

带钢表面图像缺陷区域的分割方法^①

谢光伟¹, 仲兆准², 钟胜奎², 张运诗¹, 漆鹏杰¹

¹(苏州大学 机电工程学院, 苏州 215021)

²(苏州大学 沙钢钢铁学院, 苏州 215021)

摘要: 主要研究了一种适用于带钢表面图像的缺陷区域分割方法. 首先, 对传统的基于边缘检测和全局阈值的缺陷区域分割方法进行研究和比较, 然后根据带钢表面缺陷图像的灰度特点, 提出了一种基于灰度级形态学增强和自适应阈值的缺陷区域分割方法. 采用本文方法对常见的带钢表面图像进行缺陷区域分割实验, 结果表明本文方法的分割效果要优于传统的分割方法. 因此, 提出的基于灰度级形态学增强和自适应阈值的缺陷区域分割方法具有一定的实际应用价值.

关键词: 带钢; 表面缺陷; 分割; 阈值

Methods of Defect Region Segmentation for Strip Surface Image

XIE Guang-Wei¹, ZHONG Zhao-Zhun², ZHONG Sheng-Kui², ZHANG Yun-Shi¹, QI Peng-Jie¹

¹(College of Mechatronic Engineering, Soochow University, Suzhou 215021, China)

²(College of Shagang Steel, Soochow University, Suzhou 215021, China)

Abstract: The purpose of this paper is to develop a suitable method for the defect region segmentation of strip surface images. Firstly, the traditional segmentation methods based on edge detection and global thresholding are studied and compared. Then, according to the gray-scale characteristics of strip surface defect images, a new segmentation method is proposed based on gray-scale morphology and adaptive thresholding. Finally, experimental results show the effectiveness of the proposed segmentation method compared with the traditional ones. Therefore, the proposed segmentation method has some practical value.

Key words: strip; surface defect; segmentation; threshold

带钢是钢铁生产企业主要的产品之一, 广泛应用于机械制造、汽车、家电、建筑等产品中. 然而, 由于受轧制加工工艺、相关轧制设备等因素的影响, 在带钢的表面往往存在着不同类型的质量缺陷, 诸如孔洞、麻点、锈痕、夹杂、表皮分层、鳞斑等. 这些缺陷的存在, 一方面影响了带钢表面的美观度, 另一方面这些表面缺陷对带钢的抗疲劳、抗腐蚀、抗磨损等性能也存在一定的影响^[1]. 因此, 为了控制和保证带钢的表面质量, 需要对带钢的表面质量进行严格的检测. 传统的带钢表面质量在线检测方法主要是人工检测法, 这种方法由于借助于人工来完成, 具有成本低

的特点, 但同时也存在着检测效率不高、检测准确率低、劳动强度大的缺点, 越来越不适应企业现代化生产的要求. 而随着机器视觉技术的快速发展, 基于机器视觉的带钢表面质量在线检测技术不断完善, 相应的在线检测系统逐渐被一些带钢生产企业所使用.

基于机器视觉的带钢表面质量在线检测技术主要包括: 图像采集、图像预处理、缺陷区域分割、缺陷区域特征提取、缺陷识别等技术. 其中, 缺陷区域分割技术在整个在线检测系统中起着关键的作用. 由于带钢生产线环境恶劣, 光线不均, 由图像采集系统获得的图像中会融入噪声, 虽然通过图像预处理可以消去

① 基金项目: 国家自然科学基金(61304095, 51204115); 江苏省自然科学基金(SBK201342210); 江苏省研究生培养创新工程(CXLX12_0807)

收稿时间: 2014-02-07; 收到修改稿时间: 2014-04-02

一些噪声,但是去噪后的带钢表面图像仍然存在着对比度低,光照不均的特点,给缺陷区域的分割造成了一定困难.目前,许多学者对带钢表面缺陷区域分割技术做了大量的研究,取得了丰富的成果.孟祥迪^[2]等人提出了基于图像边缘信息和 Fisher 准则的钢板表面缺陷分割方法,该方法对于分割弱小的缺陷有着良好的效果;哈尔滨工业大学杨永敏^[3]等人将超熵和模糊集理论应用于带钢的表面缺陷分割.本文主要通过研究和比较传统的基于边缘检测和基于全局阈值的缺陷区域分割方法,并根据带钢表面缺陷图像的灰度特点,提出了一种基于灰度级形态学增强和自适应阈值的缺陷区域分割方法.

