

用于金属板图像分割的自适应阈值算法*

薛志文 杨傲雷 费敏锐 沈春锋

(上海大学机电工程与自动化学院 上海 200070)

摘要: 针对生产线上金属板表面光照不均匀和白、灰细颗粒相间的特点,将一维、二维 Wellner 自适应阈值算法应用到这种场景,并结合高斯加权距离,将算法推广,提出了一种针对金属板表面图像分割的高斯加权自适应分割算法。该方法首先通过计算区域内像素间的高斯加权距离,形成一张加权距离图,然后利用 Wellner 的“中心-周围比较思想”直接求算二值图像。最后对实际产线上采集的图片进行了实验,将二维 otsu 算法、均匀性度量算法、一维、二维 Wellner 自适应算法和最后改进的算法在分割效果进行比较。实验结果表明,相对于其他算法,最后应用的算法在分割效果上具有明显的优势。

关键词: 阈值分割; 不均匀表面; 高斯加权距离

中图分类号: TN209 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 510.4050

Adaptive thresholding algorithm for image segmentation in metal plate

Xue Zhiwen Yang Aolei Fei Minrui Shen Chunfeng

(School of Electromechanical Engineering and Automation, Shanghai University, Shanghai 200072, China)

Abstract: For the problem of the characteristics of the grey and white granular background image condition on the surface of the plate metals, one-dimensional and two-dimensional Wellner adaptive threshold algorithm are the first time to be applied to the scene. Based on those two kinds of algorithm, this paper proposes a gaussian weighted adaptive threshold algorithm to solve the problem. Firstly, this algorithm calculates the gaussian weighted distance between pixels in a window to form a weighted distance diagram and then use the ideology of Wellner "center-around comparison" to calculate binary image directly. Finally, experiments are carried out on images acquired on actual production line. The two-dimensional otsu algorithm, uniformity measurement algorithm, one-dimensional, two-dimensional Wellner adaptive algorithm and the last improved algorithm are compared. Experimental results show that, compared with other algorithms, the algorithm in the end of this paper has obvious advantages in the image segmentation effect.

Keywords: threshold segmentation; uneven surface; the Gaussian weighted distance

1 引言

图像分割是图像处理中的一个关键技术,其基本目标为将目标与背景以二值化图像的方式分离,为目标识别、精确定位等后续方面的处理提供依据。课题来源于佛山覆膜铝板表面瑕疵检测。金属板表面的图像分割属于后续瑕疵的定位和识别的前提。根据利用图像信息种类的不同,分割方法分为 1)直方图的方法;2)聚类的方法;3)熵的方法;4)邻域的方法;5)局部分块方法^[1]。

基于直方图方法一般是根据直方图的形状属性实现分割。直方图分割涉及到了尹艳鹏等人^[2]提到的凹谷方法,吴德会等人^[3]的峰谷方法和一系列对直方图形状的算法。

然而,工业现场图片中,光照不均匀的带瑕疵的图片在直方图上一般不呈现明显的波峰波谷。这些方法很难分割。

基于聚类的方法主要是利用目标与背景两类的聚类分析来获取阈值。Ridler 等人^[4]提出了基于两类高斯混合的聚类迭代法,通过累加前景或背景来区分。而聚类法中最经典的是 otsu 算法^[5],算法通过寻求前景类和背景类的加权方差来寻找最佳阈值。这些方法在最后分割时,依然会引入直方图,间接导致分割无效;在模糊聚类方法中,由于目标与不均匀背景混合在一起,很难找到类内相似度低,类间相似度高的表现。

邻域阈值分割方法为每个像素计算其对应阈值,计算的依据可以是像素邻域内的排列、方差、表面匹配参数等统

收稿日期:2016-10

* 基金项目:上海市科委重大基础研究项目(14JC1402200)、上海市科委项目(15411953502)资助

计量,并按照计算出的阈值在邻域范围内进行分割。冯林等人^[6]提出了漫水填充的分割方法。这类方法通常对表面几乎无噪点的不均匀文档图像有较好的处理效果,对本文金属板表面的应用具有一定的借鉴意义。

