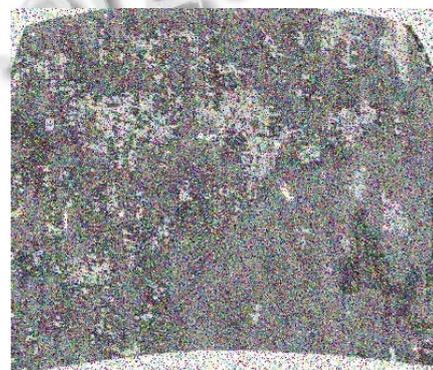
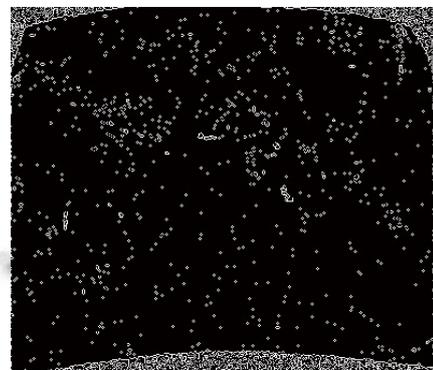
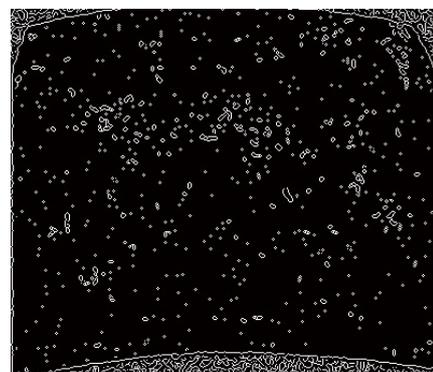


图 3 加入噪声图像



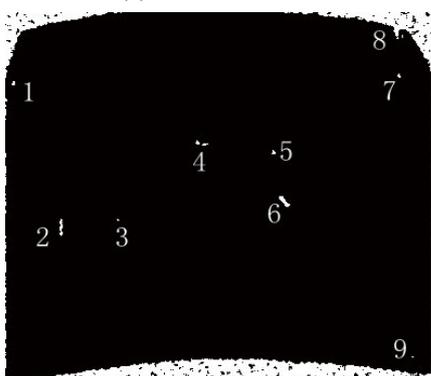
(a) canny 算子



(b) sobel 算子



(c) 改进的 sobel



(d) 缺陷识别

图 4 实验结果图

表 1 缺陷图像的特征值

缺陷号	离心率	长宽比	填充性	边缘光滑性	灰度标准差	缺陷类别
1	0.81	0.83	0.82	0.08	0.89	气泡
2	0.25	0.24	0.84	0.38	0.64	夹渣
3	0.95	0.91	0.93	0.04	0.88	气孔
4	0.24	0.23	0.52	0.49	0.53	夹渣
5	0.93	0.83	0.78	0.14	0.76	气泡
6	0.34	0.28	0.96	0.24	0.92	裂纹
7	0.92	0.63	0.96	0.12	0.82	气泡
8	0.23	0.31	0.84	0.33	0.69	裂纹
9	0.98	0.91	0.97	0.02	0.91	气孔

#### 4 结束语

本文分析了焊缝缺陷的边缘检测算法, 根据快

速、准确的要求, 利用边缘检测方法对图像进行分割处理, 此方法可以较好地消除噪声并保持图像的边缘细节, 实现了对超声图像缺陷的定量和定性分析. 然后根据焊缝缺陷的特点, 通过 5 个特征的统计, 实现了缺陷的识别.

#### 参考文献

- 1 周晓军,徐志农,莫锦秋,诸成.超声波 C 扫描图像的缺陷模式识别.模式识别与人工智能,1998,11(2):222-227.
- 2 丁玉薇.超声无损探伤新动向.国外科技信息,2000,19(1):44-45.
- 3 何丽君.小波分析在焊接过程控制及缺陷无损检测中的应用.机械制造文摘(焊接分册),2011,3:38-43.
- 4 Lee SW, Nam BH. Fingerprint recognition using wavelet transform and probabilistic neural network. Proc. of the International Joint Conference on Neural Networks, 1999, (5): 3276-3279.
- 5 吴东洋,业宁,徐波,尹佟明.基于 OTSU 算法的木材缺陷图像分割.计算机与数字工程, 2012,40(10):116-118.
- 6 Suk T, Flusser J. Combined blurred and affine moment invariants and their use in pattern recognition. Pattern Recognition, 2003, 36(11): 2895-2907.
- 7 毛若羽,陈相宁.一种基于形态学的有噪彩色图像边缘检测方法.计算机与现代化,2012(10):82-84.
- 8 常娜.图像处理中的边缘检测算法研究综述.中国信息科技, 2011(4):130-131,149.
- 9 曹杨,苏丽娜,沈琪,顾晓峰.一种改进的 Sobel 边缘检测算法的设计及其 FPGA 实现.微电子学与计算机,2012, 29(10):124-128.
- 10 刘怀广,陈幼平,谢经明,彭向前.浮法玻璃缺陷在线识别技术的研究.小型微型计算机系统,2011,32(4):738-742.
- 11 姚敏.数字图像处理.北京:机械工业出版社, 2006:281.