1 基于边缘检测的分割方法

图像边缘是图像局部特性不连续(灰度突变,颜色突变等)的反映,它标志着一个区域的终结和另一个区域的开始.边缘的特性是沿边缘走向的像素变化平缓,而垂直于边缘方向的像素变化剧烈.对于一幅没有缺陷的带钢表面图像,其像素点灰度值在水平方向和垂直方向上的分布是连续均匀的,而对于存在缺陷的带钢表面图像,在缺陷区域存在明显的边缘,即像素点灰度值的突变.所以,通过检测带钢表面图像中缺陷区域的边缘可以实现对缺陷区域的分割.在图像处理过程中,常采用一阶微分或二阶微分的方法来检测边缘,具体方法是通过边缘检测微分算子与图像进行卷积操作.常用的边缘检测微分算子有 Roberts 交叉梯度算子、Prewitt 算子、sobel 算子、Laplacian 算子、LoG 算子、Canny 算子等^[4].

2 基于全局阈值的分割方法

对于一幅存在缺陷的带钢表面图像而言,考虑其灰度值信息,可以将图像中的像素分为两类,一类是缺陷目标,另一类是图像背景.基于全局阈值的分割方法就是寻找到一个全局阈值 T ,根据该阈值 T 将缺陷目标和图像背景分开^[5-7].设原带钢图像为 $f(x,y)$,分割后的图像为 $g(x,y)$,则:

$$g(x,y) = \begin{cases} 1, & f(x,y) > T \\ 0, & f(x,y) \leq T \end{cases} \quad (1)$$

采用此方法,最终图像的分割准确性主要取决于全局阈值 T 的选择.典型的阈值选择方法有最大类间方差阈值选择法、迭代式阈值选择法.

2.1 最大类间方差阈值选择法(OTSU)

通过此种方法选择的最佳阈值 T 将图像中的像素分为两类,并使此两类的类间方差最大^[8].基本思想如下:设图像像素数为 N ,灰度级为 $[0,L-1]$,对应灰度级为 i 的像素个数为 n_i ,概率为:

$$p_i = n_i / N, i = 0, 1, 2, \dots, L-1 \quad (2)$$

根据某一阈值 T 把图像中的像素分为两类 C_0 和 C_1 , C_0 由灰度值在 $[0,T]$ 之间的像素组成, C_1 由灰度值在 $[T,L-1]$ 之间的像素组成.整幅图像的像素灰度均值为:

$$u_T = \sum_{i=0}^{L-1} iP_i \quad (3)$$

C_0 和 C_1 的像素灰度均值为:

$$u_0 = \sum_{i=0}^T iP_i / \omega_0 \quad (4)$$

$$u_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} iP_i / \omega_1 \quad (5)$$

其中

$$\omega_0 = \sum_{i=0}^T P_i \quad (6)$$

$$\omega_1 = \sum_{i=T+1}^{L-1} P_i = 1 - \omega_0 \quad (7)$$

最终可得: $u_T = \omega_0 u_0 + \omega_1 u_1$ (8)

类间方差的定义为:

$$\begin{aligned} \sigma_b^2 &= \omega_0(u_0 - u_T)^2 + \omega_1(u_1 - u_T)^2 \\ &= \dots \\ &= \omega_0 \omega_1 (u_0 - u_1)^2 \end{aligned} \quad (9)$$

让阈值 T 在 $[0,L-1]$ 范围内依次取值,使 σ_b^2 最大的 T 值即为最佳阈值.

2.2 迭代式阈值选择法

迭代式阈值选择方法的基本思想是:开始时选择一个阈值作为初始估计值,然后按某种策略不断地改进这一估计值,直到满足给定的准则为止^[9,10].具体方法如下:

1)确定一个初始阈值 T_0 ,具体可以选择图像中最大灰度值与最小灰度值之差的一半作为 T_0 .

$$\mu_1 = \frac{\sum_{i=0}^{T_j} in_i}{\sum_{i=0}^{T_j} n_i}, \mu_2 = \frac{\sum_{i=T_j}^{L-1} in_i}{\sum_{i=T_j}^{L-1} n_i} \quad (10)$$

2)利用阈值 $T = T_0$,将图像分割成两个区域 R_1 和

R_2 , 并利用下式计算区域 R_1 和 R_2 中像素点集合的灰度均值 μ_1 和 μ_2 ;

3) 根据 μ_1 和 μ_2 可以计算出一个新的阈值 T_{j+1} ;

$$T_{j+1} = \frac{1}{2}(\mu_1 + \mu_2) \quad (11)$$

4) 重复上述步骤(2)和(3), 直到 T_{j+1} 和 T_j 的差小于给定值. 此时 T_j 即为最佳阈值.

