

带钢表面缺陷图片的去噪和分割方法研究

张 黔,杨润玲,刘警锋,肖 磊

(西安建筑科技大学 信息与控制工程学院,陕西 西安 710055)

摘 要:去噪和图像分割是带钢表面检测系统的重要环节。传统的滤波方法在去噪的同时会造成图像模糊,影响缺陷检测。为了解决这个问题,结合均值滤波和中值滤波的特性,针对含有高斯噪声和脉冲噪声的带钢表面缺陷图片提出了一种新的去噪方法—双阈值滤波。该方法通过设定两个阈值分别区分噪声点和非噪声点、高频部分和低频部分,然后进行相应的处理。应用模糊聚类算法,进一步对去噪图像进行分割。实验结果表明,所提出的去噪方法简单有效,分割方法应用准确。

关键词:表面缺陷;中值滤波;双阈值滤波;模糊聚类

中图分类号:TP391.41

文献标识码:A

文章编号:1673-629X(2015)04-0026-04

doi:10.3969/j.issn.1673-629X.2015.04.007

Research on Denoising and Segmentation Method of Steel Strip Surface Defect Images

ZHANG Qian, YANG Run-ling, LIU Jing-feng, XIAO Lei

(School of Information and Control Engineering, Xi'an University of Architecture and Technology, Xi'an 710055, China)

Abstract: Denoising and image segmentation is an important process of strip surface detection system. The traditional filtering methods denoise at the same time blur the image, and influence the fault detection. In order to solve this problem, combined with the characteristics of median filter and mean filter, on the steel strip surface defect images containing Gauss noise and impulse noise, a new method of denoising named double threshold filtering is proposed, which sets two thresholds to distinguish noise and non noise, high frequency and low frequency respectively, and then carry out corresponding treatment. Apply the fuzzy clustering algorithm to further segment the denoising image. The experimental results show that the proposed denoising method is simple and effective, application of segmentation method is accurate.

Key words: surface defects; median filtering; double threshold filtering; fuzzy clustering

0 引 言

经济高速发展的今天,很多领域的发展都离不开钢铁产业的支持。钢铁产业中主要的产品形式—带钢已成为汽车、机械制造、化工、航空航天和造船等行业不可缺少的原材料,其表面质量的优劣将直接影响其最终产品的性能和质量。在带钢制造过程中,由于连铸钢坯、轧制设备、加工工艺等多方面的原因,带钢表面会出现裂纹、氧化皮、结疤、辊印、刮伤、孔洞、针眼、鳞皮、表皮分层、麻点等不同类型的缺陷,这些缺陷不仅影响产品的外观,更严重降低了产品的抗腐蚀性、耐磨性和强度等性能。钢铁企业主要通过更新设备、改

善工艺等方法来提高产品质量,而产品检测的过程可以帮助企业更迅速地发现问题所在,指导企业更好地去控制生产流程、改善工艺设备。国内很多带钢厂采用传统的目测法来检测带钢表面缺陷,其存在很多难以克服的弊端,如识别率低、实时性差、安全性低等^[1]。为了提高检测系统的性能和效率,文中就其中的图像预处理和图像分割两个关键部分提出了新的措施。

带钢检测系统所采集到的图像,噪声主要来源于图像的获取和传输阶段,其中获取阶段所产生的噪声占绝大多数,包括电子噪声和光电子噪声。电子噪声是由图像采集电路阻性器件中的电子运动发热而产生的噪声,噪声模型为高斯噪声;光电子噪声主要是由入

收稿日期:2014-05-15

修回日期:2014-08-18

网络出版时间:2015-02-23

基金项目:2012 国家级大学生创新创业训练计划基金项目(201210703051)

