基于SUSAN算法的X射线焊缝图像缺陷提取*

陈强',荀一',崔笛2,鲍官军',杨庆华'*

(1. 浙江工业大学 特种装备制造与先进加工技术教育部/浙江省重点实验室,浙江 杭州 310032;2. 浙江大学 生物系统工程与食品科学学院,浙江 杭州 310027)

摘要:针对X射线焊缝图像存在对比度不高、灰度分布不均衡、图像中噪声多以及动态模糊等特点导致焊缝缺陷难以提取等问题, 提出了一种基于SUSAN算法的焊缝缺陷提取方法。首先设定了采集图像的有效焊缝区域,减小了所要处理的数据量,进而对该区 域进行了中值滤波处理;然后通过SUSAN算法找到了每一行焊缝缺陷区域的入口点及出口点,从而实施了缺陷分割;接着再结合数 学形态学运算,滤除了孤立的噪声点与间断点,实现了缺陷区域准确定位。在VC++6.0平台上,针对常见的几类缺陷,包括裂纹、气 孔、烧穿、未熔合等,取共100张焊缝缺陷图片进行了算法测试,与人工观测结果相对,正确率约为87%。研究结果表明,焊缝图像噪 声过多以及对比度太小是未能正确分割出焊缝缺陷的主要原因。

关键词:X射线焊缝图像;有效焊缝区域;焊缝缺陷提取;SUSAN;数学形态学中图分类号:TG115.28;TG44;TH39 文献标志码:A

文章编号:1001-4551(2012)10-1159-04

Defects extraction of X-ray weld image based on SUSAN

CHEN Qiang¹, XUN Yi¹, CUI Di², BAO Guan-jun¹, YANG Qing-hua¹

(1. Key Laboratory of E&M, Ministry of Education & Zhejiang Province, Zhejiang University of Technology,

Hangzhou 310032, China;

2. School of Biosystems Engineering and Food Science, Zhejiang University, Hangzhou 310027, China)

Abstract: Aiming that X-ray image of weld contains low contrast, uneven gray distribution, much image noise and more dynamic fuzzy and other shortcomings which could lead to difficult to extract the weld defects, an algorithm of weld defects extraction was put forward based on small univalue segment assimilating nucleus (SUSAN). Firstly, the region of interested (ROI) area was extracted to reduce the amount of processed data and median filter of this area was done, then the entry point and exit point of weld defects of each line were found by SUSAN algorithm. By combing mathematical morphological operation, the noise of isolated spot and discontinuous points was filtered to extract the accurate position of defect area. Through the VC++ 6.0 platform for experiments to test some common defects, the correct segmentation rate is about 87% compared with artificial observation. The results show that the contrast is too low and the noise is too much of weld defects are the main reasons that could not segment the weld defects correctly.

Key words: X-ray weld image region of interested (ROI); weld defect extraction; small univalue segment assimilating nucleus (SUSAN); mathematical morphological

0 引 言

由于X射线焊缝图像具有对比度不高、灰度分布 不均匀、缺陷边缘模糊、图像噪声多以及存在较大背 景起伏等特点,这使得如何准确、高效地提取X射线 焊缝图像中的缺陷信息成为这一技术的主要难题。 国内外许多学者对此进行了研究并提出了多种方法。H.I.Shafeek^[1]设计了一套检测天然气管道焊缝缺陷的装置,其使用的方法是对预处理后的焊缝图片采用直方图规格化处理,再结合阈值分割来提取缺陷信

收稿日期: 2012-05-04

基金项目:浙江省特种装备制造与先进加工技术重点实验室开放基金资助项目(2011EM002) 作者简介: 陈 强(1988-),男,浙江义乌人,主要从事机器视觉及图像处理方面的研究. E-mail:chenqiang0181@163.com 通信联系人:杨庆华,男,教授,博士生导师. E-mail:zjutme@163.com

