

基于灰色关联分析和区域生长的微小缺陷提取^{*}

王中宇 付继华 孟浩 杨文平

【摘要】 提出了一种基于灰色关联分析的区域生长算法。首先通过计算二维灰色绝对关联度,将原始图像转换为仅包含高频信息的灰色关联图像,并在此基础上进行阈值处理和区域标记,获得缺陷区域的形心。然后将该形心作为种子像素在灰色关联图像内进行区域生长,实现微小缺陷的在线提取。实验结果表明,新的区域生长算法能够有效地抑制背景噪声、简化计算过程,满足在线提取和实时性要求。

关键词: 缺陷提取 机器视觉 图像分割 区域生长算法 灰色关联分析

中图分类号: TN911.73; TB303

文献标识码: A

Small Defect Extracting Based on Region Growing Algorithm and Grey Relational Analysis

Wang Zhongyu Fu Jihua Meng Hao Yang Wenping
(Beihang University, Beijing 100083, China)

Abstract

A region growing algorithm based on the grey relational analysis was proposed. By means of calculating the two-dimension grey absolute relational grade, the original image was turned to a grey relational image only containing the edge information. Meanwhile, by the region marking of the grey relational image, the centers of small defects were obtained. And these centers were used as the seeds pixels to do the region growing and the defect extracting in the grey relational image. The experimental results indicated that the new region growing algorithm could suppress the background noise, simplify the calculating process, and meet the requirements of the real time extracting effectively.

Key words Defect extracting, Machine vision, Image segmentation, Region growing algorithm, Grey relational analysis

引言

微小缺陷特征的提取是微小缺陷自动识别和检测的关键环节,直接影响测量精度和评定结果。为了提高测量的效率,基于机器视觉的图像分割技术被引入到微小缺陷的在线自动提取中^[1]。

近年来国内外不少学者致力于精密图像分割方法的研究,传统的阈值分割法被广泛地应用于图像

分割中^[2]。但是在较强的背景噪声下,由于缺陷的目标区域微小,全局和局部阈值容易将缺陷目标忽略,造成误判。而自适应阈值的算法复杂,计算量大,通常不能满足在线实时测量的要求。基于地貌特征的分水岭方法能够根据图像的灰度分水岭将图像分割成不同区域,但该方法在强背景噪声下容易产生“过分割”现象^[3]。数学形态学的方法采用一定的结构元素来度量和提取图像中的缺陷目标,能

收稿日期: 2007-07-09

^{*} 国家自然科学基金资助项目(项目编号:50675011)

王中宇 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院 教授 博士生导师, 100083 北京市

付继华 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院 博士生

孟浩 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院 博士生

杨文平 北京航空航天大学仪器科学与光电工程学院 硕士生

有效地消除背景噪声,增强图像对比度^[4]。但是图像分割的结果对结构元素的选择比较敏感,并且可能引起缺陷目标的变形,引入测量误差。小波分析和人工神经网络的等新方法也被成功地应用到图像分割中^[5~7]。但两者都是从整幅图像出发的,对于提取微小缺陷目标,在非缺陷区域内进行大量的变换和辨识是没有意义的,存在较大的计算浪费。区域生长的方法克服了上述不足,从微小缺陷区域中的种子像素出发,根据像素的相似性进行区域搜索,提取微小缺陷目标^[8]。但是种子像素的选择以及相似像素聚类判定准则的确定相对困难,算法复杂。基于灰色理论的方法能够充分利用图像的差异与相似信息进行图像分割,方法计算简便、实用性强^[9]。

本文将灰色理论与区域生长的方法有机结合,用灰色关联分析的方法生成种子像素和相似像素聚类的判定准则,简化区域生长算法,提取微小缺陷。

1 二维灰色绝对关联度

灰色关联分析可以获得序列间的差异信息,建立和计算差异信息的比较测度。文献[10]将灰色绝对关联度应用于边缘检测,克服了邓氏关联度存在分辨系数引起关联度不唯一和序列间距离影响关联度的缺点,获得了良好的图像分割效果。设某图像像素序列为 $x_k = \{x_k(1), x_k(2), \dots, x_k(n)\}$, 其参考序列为 $x_0 = \{x_0(1), x_0(2), \dots, x_0(n)\}$ 。二者的初始化序列分别为 y_k 和 y_0 , 则灰色绝对关联度为

$$\gamma(x_0, x_k) = \frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^{n-1} \gamma(y_0(i), y_k(i)) \quad (1)$$

其中

$$\gamma(y_0(i), y_k(i)) = \frac{1}{1 + |(y_0(i+1) - y_0(i)) - (y_k(i+1) - y_k(i))|} \quad (i=1, 2, \dots, n)$$