作者简介:张 黔(1992-),男,研究方向为图像处理;杨润玲,讲师,硕士,研究方向为图像处理、图像分割方法。

网络出版地址: <http://www.cnki.net/kcms/detail/61.1450.TP.20150223.1233.008.html>

射光光子的统计特性和光电转换及量化过程引起,特别是在弱光的条件下,噪声尤为强烈,噪声模型为脉冲噪声^[2-3]。根据常见的噪声模型如高斯噪声、脉冲噪声、泊松噪声、随机噪声等,文中主要针对含高斯噪声和脉冲噪声的带钢表面缺陷图片进行去噪预处理和聚类分割。

带钢表面缺陷图片可分为缺陷区域和非缺陷区域,区域内部灰度值变化相对平缓,对应频域中的低频部分;缺陷区域与非缺陷区域的过渡区域,即缺陷边缘,灰度值变化较快,对应频域中的高频部分。为了使图像预处理后更加清晰,需要在去除噪声的同时,尽量保留图像有用的细节信息,特别是高频部分,即缺陷边缘,才能使缺陷区域和非缺陷区域被准确分割。

1 图像去噪预处理

邻域均值滤波算法是一种简单的空域滤波处理方法,也是最常见的线性平滑滤波器^[3]。它是将噪声的影响平均给了其邻域的像素点,从而降低了噪声对单个像素点的影响,使图像整体趋于平滑。所用的邻域模板越大,图像越模糊。均值滤波并不能完全滤除噪声,只是抑制了噪声对单个像素点的影响,与此同时也不加判断地对非噪声点进行了平滑处理,给人的直观感觉是图像噪点少了,但是图像的高频细节也受到了影响。

中值滤波是一种非线性平滑滤波,在一定条件下,可以克服线性滤波如均值滤波等带来的图像细节模糊问题,且对滤除脉冲干扰及图像扫描噪声非常有效^[4]。

均值滤波和中值滤波是对图像的所有像素点不加区分地进行处理,这必然会导致原本正常的像素被其邻域像素替换产生新噪声的问题,使得图像中的一些细线、尖角、边缘信息得不到很好的保留,不利于下一步的图像分割,而且两种滤波算法都不能同时滤除高斯噪声和脉冲噪声^[5]。为了解决这一问题,文中结合均值滤波和中值滤波分别对高斯噪声和脉冲噪声具有良好的滤除效果,提出一种新的图像去噪方法,其实现过程如下:

(1) 设定两个阈值 α 与 β 。

(2) 设定图像白椒盐噪声的灰度范围为 $[255, 255 - \alpha]$, 黑椒盐噪声的灰度范围为 $[0, \alpha]$ 。

(3) 标记出作用窗口范围内不在这两个噪声范围内的像素点 (X_1, X_2, \dots, X_k) , k 为像素点个数。

(4) 取过程(3)的最大值 $\max(X_1, X_2, \dots, X_k)$ 、最小值 $\min(X_1, X_2, \dots, X_k)$ 、中值 $\text{med}(X_1, X_2, \dots, X_k)$ 、均值 $\text{mean}(X_1, X_2, \dots, X_k)$ 和窗口内所有像素点的中值 $\text{med}(x_{i-lj-1}, x_{i-lj}, \dots, x_{i+lj+1})$ 。

(5) 如果 $k=0$, X_{ij} 为 $\text{med}(x_{i-lj-1}, x_{i-lj}, \dots, x_{i+lj+1})$;

如果 $k \neq 0$, 且窗口范围内的中心像素 X_{ij} 在 $[255, 255 - \alpha]$ 或 $[0, \alpha]$ 范围内, 那么 X_{ij} 点输出像素值用 $\text{med}(X_1, X_2, \dots, X_k)$, X_{ij} 点灰度值代替, 否则如果 $X_{ij} - \min(X_1, X_2, \dots, X_k) < \beta$ 并且 $\max(X_1, X_2, \dots, X_k) - X_{ij} < \beta$, X_{ij} 点输出像素值为 $\text{mean}(X_1, X_2, \dots, X_k)$ 。