息。J. Mirapeix, P.B.Garcia-Allende 等人^[2]采用主成分 分析与人工神经网络相结合的方法来检测焊缝缺陷, 并目对焊缝缺陷进行分类:H.Kasban,O.Zahran 等人^[3] 将采集到的焊缝图像转换为一维信号,提取信号中的 特征系数,再利用离散小波或离散余弦等变换对所提 取出的特征值进行分析,判别有无焊缝缺陷;孙怡4建 出基于空间对比度与空间方差,并结合模糊模式识别 算法,对焊缝中的缺陷实施自动检测,但是该算法的 准确性与所洗取的隶属度和空间距离有很大关系:张 晓光^[5]提出基于逐级局部缺陷提取的思想,首先确定 焊缝边界和缺陷所在的局部区域,然后再分别采用分 水岭变换和子束变换提取焊缝缺陷:陈明、马跃洲等 人^[6]提出利用X射线线阵探测器,通过类间、类内方差 比和数学形态学方法提取焊缝区域,再结合高频变换 实现缺陷检测;宋永伦等人^[7]提出了基于微分算子的 焊缝缺陷检测方法,但是由于X射线图片中存在较多 的噪声,会对微分算子检测产生较大的干扰,影响焊缝 缺陷提取;杨静、王明泉等人^[8]采用迭代分割法来获得 最佳阈值,再将焊缝图像二值化,从而提取焊缝缺陷, 然而迭代次数的选择根据需要和经验来确定:邵家 鑫、都东等人^[9]针对双面焊焊缝缺陷的重叠区域,提出 边缘区与非边缘区、细长缺陷与非细长缺陷分别处理 的思路,然后针对不同的区域和缺陷类型,分别采用不 同的算法来检测缺陷;陈方林、刘彦等人^{10]}提出基于支 持向量机的焊缝缺陷检测方法,该方法以图像的灰度和 形态学梯度作为特征向量对训练样本进行训练,然后通 过训练后得出的模型对待分割图像进行缺陷提取。

通过对以上方法的分析和比较,本研究采用SU-SAN算法来提取出焊缝缺陷的入口点和出口点,进而 分割出焊缝缺陷区域,再结合数学形态学运算,有效提 取出焊缝缺陷,并通过实验来验证该方法的可行性。

1 图像采集装置的构建

图像采集装置(如图1所示)主要是通过CMOS工 业数字相机对X射线胶片进行图像采集,本研究所使 用的CMOS工业数字相机为维视系列微型工业数字相



机(MV-3000UC),根据实际采集区域大小,本研究将 分辨率调整为1024×768像素。

CMOS工业数字相机采集X射线胶片上的焊缝信息,并将其转换为数字信号,通过USB送入计算机完成处理分析。

2 焊缝图像缺陷提取

焊缝图像缺陷提取的大致流程为:先图像采集; 然后图像预处理;接着SUSAN缺陷分割;最后一步是 图像后处理。

2.1 图像预处理

本研究采集的X射线焊缝图像中缺陷信息仅存 在于焊缝区域,而焊缝区域只占到整幅图像中1/4,因 此本研究在X射线焊缝缺陷检测图像处理过程中,进 行了有效区域(ROI)的设定。一方面,可以减少图像 处理的数据量,提高检测速度;另一方面,能够有效地 消除无效数据对检测带来的干扰,有助于提高检测精 度。通过人工统计,本研究将设定离焊缝中心上、下 边缘各60个像素点的宽度作为有效区域。有效区域 提取出来后,再以3×3为模板进行中值滤波,以减少噪 声对图像分割造成的干扰。

2.2 SUSAN缺陷分割

2.2.1 SUSAN算法基本思想

不同位置的圆模板及 SUSAN 区的显示如图 2 所示:圆形模板 a 在图像上移动,若模板内像素的灰度 与模板中心像素(核)灰度的差值小于一定阈值,则认 为该点与核具有相同(或相近)的灰度,由满足这样条 件的像素组成的区域称为"USAN"(Univalue Segment Assimilating Nucleus)。



图2 不同位置的圆模板及SUSAN区的显示

a —模板位于背景中; b —模板位于角点; c —模板位于边缘; d, e —模板位于边缘附近

把图像中的每个像素与具有相似灰度值的局部 区域相联系是SUSAN原则的基础。具体检测时,本研 究用圆形模板扫描整个图像,比较模板内每一像素与 中心像素的灰度值,并给定阈值以判别该像素是否属 于SUSAN区域,如下式:

$$C(r, r_0) = \begin{cases} 1 & \text{if}(I(r) - I(r_0) \le t) \\ 0 & \text{if}(I(r) - I(r_0) > t) \end{cases}$$
(1)

式中: C(r,r₀) —模板内属于 SUSAN 区域中像素的判别 函数, I(r₀) —模板中心像素(核)的灰度值, I(r) —模板

内其他任意像素的灰度值, t 一灰度差门限。

则图像中某一点SUSAN区域大小可由下式表示:

$$n(r_{0}) = \sum_{r \in C(r_{0})} C(r, r_{0})$$
(2)

式中: C(r₀)一以 r₀为圆心的模板。

当圆形模板完全处在背景或目标中时,USAN区 域面积最大(如图2中的*a*);当模板移向目标边缘时, USAN区域逐渐变小(如图2中的*d*和*e*);当模板中心 处于边缘时,USAN区域很小(如图2中的*c*);当模板 中心处于角点时,USAN区域最小(如图2中的*b*)。