2 Wellner 自适应二值化算法

2.1 金属板表面图像的特殊性

图 1 所示为无瑕疵金属板表面的图像,从图 1 可以看出产线上的金属板有深浅不一的底纹,除了在宏观上看具有一个方向的金属纹,无明显规律,白、灰色条颗粒相间。受产线机械影响,机械会存在偏离光照垂直线的震动,加上金属板自带的反光特性,使得光照无法均匀。一些细小的瑕疵很容易隐藏在不规律的底纹中。

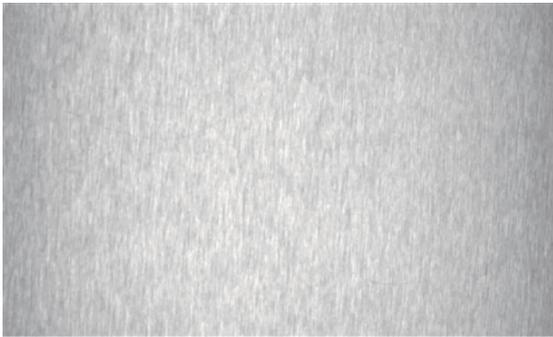


图 1 无瑕疵金属板表面

考虑到金属板表面的特殊情况,不均匀图像中某个像素的黑白,仅与其一定邻域范围内的像素相关。本文在处理这种金属板表面图像的方法上借鉴了邻域阈值分割算法中“中心-周围”^[7]思想。基于这种思想,本文在实际的分割中均不计算某个具体的阈值,而是将某点与其周围点的比较。本文重点分析并在金属板上应用了一维和二维 Wellner 自适应算法,并提出了进一步的更加科学改进,将高斯加权距离与 Wellner 的算法结合到一起,取得了很好的现实效果。

2.2 一维和二维 Wellner 自适应阈值算法

2.2.1 一维 Wellner 自适应算法

一维 Wellner 自适应算法是一种在图像的行或者列中应用“中心-周围”思想的算法。本文首次将方法应用到金属板表面的图像分割中。其基本思想如下:计算某个像素点前 s 个像素的平均值,并与这个像素值进行比较,若像素值明显低于均值,则像素为黑,否则为白。取任意电前 s 个像素点之和平均过程如图 2 所示。

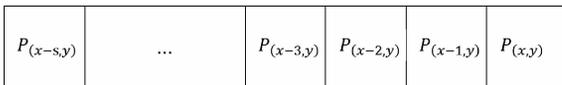


图 2 取任意点前 s 个像素点之和平均

假设 $P(x,y)$ 为图像中位于点 (x,y) 处的像素值,假

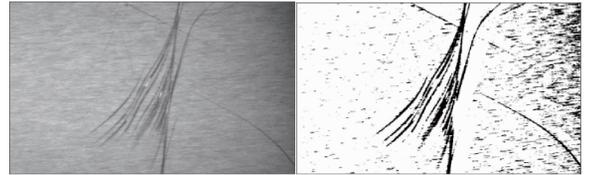
设 $f_s(x,y)$ 为是点 $P(x,y)$ 处最后 s 个像素值的总和:

$$f_s(x,y) = \sum_{i=0}^{s-1} P_{(x-i,y)} \quad (1)$$

设 $T(x,y)$ 为二值化后的图像, t 值为引入的一个比例系数,用来表示前面点计算的平均值对二值化点造成的影响:

$$T(x,y) = \begin{cases} 1, & P_n < \left(\frac{f_s(x,y)}{s}\right) \left(1 - \frac{t}{100}\right) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (2)$$

一维 Wellner 自适应处理算法如图 3 所示。Wellner 通过对印刷文档图像的大量分析统计,发现当 s 取值为图像宽度的 $1/8$, t 值取 15 时能够获得最佳二值化结果。本文经过大量的实验发现 s 与图像的大小没有关系,只与检测目标大小和噪声大小有关。本应用场景下,目标的直径为 $5 \sim 20$ 个像素。经过大量的实验,本文发现 s 为目标直径的一半且 $t = 10$ 时,能够在金属板表面的分割中获得最佳效果。