(6) 其余情况, X_{ij} 点输出像素值为原值。

引入阈值 α 的目的是用来区分噪声点和非噪声点(这里主要针对脉冲噪声), 非噪声点的信息需要保留, 而噪声点的信息就要舍弃。算法先用阈值 α 判断当前中心像素是否是噪声点, 如果是, 则用非噪声点的中值代替, 这样既没有破坏非噪声点的信息, 又去除了噪声点, 是有针对性地滤除脉冲噪声。引入阈值 β 的目的是用来区分缺陷图片的高频部分和低频部分, 高频部分灰度值变化较快, 对应缺陷区域和非缺陷区域的过渡区域, 即缺陷边缘; 低频部分灰度值变化较慢, 对应缺陷区域和非缺陷区域。对于低频部分, 图像应尽量平滑才能突出高频部分。如果当前中心像素与非噪声点最大值和最小值的差值的绝对值都小于 β , 那么可以近似地认为该点处于低频部分, 就用非噪声点均值代替该点像素值, 以更好地平滑低频部分, 滤除高斯噪声。整个算法保留了图像中有用的信息如缺陷边缘, 去除或抑制了无用的信息如椒盐噪声和高斯噪声, 提高了整幅图像的视觉质量。

该算法通过设定阈值选择性地对图像采取不同的滤波算法, 避免了对所有像素实施同一种滤波算法的盲目性, 使图像的有用信息得以保留, 为后期图像处理的质量提供了保障。

经过多次测试, 文中将两个阈值 α 设定为 3, β 设定为 10, 可以获得比较理想的结果。

2 图像分割

2.1 图像分割的意义

图像分割是根据图像的某些特征或特征集合的相似性准则, 对图像像素进行分组, 把图像平面划分为一系列“有意义”的区域, 为其后的图像特征提取及缺陷分类做准备, 同时又保留了有关图像重要特征的信息。由于分割中出现的误差会直接对后面的特征分析带来影响, 因此分割的精度是至关重要的^[6]。为了提高分割的精度, 文中应用改进的模糊聚类算法^[7-9]对图像进行分割。

2.2 聚类分析的数学模型

设 $X = \{x_1, x_2, \dots, x_n\} \subset R^r$ 是待聚类分析的对象的全集(称为论域)^[10], X 中的每个对象(称为样本) $x_i (1 \leq i \leq n)$ 一般用几个参数来刻画其特征, 于是 x_i 的特征矢量可以表示为 $\mathbf{x}_i = [x_{i1}, x_{i2}, \dots, x_{im}] \in$

R^n , 对应特征空间中的一个点或元素, 其中 x_{ij} ($1 \leq j \leq m$) 为特征矢量 x_i 的第 j 维特征上的赋值。对于待分割的图像而言, X 相当于整幅图像的像素集, x_i 相当于其中一个像素元素, x_{ij} 为像素 x_i 在第 j 维特征上的值。聚类分析就是分析论域 X 中的 n 个样本所对应的特征矢量间的空间距离及分散情况, 按照各样本间的距离远近关系把 x_1, x_2, \dots, x_n 划分成 c 个互不相交的特征子集 X_1, X_2, \dots, X_c 。

2.3 模糊 C 均值 (Fuzzy C-Means) 聚类算法

由聚类的数学模型可知, 数据集 X 的 c 个子集 X_1, X_2, \dots, X_c , 如果满足式 (1) 的条件, 则称之为 X 的硬 c -划分^[11]。

$$\begin{aligned} X_1 \cup X_2 \cup \dots \cup X_c &= X \\ X_i \cap X_j &= \emptyset, \quad 1 \leq i \neq j \\ X_i &\neq \emptyset, \quad X_i \neq X, \quad 1 \leq i \leq c \end{aligned} \quad (1)$$

