

光照不均匀图像的阈值分割*

王 仲, 郑镭浩, 付鲁华*, 苟建松

(天津大学 精密测试技术及仪器国家重点实验室, 天津 300072)

摘 要: 机器视觉检测中, 图像光照不均匀现象会增加后续处理的难度, 因此需要对其进行有效的阈值分割。本算法通过窗口分割提取原图的背景灰度图后, 结合局部对比度调整系数, 对图像进行背景均匀化处理, 然后进行全局阈值分割。实验对具有典型光照问题的高分辨率线纹尺图像处理效果良好, 平均时间在 0.5s 以内。通过与其他几种算法的对比, 证明本算法处理效果最佳, 所耗时间满足实时性, 为目标的进一步测量工作奠定了良好的基础。

关键词: 机器视觉; 光照不均匀; 背景提取; 阈值分割

中图分类号: TP391.41

Threshold segmentation of uneven illumination images

Wang Zhong, Zheng Ronghao, Fu Luhua*, Gou Jiansong

(State Key Laboratory of Precision Measuring Technology & Instruments, Tianjin University, Tianjin 300072, China)

Abstract: Objective: In machine vision inspection, uneven illumination images will increase the difficulty of the subsequent image processing. Therefore, uneven illumination images need effective threshold segmentation. Method: In the algorithm of this paper, after extracting the background grayscale of the original image through window division, it homogenized the background of the image combined with the local contrast adjustment coefficient. Then use global threshold segmentation to binarize the image. Result: Images used in the experiment are linear scale images with typical lighting problems and a high resolution. The results indicate that the effect of the binarization is pretty fine and the average processing time is within 0.5s. Conclusion: Through comparison with several other algorithms, it demonstrates that this algorithm can ensure the best processing effect and the consumption of time can meet the requirement of real-time industrial measurement, so that provides a good foundation for further measurement.

Key Words: machine vision; uneven illumination; background extraction; threshold segmentation

0 引言

基于机器视觉的自动检测系统正在越来越广泛地被应用于工业生产线上, 对于一个自动检测系统, 通常的要求是稳定高效。稳定要求该系统能适应不同的光照条件, 并能够抗噪声干扰; 高效要求系统的检测速度要快, 以符合生产线检测的特点。在实际检测过程中, 由于各种条件的限制, 往往只能使用比较简单的非均匀光源, 且当测量系统开放时, 环境光也会对图像采集造成影响, 导致在图像中产生背景噪声, 严重影响到图像的检测精度和分析结果。因此, 找到一种快速有效的算法, 能够消除不均匀的光照对图像造成的影响, 是工业视觉检测系统必须解决的问题^[1]。

目前, 已有很多领域针对图像光照不均匀现象提出了不同的算法, 例如文本图像^[2-4]、车牌图像^[5-6]、指纹图像^[7]和金属表面缺陷图像或刻字图像^[8-9]等。这些算法大部分只针对某种物体

的检测, 不具有通用性, 且阈值分割的目的是为后续的处理做准备, 而不是为了精确测量, 并不需要太高精度, 或像指纹等图像一样本身信息较少, 因此所处理的图像一般分辨率较低, 无法体现对高分辨率图像处理时算法速度是否可以满足工业测量的实时性。针对现有算法的不足, 本文以线纹尺图像为例, 提出一种适用于高分辨率测量图像的阈值分割方法。

线纹尺是国家量值传递中的一级, 作为一种产品, 存在大批量的校准检定工作。线纹尺的检定方法一般是将被检尺与标准尺展开平行放置, 使两尺的零值线纹对齐后, 测量各段和全长误差。线纹尺多采用金属或玻璃加工而成, 表面光滑, 容易反光; 标准线纹尺是直接对尺带进行精密刻画加工而成, 未进行煮黑处理, 刻线与背景灰度差异不明显; 相同光照条件下, 由于被检尺与标准尺的材质、形态及颜色差异, 造成两尺的尺面亮度不同; 开放的测量环境无法保证光照的稳定性, 易造成曝光不足、曝光过度或光照不均匀^[10]等现象。以上这些问题具