(a) 划痕瑕疵 (b) 一维 Wellner

图 3 一维 Wellner 自适应处理算

2.2.2 二维 Wellner 自适应分割算法

一维 Wellner 自适应分割算法只考虑了某个像素与其前 s 个像素的关系,而不考虑该像素邻域内上下左右的其他像素,这显然是片面的。实际上可以待分割点为中心 $s \times s$ 矩阵范围内像素和的平均值与该像素进行比较。该方法实际上是对 $s \times s$ 矩阵的图像进行积分操作。设 $f_{s \times s}(x,y)$ 为图像中某个点 $P_{s \times s}(x,y)$ 周围 $s \times s$ 矩阵的像素和:

$$f_{s \times s}(x,y) = \sum_{i=x-s/2}^{x+s/2} \sum_{j=y-s/2}^{y+s/2} P_{i,j} \quad (3)$$

作为 Wellner 一维自适应阈值算法的引申,同样引入一个 t 值,设 $T(x,y)$ 为阈值分割后的图像:

$$T(x,y) = \begin{cases} 1, & P_{s \times s}(x,y) < \left(\frac{f_{s \times s}(x,y)}{s \times s}\right) \left(1 - \frac{t}{100}\right) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (4)$$



(a) 原图 (b) 二维 Wellner

图 4 二维 Wellner 自适应处理算法

二维 Wellner 自适应算法(图 4)能够较好的解决图像不均匀的问题,尤其是在处理图片的右上角中可以看到,且随着 s 的增大,相对于 2.1.1 节不会引入太多的噪点。经过本文大量的实验, t, s 的选择与图像本身大小无关,亦只与目标的直径有关。本文发现,当 s 为目标尺寸的一半时具有最佳的分割效果。

3 高斯加权自适应分割算法

2.2.1 节考虑了待分割像素点前 s 个像素的影响,2.2.2 节考虑了待分割像素周围点的 $s \times s$ 矩阵的像素的影响。从人类的视觉特性来看,人眼更加关注某点周围像素的特点。即待分割像素不但与周围邻域点的像素值有关,还与周围点到待分割点的距离以及权值有关。距离越大,对待分割点的影响也越小。

结合本应用情况,考虑引入高斯核,利用高斯核将距离待分割点不同的点赋予不同的权值。文献[8]的文章中提出了一种将高斯核和欧氏距离结合的高斯加权重距离算法,并用此提取边缘图像。本文利用该权重距离,根据带分割点周围 $s \times s$ 的像素,计算一个分割点背景值,然后结合 Wellner 自适应分割的方式,引入 t 值,将待分割点与背景值系数 t 的积相比较,排除不均匀的影响,直接求算二值化图像,计算步骤如下。

1) 计算归一化的高斯加权核

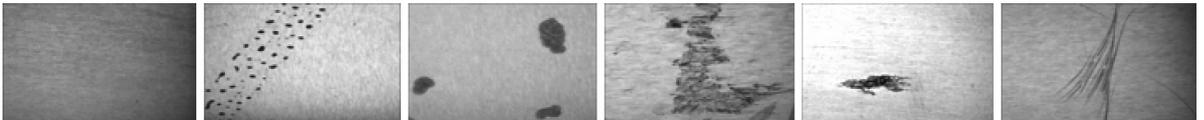
设分割图像为 I_c ,取其中任意一点 $P_{s \times s}(x, y)$ 周围的 $s \times s$ 点, δ 为高斯核中的方差, $f_{s \times s}$ 为 $s \times s$ 矩阵内的高斯加权运算和, $W(i, j)$ 为每个点的高斯值。令 $0 \leq i, j \leq 2s + 1$, 则:

$$W(i, j) = \exp\left(-\frac{(j-s)^2 + (i-s)^2}{2\delta^2}\right) \quad (5)$$

$$f_{s \times s} = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s W(i, j) \quad (6)$$