3 基于灰度级形态学增强和自适应阈值的分割方法

3.1 基于图像行(列)像素集合灰度信息的自适应阈值分割方法

带钢表面缺陷图像具有对比度低的特点, 选择一个合适的全局阈值比较困难, 但是通过分析图像中某一行(列)像素的灰度分布情况, 可以发现若该行(列)中的像素均属于图像背景, 那么该行(列)像素点灰度值分布较均匀, 无明显的突变; 若该行(列)中有个别像素是属于缺陷区域, 那么这些个别像素与其相邻点的灰度分布就不连续, 根据这一特点就可以判断出该行(列)上的任一像素点是否属于缺陷区域. 图2反映了图1中白色行上像素的灰度信息, 从中可以看出行像素中的某些点的灰度值突变明显, 而这些点恰好对应图像中的缺陷区域.

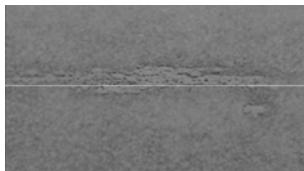


图1 表皮分层原图
缺陷区域点

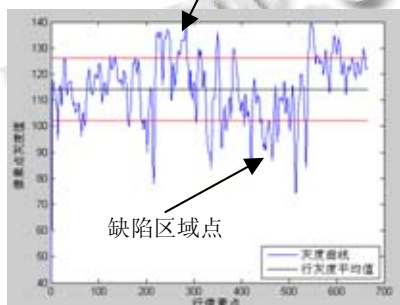


图2 行像素灰度信息

基于图像行(列)像素集合灰度信息的自适应阈值分割方法主要是考虑带钢表面缺陷图像的行(列)像素

集合这一局部灰度信息, 根据该局部灰度信息设定一个阈值, 并利用这一阈值仅对某一行(列)像素进行分割. 具体步骤如下:

1) 绘出图像中一行像素点的灰度分布曲线, 并求得该行像素的灰度平均值 avg_x 为;

$$avg_x = \frac{\sum_{y=0}^{N-1} f(x,y)}{N} \quad (12)$$

式中 N 为灰度图像 $f(x,y)$ 的宽度大小, avg_x 可以看作图像中第 x 行的阈值信息.

2) 根据该行像素点的灰度分布情况及灰度平均值 avg_x 设定一个灰度允许波动范围 T_x ;

3) 依次判断该行上的像素点灰度是否处于灰度允许波动范围内, 若是则将点判为图像背景点, 灰度值设为 0, 若不是则判为缺陷点, 灰度值设为 1, 具体公式如下:

$$g(x,y) = \begin{cases} 0, & |f(x,y) - avg_x| \leq T_x \\ 1, & |f(x,y) - avg_x| > T_x \end{cases} \quad (13)$$

4) 依据步骤 1)2)3)遍历图像中的所有行;

5) 按照对图像行像素点处理的方法依次处理图像列像素点, 并将此结果与行像素点处理结果求交. 某列像素的灰度平均值 avg_y 为:

$$avg_y = \frac{\sum_{x=0}^{M-1} f(x,y)}{M} \quad (14)$$

式中 M 为灰度图像 $f(x,y)$ 的高度大小, avg_y 可以看作图像中第 y 列的阈值信息.

与基于边缘检测或基于全局阈值的传统分割方法相比较, 基于图像行(列)像素集合灰度信息的自适应阈值分割方法具有以下优点: 1) 根据图像行(列)像素集合灰度信息选择的行(列)自适应阈值能反映出某行(列)的像素灰度信息, 同时仅对该行(列)的像素进行分割处理, 分割结果较理想. 而第 2 节中所讨论的基于全局阈值的分割方法选用的是全局阈值, 该信息不能有效地反映图像中某些局部像素集合的灰度特点, 所以会出现图像局部区域分割结果较差的现象, 继而影响整幅图的分割效果. 2) 在进行自适应阈值的计算时基本上采用的是最简单的加法运算, 而全局阈值的选择方法涉及到乘法运算, 边缘检测的方法涉及到卷积运算, 这些算法比较复杂, 耗时比较长, 所以相比之下

本文方法运算简单, 速度快.