式(1)给出的灰色绝对关联度是一维序列间的差异信息测度。要将其应用于二维图像像素序列,通常是将二维图像像素序列转换为一维序列,而这种转换可能造成灰色绝对关联度对某些方向的边缘不敏感,不利于图像分割。对式(1)进行推广,可以获得二维灰色绝对关联度。设二维像素矩阵为 $x_k = \{x_k(i, j)\}_{m \times n}$, 其参考像素矩阵为 $x_0 = \{x_0(i, j)\}_{m \times n}$ 。二者的初始化序列分别为 y_k 和 y_0 , 则二维灰色绝对关联度为

$$\gamma(x_0, x_k) = \frac{1}{(m-1)(n-1)} \sum_{i=1}^{m-1} \sum_{j=1}^{n-1} \gamma(y_0(i, j), y_k(i, j)) \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{其中 } \gamma(y_0(i, j), y_k(i, j)) &= \frac{1}{1 + |\Delta_1| + |\Delta_2|} \\ \Delta_1 &= (y_0(i+1, j) - y_0(i, j)) - (y_k(i+1, j) - y_k(i, j)) \\ \Delta_2 &= (y_0(i, j+1) - y_0(i, j)) - (y_k(i, j+1) - y_k(i, j)) \\ &(i=1, 2, \dots, m; j=1, 2, \dots, n) \end{aligned}$$

式(2)求得的二维灰色绝对关联度,直接从二维像素矩阵计算差异信息的比较测度,增强了对目标边缘的敏感性,保证了图像分割的质量。由式(2)易证得,二维灰色绝对关联度具有以下性质:对称性, $\gamma(x_0, x_k) = \gamma(x_k, x_0)$; 唯一性,关联度仅由像素矩阵和参考矩阵决定;可操作性,计算过程无异常值;距离无关性,矩阵行列间距离可由 $|\Delta_1|$ 和 $|\Delta_2|$ 消除。

2 算法描述

2.1 种子像素生成

基于区域生长的图像分割方法需要解决两方面问题:①获得能够正确代表分割区域的种子像素。②确定相似像素聚类的判定准则。新的区域生长算法根据灰色关联分析生成原始图像的二维灰色绝对关联度图像,并在此基础上生成种子像素,建立相似聚类判定准则,提取缺陷区域。

取元素全为1的 3×3 矩阵作为参考矩阵与测量图像中的所有 3×3 像素邻域矩阵计算二维灰色绝对关联度,生成原始图像的二维灰色绝对关联度图像。该关联度图像体现像素邻域矩阵与参考矩阵的相似程度。关联度大则说明像素邻域内的灰度值变化小,为非边缘区域,反之为边缘区域。为满足在线测量的实时性要求,采用设定关联度阈值的方法提取缺陷区域的边缘。关联度阈值的选择不同于传统的阈值选择,并且阈值处理的结果不是图像分割的最终结果。在保证不遗漏缺陷区域的前提下,关联度阈值允许丢失部分边缘信息。这既降低了阈值选择的难度,又提高了算法的效率和适应性。

缺陷区域的形心与缺陷边缘的形心重合,因此可以计算缺陷边缘的形心,并以此形心作为该缺陷区域的种子像素,进行区域生长。设某缺陷边缘的像素集合为 R_e , 则其形心坐标 (\bar{i}_e, \bar{j}_e) 可通过区域标记为

$$(\bar{i}_e, \bar{j}_e) = \left(\left[\frac{1}{N_e} \sum_{(i,j) \in R_e} i \right], \left[\frac{1}{N_e} \sum_{(i,j) \in R_e} j \right] \right) \quad (3)$$

式中 N_e ——像素集合 R_e 内的像素点数

(i, j) —— R_e 内的像素坐标

$[\cdot]$ ——取整运算

2.2 相似像素聚类判定准则

从种子像素出发,依据像素聚类判定准则在关

关联度图像中进行的二维搜索,从而实现区域生长。设区域生长过程中, k 时刻的缺陷像素集合为 R_m^k ,其关联度均值 $\bar{\gamma}_m^k$ 和标准差 σ_m^k 分别为

$$\bar{\gamma}_m^k = \frac{1}{N_m^k} \sum_{(i,j) \in R_m^k} \gamma(i,j) \quad (4)$$

$$\sigma_m^k = \sqrt{\frac{1}{N_m^k} \sum_{(i,j) \in R_m^k} (\gamma(i,j) - \bar{\gamma}_m^k)^2} \quad (5)$$