为保证高斯加权值在一个尺度下,需要对高斯核进行归一化。设 $\hat{W}(i, j)$ 为 $W(i, j)$ 的归一化值:

$$\hat{W}(i, j) = \frac{W(i, j)}{f_{s \times s}} \quad (7)$$



(a) 图像1

(b) 图像2

(c) 图像3

(d) 图像4

(e) 图像5

(f) 图像6

图6 原始待检测图

图 7 所示为处理后的图像,分别为二维 otsu 算法^[9]、均匀性度量算法^[10]和本文针对金属板应用的一维自适应算法、二维自适应和经过改进的高斯加权自适应算法。一维 Wellner 自适应中 $t=10, s=6$, 二维 Wellner 自适应中 $t=15, s=20$, 高斯自适应算法中 $t=10, s=6, \sigma=1$ 。

图 7(a1)~(e1)是用来测试不均匀光照和白、灰相间

2) 计算平均高斯欧氏距离

设 $P_{s \times s}(\hat{i}, j)$ 为点 $P_{s \times s}(i, j)$ 在 $s \times s$ 内除了自身外的任意一点,这两点的高斯欧氏距离 D_G , 距离和 D_s 如下:

$$D_G(i, j) = W(\hat{i}, j)(P_{s \times s}(i, j) - P_{s \times s}(\hat{i}, j))^2 \quad (8)$$

$$D_s = \sum_{i=0}^s \sum_{j=0}^s D_G(i, j) \quad (9)$$

进一步计算图像的平均高斯欧氏距离 $\overline{D_s}$:

$$\overline{D_s} = \frac{D_s}{(2s+1)^2} \quad (10)$$

3) 引入比例 t 值,计算二值化图像 $T(x, y)$:

$$T(x, y) = \begin{cases} 1, & P_{s \times s}(x, y) < (\overline{D_s}) \left(1 - \frac{t}{100}\right) \\ 0, & \text{其他} \end{cases} \quad (11)$$

图 5 所示为针对划痕的高斯加权自适应算法, $\sigma=3, s=10$, 算法能够明显地处理不均匀和白、灰相间的现象。在右上角不均匀较为剧烈的地方没有发生误分。划痕线条清晰、明显,具有较好的分割效果。



(a) 划痕原图

(b) $\sigma=3, s=10$

图5 高斯加权自适应算法

3.1 实验效果分析

实验室在 Intel(R) Core(TM) i5-3427U, CPU 2.3 GHz、4 G 内存的计算机上进行,程序环境为 VS2013,编程语言为 C#。本文对实际生产线上的图像进行了大量的测试,获得了较为理想的实验效果。

图 6 所示的 6 副幅图像大小均为 500×300 像素。其中 6(a) 为无瑕疵图,图 6(b)~(f) 分别为金属板表面常见的几种瑕疵。这些都是在实际工业现场采集的图像。

条状的分割效果。二维 otsu 作为典型的全局阈值算法,强制将原来仅含背景一类的图像分为两类目标和背景两类,造成了大片背景相连。均匀性度量方法不但误分,而且还在图的左上角引入了噪声。一维 Wellner 自适应算法在图像的右边缘灰度变化较为剧烈的点仍有较多误分。二维 Wellner 分割时不考虑周围点的权值是不同的特点,分割