本研究在得到每个像素的USAN值 $n(r_0)$ 以后,再 与预先设定的几何门限g进行比较,当 $n(r_0) < g$,所检 测到的像素位置可以认为是一个边缘点,即:

$$R(r_0) = \begin{cases} g - n(r_0) & \text{if}(n(r_0) < g) \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$
(3)

式中:g一几何门限。

2.2.2 模板和阈值的选取

本研究运用 SUSAN 原则检测边缘时有两个值得 注意的问题:① $t \ \pi g \ 这两个门限的确定;②模板的形$ 状和尺寸的选取,这两个问题直接关系到边缘检测的精度和速度^[11]。焊缝缺隐区域微观示意图如图 3 所示。本研究采用 3×3 大小的方形模板,如图 3 中 II 所 $示。灰度差门限 <math>t \ 表示所能检测边缘点的最小对比$ $度,也是能忽略的噪声的最大容限。 <math>t \ dv$,研究者可 从对比度越低的图像中提取特征。几何门限 $g \ dv$ 定了 边缘点的 USAN 区域的最大值,即只要图像中的像素 的 USAN 值小于 g,则该点就被判定为边缘点。 $g \ dv$ 大时,边缘点附近的像素可能作为边缘被提取出来;过 小则会漏检部分边缘点。研究者通过对比选择灰度差 门限 t=3,几何门限 g=3时,可取得较好的效果。



具体操作过程如图3所示。

Ⅰ—背景区域;Ⅱ—缺陷区域;Ⅲ— 3×3的模板; f(x,y) — 在 点 (x,y) 处的灰度值

具体操作过程中,当像素点从I区域进入到II区 域时,在某一行上可认为从背景区域的点(x₃,y₃)进入 到缺陷区域的点(x₁,y₁)。因此,研究者首先得找到开 始从背景区域进入到缺陷区域的像素点。根据SU-SAN算法思想,当满足条件(1)、(2)、(3)时,可认为像 素点开始由非缺陷区域进入到缺陷区域,在图3中可 以表示为模板中心点5对准点(x1,y1),此时,本研究把 点(x1,y1)称为焊缝缺陷的入口点,并把前一个点(x3,y3) 的灰度值 f(x3,y3)记录下来,保存在变量 N中,作为出 缺陷区域的条件。并且在输出图像中,本研究把入口 点(x1,y1)灰度值设置为0(黑),把入口点的前一个点 (x3,y3)的灰度值设置为255(白),即:

$$\begin{cases} f(x_1, y_1) = 0\\ f(x_3, y_3) = 255 \end{cases}$$
(4)

如果某一行两个相邻像素不满足条件(1)、(2)、 (3),则说明焊缝缺陷入口点没找到,那么本研究将模 板中心点设置成白点,然后将模板向前移动一个单 位,继续寻找焊缝缺陷的入口点。

若焊缝区域的入口点已经找到,说明扫描点已经 进入焊缝缺陷区域。当扫描点进入焊缝缺陷区域后, 它的灰度值会逐渐减小,并且会达到一个最小点,之 后灰度值又会慢慢开始增加,直到离开焊缝缺陷区 域。因此,当扫描点满足如下条件:

$$f(x_2, y_2) \ge f(x_3, y_3) \tag{5}$$

即:

$$f(x_2, y_2) \ge N \tag{6}$$

此时,本研究认为扫描点即将离开焊缝缺陷区域,并且将 *f*(*x*₂,*y*₂)变成白色,即:

$$f(x_2, y_2) = 255 \tag{7}$$

如果不满足条件(6),则此时研究者可以判定扫 描点仍留在焊缝缺陷区域内,因此可以将该点的灰度 值设置成为黑色,即为0;然后,向前移动一个像素点, 继续寻找缺陷的出口点。

当某一行扫描完以后,模板中心点向上移动一个 像素,然后从左边第1个像素开始进行第2行的扫 描。以此类推,直到整幅图像都扫描完成为止。

具体算法的过程流程图如图4所示。



2.3 图像后处理

经过SUSAN算法分割以后,除了分割出来的焊缝 缺陷以外,还存在一些零星的噪声和间断。因此本研 究需要对分割后的图像实施后处理。图像后处理分 为两部分:滤波去噪和形态学处理。滤波去噪是为了 消除零星的噪声,在此本研究选用5×5的中值滤波算 法进行处理,因为中值滤波是一种非线性滤波,其目 的是在保护边缘的同时去除噪声。形态学处理是为 了消除间断,以达到保留真实缺陷的目的。本研究选 用数学形态学中的开运算来处理,因为经过开运算处 理后只有那些在附近存在完整结构元素的像素点会被 保留,其他的像素点都会被清除;同时,图像的开运算 可以选择性地保留目标图像中符合结构元素几何性质 的部分,而过滤掉相对结构元素而言残损的部分。