基金项目: 国家重大科学仪器设备开发专项 (2013YQ17053903)

作者简介: 王仲 (1953-), 男, 天津人, 教授, 硕士, 主要研究方向为精密机械与机器视觉; 郑镭浩 (1990-), 女, 山西吕梁人, 硕士研究生, 主要研究方向为机器视觉、图形图像处理 (bulovek@163.com); 付鲁华 (1972-), 女, 山东人, 副教授, 博士, 主要研究方向为精密测试技术及仪器; 苟建松 (1991-), 男, 山东滨州人, 硕士研究生, 主要研究方向为 DSP 自动控制。

有典型代表意义,都对图像的有效阈值分割造成了严重的影响。常见的二值化方法可分为全局阈值法和局部阈值法两类。全局阈值法(例如迭代法^[11]和 Otsu 法^[12]等)适合对目标与背景明显分离的图像进行分割,无法适应多变的光照情况;局部阈值法(例如 Bernsen 法^[13]、Chow 和 Kaneko 法^[14]和 Sauvola 法^[15]等)可以对目标与周围的背景作较好的分离,但是对背景区域和阴影比较敏感,易产生伪影^[16]。本文以线纹尺为案例提出了一种基于背景提取,结合对比度补偿对图像进行背景均匀化处理,然后再进行阈值分割的方法,以求在阈值分割后得到清晰有效的二值化图像。

1 图像背景提取

图 1 所示为具有典型光照问题的线纹尺图像,设图像分辨率为 $nWidth * nHeight$, 原图灰度信息为 $G_o(x,y)$, 其中,
 $0 \leq x \leq nWidth - 1, 0 \leq y \leq nHeight - 1, 0 \leq G_o \leq 255$ 。
在局部范围内,目标灰度值小于背景灰度值,因此设置窗口,窗口的宽度 $windoww$ 与高度 $windowh$ 分别是图像宽度

$nWidth$ 和高度 $nHeight$ 的约数,先将图像分割成为 $\frac{nWidth}{windoww} * \frac{nHeight}{windowh}$ 个 $windoww * windowh$ 大小的窗口,再对每个窗口内的背景灰度值进行估算。由于线纹尺图像的二值化目的是得到清晰的线纹图像,设图像中线纹方向为竖直方向,为了在每个窗口内有效区分线纹与背景的灰度值,设置窗口的原则应满足同时包含线纹区域与背景像区域,即窗口宽度大于最粗线纹的宽度(像素单位),若小于线纹宽度,当窗口完全位于线纹区域时,将无法获得线纹区域与背景区域的灰度差异信息;为了保证算法效率,窗口高度应选择尽量小的值,在只需要获取竖直方向的线纹信息,不需要获取水平方向的尺边沿信息时,窗口高度可设置为 1,即将水平方向的信息全部看作背景信息。将图像用窗口大小进行分割后,对每个窗口中的像素点灰度值由大到小进行排序,计算前 $\frac{1}{5}(windoww * windowh)$ 个像素灰度值的平均值,作为该窗口内的背景灰度值,设所提取到的背景图灰度信息为 $G_b(x,y)$ 。