如果用隶属度函数 $\mu_{X_i}(x_j) = \mu_{ij}$ 表示样本 x_j 与子集 X_i ($1 \leq i \leq c$) 的隶属关系, 则在硬 c -划分中, 显然有 $\mu_{ij} \in \{0, 1\}$, 划分矩阵可以表示为 $U = [\mu_{ij}]_{c \times n}$, 矩阵中 μ_{ij} 表示的是第 j 个样本 x_j 对第 i 类子集 X_i 的隶属度。于是 X 的硬 c -划分空间为:

$$\begin{aligned} M_h &= \{U \in R^{cn} \mid \mu_{ij} \in \{0, 1\}, \forall i, j; \sum_{i=1}^c \mu_{ij} = 1, \forall j; \\ &0 < \sum_{j=1}^n \mu_{ij} < n, \forall i\} \end{aligned} \quad (2)$$

Ruspini 利用模糊集理论把隶属函数 μ_{ij} 从 $\{0, 1\}$ 二值扩展到 $[0, 1]$ 区间, 从而把硬 c -划分概念推广到模糊 c -划分, 因此 X 的模糊 c -划分空间为:

$$\begin{aligned} M_f &= \{U \in R^{cn} \mid \mu_{ij} \in [0, 1], \forall i, j; \sum_{i=1}^c \mu_{ij} = 1, \forall j; \\ &0 < \sum_{j=1}^n \mu_{ij} < n, \forall i\} \end{aligned} \quad (3)$$

按照 Ruspini 定义的模糊划分的概念, Dunn^[12] 对每个样本到每类原型的距离用其隶属度平方加权, 构成了类内加权误差平方和目标函数 $J(U, V)$:

$$\begin{aligned} \min J(U, V) &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^2 \cdot d^2(x_j, v_i) \\ \text{s. t. } U &\in M_f \end{aligned} \quad (4)$$

后来, Bezdek^[13] 又将 Dunn 的目标函数推广为更普遍的形式, 给出了基于目标函数模糊聚类的更一般的描述:

$$\begin{aligned} \min J_m(U, V) &= \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^n \mu_{ij}^m \cdot d^2(x_j, v_i) \\ \text{s. t. } U &\in M_f \end{aligned} \quad (5)$$

式中, $m \in [1, \infty)$ 为加权指数, 一般 $m = 2$ 。

这一数学规划问题也是用交替优化来求解的, 同样根据拉格朗日乘数法可得两个优化迭代公式如下:

$$\begin{aligned} \mu_{ij} &= \frac{(d_{ij}^2)^{-1/(m-1)}}{\sum_{k=1}^c (d_{kj}^2)^{-1/(m-1)}}, \\ v_i &= \frac{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^m x_k}{\sum_{k=1}^n \mu_{ik}^m}, i = 1, 2, \dots, c \end{aligned} \quad (6)$$

如果 $\exists i, k$, 使得 $d_{ik} = 0$, 则有 $\mu_{ik} = 1$, 且对 $j \neq k$, $\mu_{ij} = 0$ ^[14]。

3 实验结果及分析

实验基于 Matlab2011b 版本平台, 分别对含有高斯噪声 (方差为 0.02)、椒盐噪声 (噪声密度为 0.05) 的人造图像和带钢表面缺陷图像采用文中提出的双阈值滤波算法进行去噪处理, 并将其结果与均值滤波、中值滤波的处理结果进行对比分析。为了更好地说明新算法对后期图像分割的作用, 分别对三种去噪结果使用 FCM 算法进行仿真得到分割图像, 并将结果进行对比分析, 如图 1 和图 2 所示。