式中 N_m^k ——像素集合 R_m^k 内的像素点数
 $\gamma(i,j)$ ——关联度值

设搜索像素 (i_t, j_t) 并入缺陷区域的相似像素聚类判定准则为

$$|\gamma(i_t, j_t) - \bar{\gamma}_m^k| \leq 3\sigma_m^k \quad (6)$$

当搜索像素的关联度满足判定准则时,搜索像素被并入种子像素集合,并重新计算种子像素集合的关联度均值和标准差。反之则搜索像素不被并入种子像素集合,并停止当前搜索。

为了避免重复计算,区域生长分别按照水平和垂直方向进行。首先,从种子像素出发按照水平方向搜索,将满足判定准则的像素并入种子像素集合,并获得当前行的左右边界。采用同样的方法进行垂直方向搜索,获得当前列的上下边界。然后,对新并入种子像素集合的种子像素依次进行水平和垂直搜索。在水平搜索过程中,当新种子像素的横坐标在其所在行的左右边界之内则不进行水平搜索,反之则进行新的水平搜索,同时获得新的左右边界。在垂直搜索过程中,当新种子像素的纵坐标在其所在列的上下边界之内则不进行垂直搜索,反之则进行新的垂直搜索,同时获得新的上下边界。最终,当没有新的种子像素生成时,结束区域生长,所获种子像素的集合为完整的缺陷区域。

3 应用实例与分析

为了满足在线缺陷检测和评定的需求,编制了基于二维灰色绝对关联度和区域生长的缺陷提取程序。焊接缺陷图像及其提取结果,如图1所示。

图1a为夹钨焊接缺陷的原始图像,由式(2)可得二维灰色绝对关联度图像如图1b所示,其中包含原始图像中的高频信息,即缺陷边缘和背景噪声。图1c为经过关联度阈值处理和区域标记后的缺陷边缘图像以及种子像素,关联度阈值 $T_r = 0.9$ 。阈值处理可以有效地去除强背景噪声的干扰。其中,关联度阈值的选取原则是最大限度的抑制背景噪声,即使存在部分边缘误判也不会影响种子像素的正确生成。图1d为区域生长后的缺陷区域。

为了进一步说明本文算法的有效性,将其缺陷提取结果与阈值法的提取结果进行了比较。图2a为采用固定阈值法提取的缺陷图像,灰度阈值取为140。图2a中包含非缺陷信息,该方法未能有效地抑制噪声干扰。图2b为采用全局阈值法^[11]提取的缺陷图像,其灰度值为116。虽然全局阈值法抑制了噪声干扰,但却造成了缺陷形状的变化。与图2a和图2b相比,图1d的缺陷提取结果不包含非缺陷信息,并且缺陷形状与原始图像吻合,充分说明了本文算法的有效性。

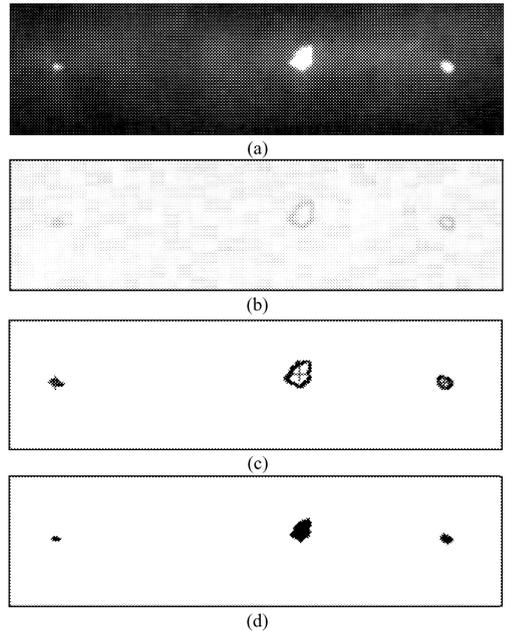


图1 夹钨焊接缺陷及提取

Fig.1 Weld flaw: tungsten inclusion and defect extracting

(a) 原始图像 (b) 二维灰色绝对关联度图像
 (c) 缺陷边缘及种子像素 (d) 缺陷区域生长结果

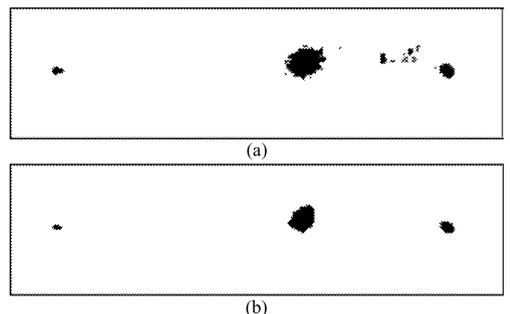


图2 夹钨焊接缺陷的阈值法提取

Fig.2 Weld flaw: tungsten inclusion and defect extracting by threshold method

(a) 固定阈值 (b) 全局阈值

另外,由于种子像素由缺陷边缘生成,算法对于不同灰度值的缺陷均有较好的适应性。图3a为深孔焊接缺陷的原始图像,图3b为区域生长后的缺陷区域。与图1的不同之处在于两缺陷具有不同的灰度值。