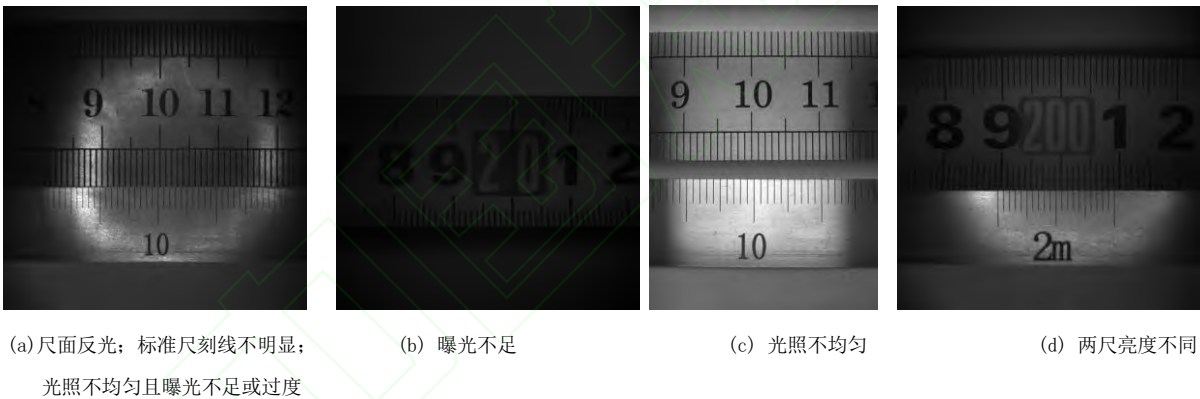


图 1 线纹尺典型光照问题

对图 1 中的各图提取背景,所得结果如图 2 所示。观察图 2 可知,对于字号较大的数字,也被算法识别为背景部分,这是由于窗口宽度未达到字符笔画的宽度。鉴于线纹尺测量与检定工作

中一般只需要得到刻线位置,数字信息可由智能计数获得,因此可以在设置窗口宽度时不考虑字符笔画宽度,只考虑刻线最大宽度。

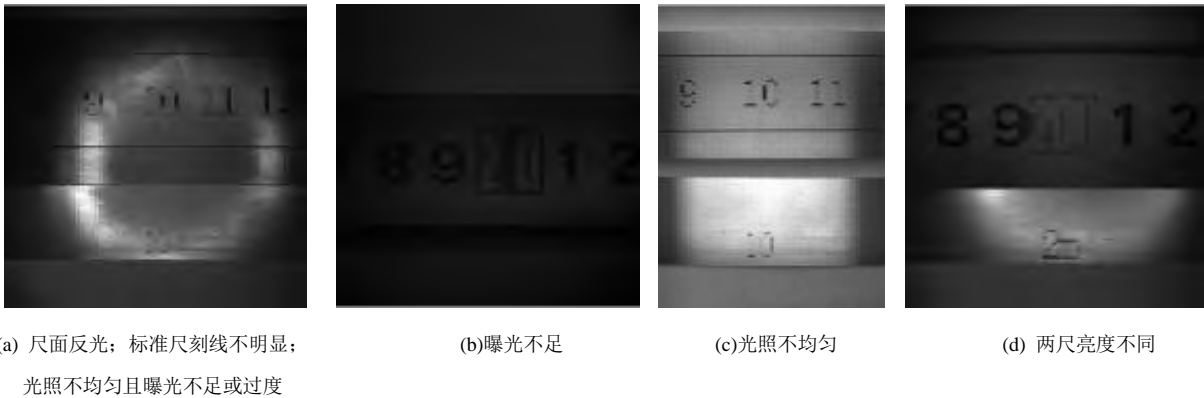


图 2 背景图像

2 局部对比度补偿与背景均匀化

提取背景图后,理论上由式(1)即可计算得到背景均匀化后的图像 $G_u(x, y)$, 式中当 $G_b(x, y) \leq G_o(x, y)$ 时, (x, y) 点一定为背景像素点, 将其灰度值直接置为 255 (白色); 当 $G_b(x, y) > G_o(x, y)$ 时, (x, y) 点可能为目标像素点, 因此需要对其进行去除背景处理, 即对原图整体加上背景灰度值相对于 255 的偏移量, 将背景矫正为 255。但是对于金属表面刻字的情况, 在相对较亮的区域, 目标像素与背景像素灰度值差异较大, 计算所得的 $G_u(x, y)$ 偏小; 而在相对较暗的区域, 目标像素与背

景像素灰度值差异较小, 计算所得的 $G_u(x, y)$ 偏大, 仅作简单的相减运算后直接进行全局阈值分割, 这部分区域目标像素与背景像素的判断很可能发生混淆。

$$G_u(x, y) = \begin{cases} G_o(x, y) + (255 - G_b(x, y)), & G_b(x, y) > G_o(x, y) \\ 255, & G_b(x, y) \leq G_o(x, y) \end{cases} \quad (1)$$