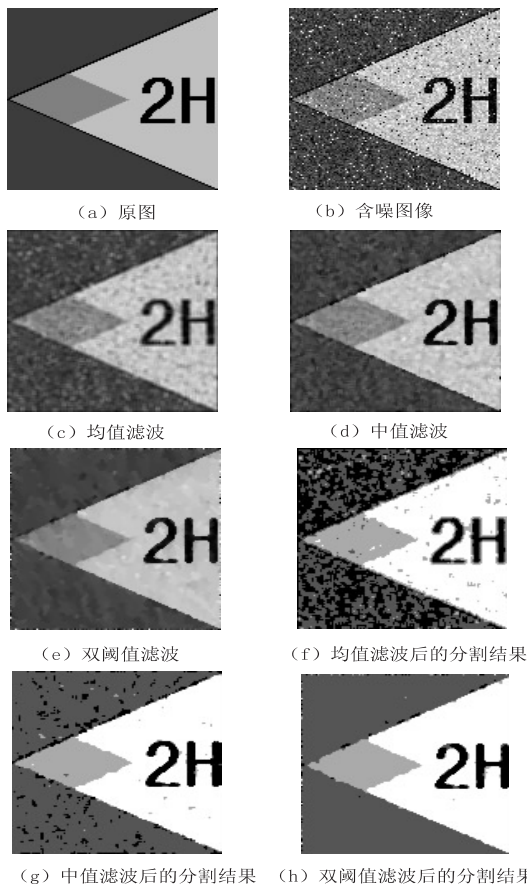


图 1 人造图像 3 种算法的去噪结果及分割结果

通过实验结果的对比可以得出以下结论:

(1) 对于均值滤波, 从图中可以看出, 其对椒盐噪声的去除效果很不明显。这是因为邻域内像素的均值受椒盐噪声影响非常大, 导致滤波后, 噪声幅度有所下降, 而噪声点面积变大。整体看来, 图像变得模糊, 椒

盐颗粒仍然影响图像质量,导致后期图像分割仍受椒盐噪声影响。

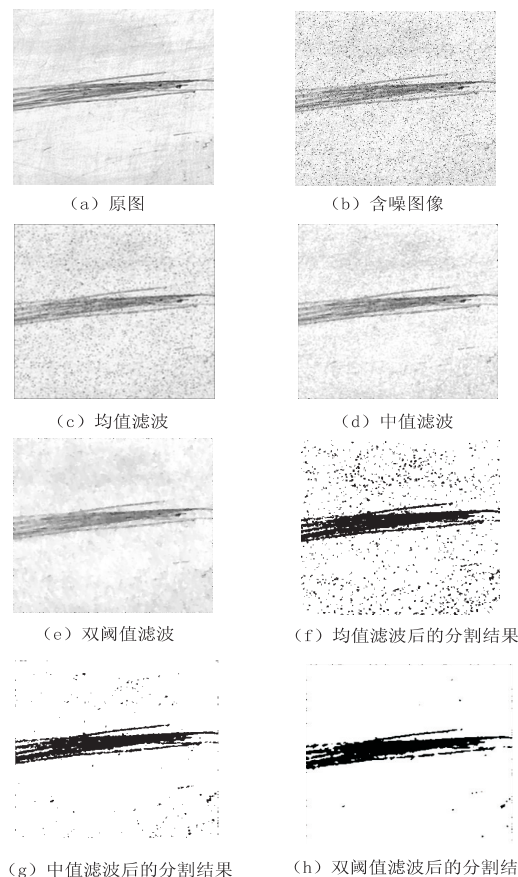


图2 缺陷图片3种算法的去噪结果及分割结果

(2)对于中值滤波,从图中可以看出,其对椒盐噪声起到了很好的去噪效果,而对高斯噪声的抑制效果不明显。这是因为椒盐噪声是一种脉冲噪声,所以根据中值滤波的算法原理可知,通过将邻域内像素的中值代替噪声点的值来抑制噪声,能基本去除噪声点。而高斯噪声不具备脉冲噪声的特性,所以中值滤波几乎对其没有滤除作用。比较图1和2的分割图像可以看出,平缓区域仍受到噪声影响,导致白色区域有黑色杂质,黑色区域有白色杂质。

(3)对于双阈值滤波,从图中可以看出,其对椒盐噪声和高斯噪声都起到了良好的去噪效果。这是因为,通过将图像中未被噪声污染的点取中值代替噪声点来选择性地滤除椒盐噪声,并且采用均值滤波滤除平缓区域的高斯噪声,使平缓区域更加平滑,突出了有用信息。对比图1(c)、(d)和(e)可以明显看出,双阈值滤波已经基本滤除了图像中的高斯噪声和椒盐噪声。对比图1和2的分割图像,均值滤波后分割图像受噪声影响最严重,其次中值滤波后分割图像平缓区域仍存在少量噪点,而双阈值滤波后分割图像平缓区域几乎不存在噪点。