3.2 利用灰度级形态学增强方法优化

通过实验发现, 采用基于图像行(列)像素集合灰度信息的自适应阈值对图像进行分割, 虽然可以有效的把缺陷区域提取出来, 但是有些非缺陷区域也被提取了出来, 即出现了一些伪缺陷. 这主要是由于图像中灰度差异不均匀导致的. 因此, 需采用相关的方法来增强图像的对比度, 即增强缺陷目标点与图像背景点的灰度差异, 在本文中采用灰度级形态学中的顶帽变换进行图像对比度的增强, 灰度级图像顶帽变换定义为灰度图像 $f(x,y)$ 减去其开操作后结果, 具体数学公式如下:

$$TopHat(f) = f - (f \circ b) \tag{15}$$

其中, 顶帽变换是从灰度图像 $f(x,y)$ 减去其开操作 $(f \circ b)$, 开操作带来的结果是放大了图像中的局部低亮区域, 所以顶帽变换可以突出比原图像周围的区域更明亮的区域, 同时可以有效地校正图像中光照不均匀的影响. 对于本文中, 带钢表面缺陷缺陷图像都有着光照不均的特点, 在进行基于图像行(列)像素集合灰度信息的自适应阈值分割之前, 采用顶帽变换处理缺陷图像, 可以有效地改善图像的质量, 继而提高图像分割的准确率.

4 分割实验和结果分析

利用边缘检测 sobel 算子、Canny 算子分别对表皮分层和鳞斑进行分割, 结果如图 3 所示. 从图中可以发现利用基于微分算子的边缘检测方法对对比度较差的带钢表面缺陷图像进行边缘提取效果较差. 在图像中一些孤立的噪声点也被检测为边缘, 且很多边缘都是断开的. 根据此方法无法实现缺陷区域的有效分割.

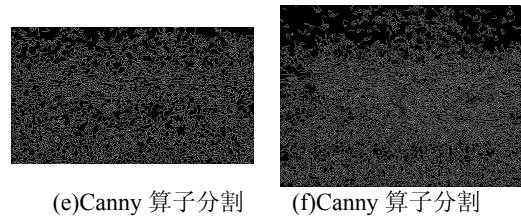
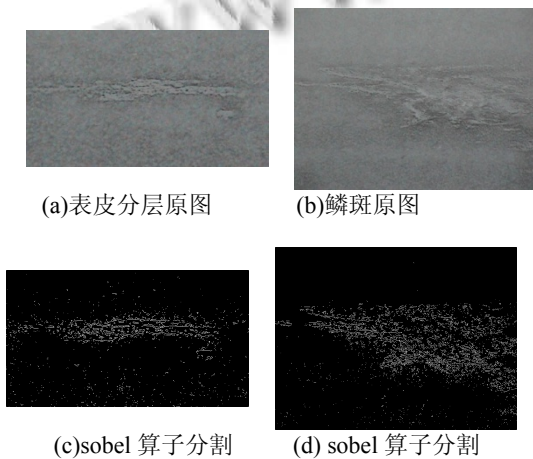


图 3 边缘检测分割结果

利用第 2 节中的两种方法分别求得阈值, 并对带钢缺陷图像进行分割, 分割结果如图 4 所示. 从图中可以看出, 基于全局阈值的分割方法适用于图像中背景和目標灰度差别较大的情形, 在直方图中表现为具有双峰, 图像中的背景和目標区域分别对应一个峰. 然而由于带钢生产线环境因素的影响, 在带钢表面质量检测系统中, 通过图像采集系统获得的带钢表面缺陷图像对比度较差, 直方图中往往表现为单峰, 利用全局阈值很难将缺陷目标和图像背景分隔开.

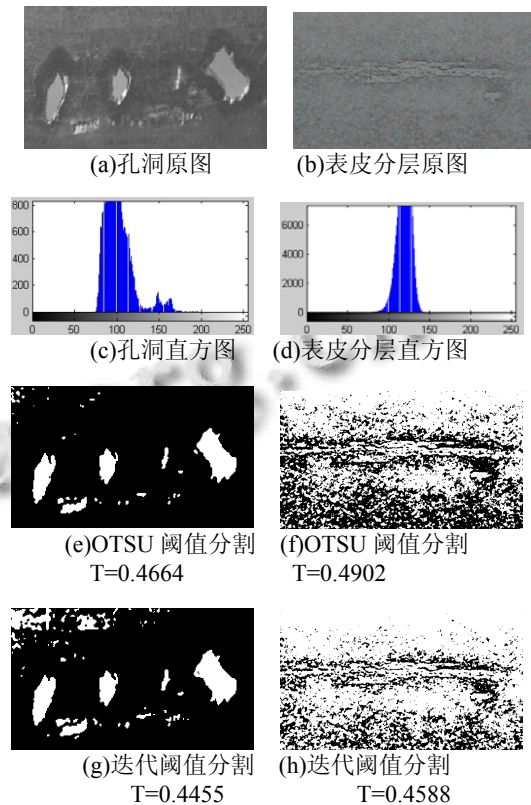


图 4 全局阈值分割结果

利用本文的方法对带钢表面缺陷图像进行缺陷分割, 结果如图 5 所示. 从图中可以看出, 各图像中的缺陷区域都被有效地分割出来了. 相比传统的基于边缘检测或基于全局阈值的分割方法, 本文的分割效果较理想.