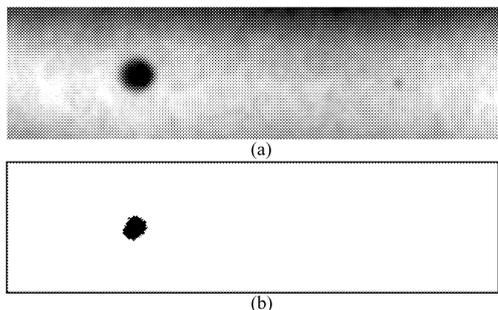


图 3 深孔焊接缺陷及提取

Fig. 3 Weld flaw: deep hole and defect extracting

(a) 原始图像 (b) 缺陷区域生长结果

4 结论

(1) 应用二维灰色绝对关联度计算关联度图像, 消除了一维灰色绝对关联度对某些方向的边缘不敏感的问题。

(2) 将种子像素和相似像素聚类判定准则统一到仅包含高频信息的灰色关联图像中, 简化了计算。

(3) 通过边缘生成种子像素, 增强了对不同灰度缺陷提取的适应能力。

(4) 灰色关联分析简化了区域生长算法, 易于实现嵌入式应用。

参 考 文 献

- 1 陈廉清, 崔治, 王龙山. 基于计算机视觉的微小轴承表面缺陷在线识别[J]. 农业机械学报, 2006, 37(5): 132~135.
Chen Lianqing, Cui Zhi, Wang Longshan. On-line inspection of surface defect of micro bearing based on computer vision technology[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(5): 132~135. (in Chinese)
- 2 Sang Nong, Li Heng, Peng Weixue, et al. Knowledge-based adaptive thresholding segmentation of digital subtraction angiography images[J]. Image and Vision Computing, 2007, 25(8): 1 263~1 270.
- 3 Rodríguez Roberto, Alarcón Teresa E, Pacheco Oriana. A new strategy to obtain robust markers for blood vessels segmentation by using the watersheds method [J]. Computers in Biology and Medicine, 2005, 35(8): 665~686.
- 4 周正干, 赵胜, 安振刚. 航空发动机叶片实时成像自动检测技术研究[J]. 机械工程学报, 2005, 41(4): 180~184.
Zhou Zhenggan, Zhao Sheng, An Zhengang. Research on automatic inspection techniques of real-time radiography for turbine-blade[J]. Chinese Journal of Mechanical Engineering, 2005, 41(4): 180~184. (in Chinese)
- 5 Nuneza Jorge, Llacer Jorge. Astronomical image segmentation by self-organizing neural networks and wavelets[J]. Neural Networks, 2003, 16(3~4): 411~417.
- 6 文山, 李葆青. 基于小波分层的多方向图像边缘检测[J]. 自动化学报, 2007, 33(5): 480~487.
Wen Shan, Li Baoqing. Multidirectional image edge detection based on wavelet laid[J]. Acta Automatica Sinica, 2007, 33(5): 480~487. (in Chinese)
- 7 Sinha Sunil K, Fieguth Paul W. Neuro-fuzzy network for the classification of buried pipe defects[J]. Automation in Construction, 2006, 15(1): 73~83.
- 8 周学成, 罗锡文. 采用区域生长法分割根系 CT 图像的改进算法[J]. 农业机械学报, 2006, 37(12): 122~125.
Zhou Xuecheng, Luo Xiwen. An improved region growing algorithm for the CT images segmentation of plant root[J]. Transactions of the Chinese Society for Agricultural Machinery, 2006, 37(12): 122~125. (in Chinese)
- 9 马苗, 樊养余, 谢松云, 等. 基于灰色系统理论边缘检测新技术[J]. 中国图像图形学报 A, 2003, 8(10): 1 136~1 139.
Ma Miao, Fan Yangyu, Xie Songyun, et al. A novel algorithm of image edge detection based on gray system theory[J]. Journal of Image and Graphics A, 2003, 8(10): 1 136~1 139. (in Chinese)
- 10 郑子华, 陈家祯, 陈利永. 基于灰色绝对关联度的边缘检测算法[J]. 福建师范大学学报: 自然科学版, 2004, 20(4): 20~23.
Zheng Zihua, Chen Jiazhen, Chen Liyong. An algorithm of image edge detection based on gray correlation analysis[J]. Journal of Fujian Normal University: Natural Science, 2004, 20(4): 20~23. (in Chinese)
- 11 章毓晋. 图像分割[M]. 北京: 科学出版社, 2001.