时依然引入了大量的噪声。本文最后改进的高斯自适应加权算法处理图像稳定,仅有少量在误差范围内的噪声。一维和二维 Wellner 处理块状目标,会使块状图像空心化。

以二维 otsu 算法为代表的全局阈值算法均不适用。高斯加权自适应噪声较少,块状目标清晰,对金属板表面有较好的图像分割效果。

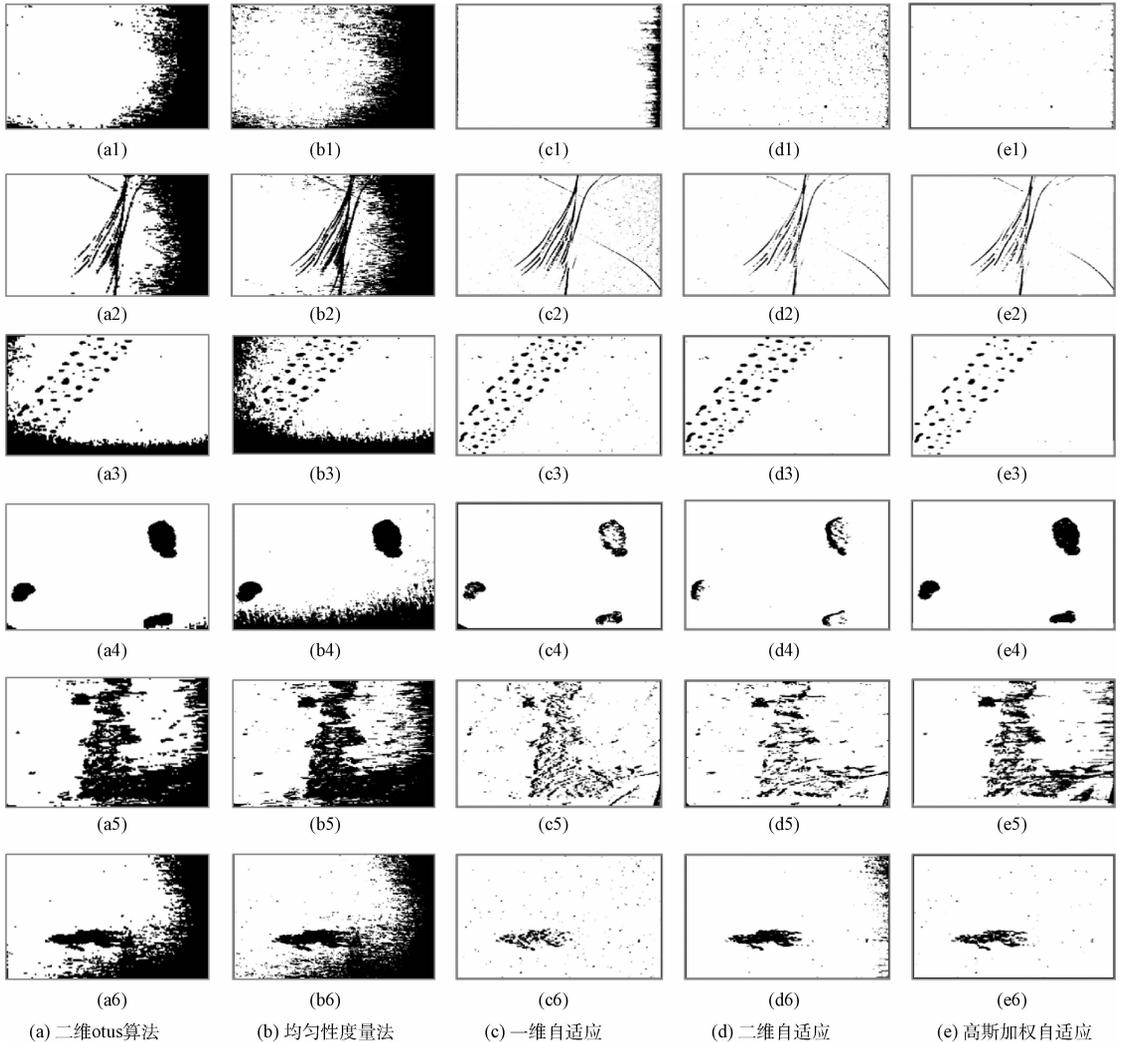


图 7 原始待检测图像 4 实验分析

表 1 高斯算法与其他算法耗时比较 (ms)

	二维 otsu	均匀性 度量	一维 自适应	二维 自适应	高斯加 自适应
原图 1	10 805	2 323	8	13	119
划痕 2	8 120	2 429	7	14	121
斑点 3	9 158	2 343	8	13	117
锈点 4	10 260	2 190	7	14	116
熔点 5	10 157	2 200	8	13	119
凹痕 6	9 302	2 329	7	14	118

3.2 处理速度分析

表 1 所示为各种不同瑕疵下算法的阈值分割计算时间。对于一张 500×300 像素的图像,二维 otsu 算法和均

匀性度量方法均耗时在 2 s 以上。一维、二维 Wellner 自适应算法速度较快,适合于精度要求不高和对时间要求较高的场合。本文改进的高斯加权算法处理效果好,复杂度略大,并不影响实际生产线使用。