(4)对于FCM算法,根据隶属度的关系,灰度值较

接近的被分成一类,从图1(e)可以看出,该算法准确地将图像分成了四类,符合对该图像的分割要求;由于带钢表面缺陷图片只存在缺陷部分和非缺陷部分,所以只需将图像分割成两类,如图2(e)所示,黑色部分表示的是划痕,分割结果基本符合要求。

4 结束语

文中针对带钢图片中的典型噪声——高斯噪声和脉冲噪声提出了双阈值滤波算法,通过实验对比验证了该算法既滤除了高斯噪声又滤除了脉冲噪声,效果远优于均值滤波和中值滤波。在图像去噪预处理后应用模糊聚类算法进行图像分割,将带钢表面缺陷图像划分为缺陷区域与非缺陷区域,分类迅速、准确。在对带钢表面检测系统的研究过程中,如何将改进的算法应用于实际需要以获得更好的效果仍将会是人们研究的热点问题。

参考文献:

- [1] 王亚安. 带钢表面缺陷检测关键技术研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2009.
- [2] 禹建东. 带钢表面缺陷智能检测系统的设计与研究[D]. 西安:西安建筑科技大学,2008.
- [3] 姚 敏. 数字图像处理[M]. 第2版. 北京:机械工业出版社,2012.
- [4] 孙即祥. 数字图像处理[M]. 石家庄:河北教育出版社,1993:131-138.
- [5] Russ J C. The image processing handbook[M]. 4th ed. [s. l.]:CRC Press,2002:60-63.
- [6] 刘国宏,郭文明. 改进的中值滤波去噪算法应用分析[J]. 计算机工程与应用,2010,46(10):187-189.
- [7] Coleman G B, Andrews H C. Image segmentation by clustering[J]. Proc of IEEE,1979,67(5):773-785.
- [8] Wang F. Fuzzy classification of remote sensing images[J]. IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing,1990,28(2):194-201.
- [9] Cheng H D, Chen Y H, Jiang X H. Thresholding using two dimensional histogram and fuzzy entropy principle[J]. IEEE Transactions on Image Processing,2000,9(4):732-735.
- [10] 章毓晋. 图像分割[M]. 北京:科学出版社,2001:1-5.
- [11] 李 洁. 基于自然计算的模糊聚类新算法研究[D]. 西安:西安电子科技大学,2004.
- [12] Dunn J C. A fuzzy relative of the ISODATA process and its use in detecting compact well separated cluster[J]. Journal of Cybernetics,1974,3:32-57.
- [13] Bezdek J C. Pattern recognition with fuzzy objective function algorithms[M]. New York:Plenum Press,1981.
- [14] 杨润玲,高新波. 基于加权模糊c均值聚类的快速图像自动分割算法[J]. 中国图像图形学报,2007,12(12):2105-2112.

带钢表面缺陷图片的去噪和分割方法研究

作者：[张黔](#)，[杨润玲](#)，[刘警锋](#)，[肖磊](#)，[ZHANG Qian](#)，[YANG Run-ling](#)，[LIU Jing-feng](#)，[XIAO Lei](#)
作者单位：[西安建筑科技大学 信息与控制工程学院, 陕西 西安, 710055](#)
刊名：[计算机技术与发展](#)[ISTIC](#)
英文刊名：[Computer Technology and Development](#)
年，卷(期)：2015(4)

引用本文格式：[张黔](#).[杨润玲](#).[刘警锋](#).[肖磊](#).[ZHANG Qian](#).[YANG Run-ling](#).[LIU Jing-feng](#).[XIAO Lei](#) [带钢表面缺陷图片的去噪和分割方法研究](#)[期刊论文]-[计算机技术与发展](#) 2015(4)