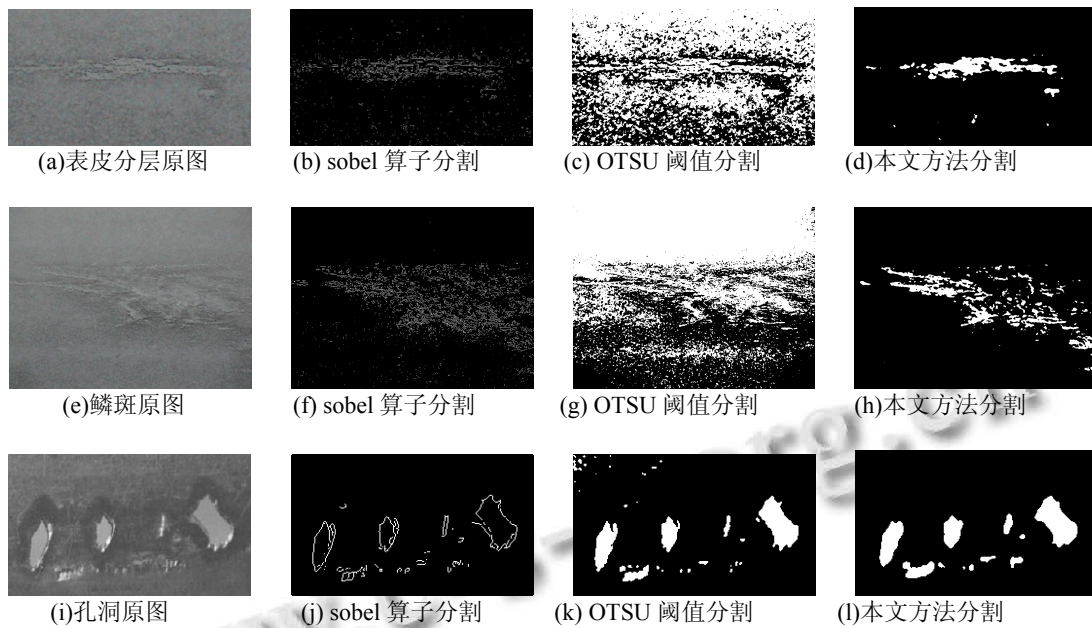


图 5 缺陷区域分割结果比较

5 结语

本文通过研究和比较常用的带钢表面缺陷分割方法,并分析带钢的图像特点,提出了一种基于灰度级形态学增强和自适应阈值的缺陷区域分割方法,该方法具有算法简单,实施容易的特点,利用本文方法对带钢表面图像进行缺陷分割,分割结果良好,所以本文方法具有一定的实际应用价值。

参考文献

- 1 赵薇.带钢表面缺陷检测及分割技术研究.机械设计与制造,2010,(10):224-226.
- 2 孟祥迪,陈升来,郭静寰.基于图像边缘信息和 Fisher 准则的钢板表面缺陷分割研究.光学技术,2007,33(3):382-385.
- 3 杨永敏,樊继壮,赵杰.基于超熵和模糊集理论的带钢表面缺陷分割.光学精密工程,2011,19(7):1651-1658.
- 4 李海华,范娟.基于梯度的自适应边缘检测算法研究.河南理工大学学报(自然科学版),2013,32(1):76-79.
- 5 吴一全,潘喆,吴文怡.二维直方图区域斜分的最大熵阈值分割算法.模式识别与人工智能,2009,22(1):162-168.
- 6 管声启,师红宇,王燕妮.基于图像零均值化的带钢缺陷检测.钢铁研究学报,2013,25(4):59-63.
- 7 李睿,彭新德,闵军,肖放华.数字图像处理技术在大米外观品质分析中的应用.计算机系统应用,2011,20(4):194-198.
- 8 吴丹,蔡晓东,谢月飞,曾威.基于直方图分析和 OTSU 算法的文字图像二值化.计算机与现代化,2013,(7):117-119,234.
- 9 王强.图像分割中阈值的选取研究及算法实现.计算机与现代化,2006,(10):54-56.
- 10 谭优,王泽勇.图像阈值分割算法实用技术与比较.微计算机信息,2007,23(24):298-299,233.