2.4 不同边缘检测方法比较

由于SUSAN算法不涉及梯度的运算,其抗噪声能力强,运算量也比较小,对噪声图像的边缘检测效果优 于传统的边缘检测算法^[12]。不同边缘检测算法对焊缝 缺陷的检测及图像后处理后最终结果如图5所示。



图5 不同边缘检测算法比较 从图5中可以看出,对于X射线焊缝图像,相比于 其他边缘检测算法,采用SUSAN算法取得的效果更好。

3 实验与分析

本研究所用的焊缝 X 射线胶片由杭州锅炉厂提供,笔者选取具有代表性的几类焊缝缺陷(包括裂纹、 气孔、烧穿、未熔合等)共100张焊缝缺陷图片进行测 试,与人工观察结果相对比,焊缝缺陷检测正确率约为 87%;其中未正确分割的焊缝缺陷中,有60%为烧穿缺 陷,20%为裂纹缺陷,未熔合与气孔缺陷各为10%。 通过实验可以发现,该算法不受缺陷种类的限制,基本上能检测出各种类型缺陷。

部分焊缝缺陷未能准确分割出焊缝缺陷原因有: ① 所拍摄的X射线底片质量不好,存在的噪声过多; ② 背景区域与焊缝缺陷区域之间的对比度太小,以至 于无法用常规的灰度差门限 *t* 和几何门限 *g* 来进行缺 陷分割。

4 结束语

本研究针对X射线焊缝图像存在对比度不高、灰度分布不均衡、图像中噪声多等问题,提出了一种基于SUSAN算法的缺陷检测方法。实验结果表明,与常规的边缘检测算法进行相比,SUSAN算法具有较优的检测效果。在VC++平台上,本研究对100张焊缝缺陷图片进行了算法测试,测试结果表明,SUSAN检测算法不受缺陷种类的限制,能够有效地检测出大部分缺陷,检测正确率约为87%。

参考文献(References):

- [1] SHAFEEK H I, GADELMAWLA E S, ABDEL-SHAFY A A, et al. Assessment of welding defects for gas pipeline radiographs using computer vision [J]. NDT&E International, 2004, 37(4):291-299.
- [2] MIRAPEIX J, GARCIA-ALLENDE P B, COBO A, et al. Real-time arc-welding defect detection and classification with principal component analysis and artificial neural networks[J]. NDT&E International, 2007, 40(4):315-323.
- [3] KASBAN H, ZAHRAN O, ARAFA H, et al. Welding defect detection from radiography images with a cepstral approach[J]. NDT&E International, 2011, 44(2):226–231.
- [4] 孙 怡,周 平,王恩亮,等. X光探伤图像中焊接缺陷的 自动检测[J].光电子·激光,2003,14(3):288-291.
- [5] 张晓光,孙 正,胡晓磊,等.射线检测图像中焊缝和缺陷的提取方法[J].焊接学报,2011,32(2):77-80.
- [6] 陈 明,马跃洲,陈 光. X射线线阵实时成像焊缝缺陷检 测方法[J]. 焊接学报,2007,28(6):81-84.
- [7] 宋永伦, 闰志鸿, 张万春, 等. 焊缝 X 射线底片计算机辅助 评定的若干关键技术[C]. 第十三次全国焊接学术会议 论, 2009:18-21.
- [8] 杨 静,王明泉. 焊缝X射线图像缺陷的自动提取与分割 [J]. 微计算机信息,2008,24(3):306-308.
- [9] 邵家鑫,都 东,朱新杰,等. 基于X射线数字化图像处理的 双面焊焊缝缺陷检测[J]. 焊接学报,2010,31(11):21-24.
- [10] 陈方林,刘 彦. 基于支持向量机的 X 射线焊缝缺陷检测 [J]. 机械工程与自动化,2010(2):122-126.
- [11] 张坤华,王敬张,启 衡. 多特征复合的角点提取算法[J]. 中国图像图形学报,2002,7(4):1-4.
- [12] 白 鹏. X射线焊接图像中缺陷目标的检测[D]. 大连:大 连理工大学电子与信息工程学院,2005.

[编辑:张 翔]