4 结 论

本文首次在实际金属板表面的图像分割上应用了一维、二维 wellner 自适应算法,发现有很好的分割效果。本文在上述两种算法的基础上,将高斯距离与 Wellner 自适应算法结合到一起,提出了高斯加权自适应算法。这种算法可以很好地滤除金属板表面不均匀和白、灰相间现象,有效地降低噪声干扰,提高分割精度,通过大量的实验,证明了该型算法对于不同的算法有很好的分割效果。本文改进的算法也存在一些不足,由于每个点的高斯距离

都不一样,每个点都需要与其周围点的点比较,导致算法稳定性不够。

参考文献

- [1] 魏巍. 噪声和不均匀光照图像阈值分割技术研究[D]. 长春:吉林大学, 2011.
- [2] 尹艳鹏, 周颖, 曾丹, 等. 基于多特征融合条件随机场的人脸图像分割[J]. 电子测量技术, 2015, 38(6): 54-59.
- [3] 吴德会, 刘志天, 苏令铤. 双传感器差分峰值侦测的漏磁检测新方法[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(6): 20-27.
- [4] RIDLER T W, CALVARD S. Picture thresholding using an iterative selection method [J]. IEEE Transactions on Systems Man & Cybernetics, 2007, 8(8): 630-632.
- [5] 韩嘉隆, 毛征, 王宁, 等. 基于二维 OTSU 的海天分界线提取算法[J]. 国外电子测量技术, 2016, 35(8): 67-70.
- [6] 冯林, 孙焘, 吴振宇, 等. 基于分水岭变换和图论的图像分割方法[J]. 仪器仪表学报, 2008, 29(3): 649-653.
- [7] 金智, 尹柏强. 基于广义 S 变换的高斯领域时频滤波方法[J]. 电子测量与仪器学报, 2015, 29(1): 124-

131.

- [8] 徐平, 常英杰, 薛凌云. 基于边缘像元投影的微小轴承亚像素边缘检测[J]. 仪器仪表学报, 2016, 37(10): 2300-2306.
- [9] 汪海洋, 潘德炉, 夏德深. 二维 Otsu 自适应阈值选取算法的快速实现[J]. 自动化学报, 2007, 33(9): 968-971.
- [10] 王峰, 李华, 庄磊, 等. 投影显示系统屏幕亮度均匀性及校正方法[J]. 电子测量技术, 2003, 26(5): 33-34.

作者简介

薛志文, 硕士, 主要研究方向为图像处理与模式识别。

E-mail: xzw_shu@126.com

杨傲雷, 副教授, 主要研究方向为多智能体协同控制、图像处理与机器视觉、固定翼无人机控制与导航等。

E-mail: aolei.yang@gmail.com

费敏锐, 教授, 主要研究方向为网络化学习控制理论和智能化测控系统技术。

E-mail: mrfei@staff.shu.edu

沈春锋, 博士, 主要研究方向为机器视觉, 数据库等。

E-mail: shenchunfeng@baosight.com

(上接第 70 页)

- [7] 高薪, 卞鸿巍, 傅中泽, 等. 捷联惯导晃动基座四元数估计对准算法[J]. 惯性技术学报, 2014, 22(6): 724-728.
- [8] 单斌, 秦永元, 杨家胜, 等. 复杂干扰环境下捷联惯导自对准算法[J]. 中国惯性技术学报, 2015, 23(1): 1-5.
- [9] 郭强, 李岁芳, 王玮. 光电探测系统辅助 SINS 的动态对准方法[J]. 仪器仪表学报, 2015, 23(11): 2435-2442.
- [10] 程传奇, 程祥, 郝向阳, 等. 交互式捷联惯导仿真系统的设计与实现[J]. 电子测量技术, 2016, 39(8):

27-31, 47.

作者简介

袁群哲, 1964 年出生, 高工, 硕士, 研究方向为导航装备维修技术。

E-mail: YQZ7006@sina.com

郑振宇(通讯作者), 1979 年出生, 工程师, 博士, 研究方向为惯导系统初始对准技术。

E-mail: navyzzy@163.com