对图 1 各图不经局部对比度补偿, 直接按照式(1)处理并二值化后的结果如图 3 所示, 可见, 图像暗区普遍被全部误判为背景一并去除了, 尤其在图 1(d) 中, 由于两尺材质与形状不同, 造成尺面亮度差距较大, 亮度较暗的尺在二值化后几乎全部被去除了, 如图 3(d) 所示。而亮区对物体表面粗糙度较为敏感, 出现了刻线不清晰和伪影现象。

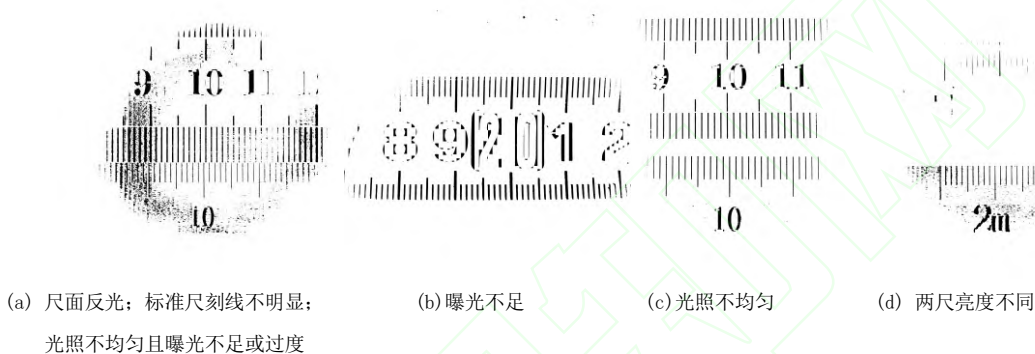


图 3 未经局部对比度补偿的二值化结果

针对图像暗区和亮区出现的误判现象, 需要在这些区域增加补偿系数, 以调整目标与背景的对比度。将式(1)作如下改写为

$$G_u(x, y) = \begin{cases} 255 - C(G_b(x, y) - G_o(x, y)), & G_b(x, y) > G_o(x, y) \\ 255, & G_b(x, y) \leq G_o(x, y) \end{cases} \quad (2)$$

其中,
$$C = \begin{cases} \frac{averBkg - 0.5 * dmax}{G_b(x, y)}, & G_b(x, y) > averBkg + 0.5 * dmax \\ \frac{averBkg + 0.5 * dmin}{G_b(x, y)}, & G_b(x, y) < averBkg - 0.5 * dmin \\ 1, & \text{其他} \end{cases} \quad (3)$$

$averBkg$ 为背景灰度平均值, $dmax = averMax - averBkg$, 为背景灰度估计最大值与背景灰度平均值的差值, $dmin = averBkg - averMin$, 为背景灰度平均值与背景灰度估计最小值的差值。为获取以上参数, 需要先统计背景图 $G_b(x, y)$ 的灰度直方图, 得到数组 $Histogram[i]$, $i = 0, 1, \dots, 255$, $Histogram[i]$ 中分别存储了背景图中对应灰度值为 i 的像素个数。 $averBkg$ 、 $averMin$ 和 $averMax$ 分别由下式计算得出:

$$averBkg = \frac{\sum_{i=0}^{255} i * Histogram[i]}{\sum_{i=0}^{255} Histogram[i]} \quad (4)$$

$$averMin = \frac{\sum_{i=0}^{averBkg} i * Histogram[i]}{\sum_{i=0}^{averBkg} Histogram[i]} \quad (5)$$

$$averMax = \frac{\sum_{i=averBkg}^{255} i * Histogram[i]}{\sum_{i=averBkg}^{255} Histogram[i]} \quad (6)$$

增加补偿系数 C 后, 对于图像亮区, C 小于 1, 相当于较式

(1) 来说增大了 $G_u(x, y)$; 对于图像暗区, C 大于 1, 相

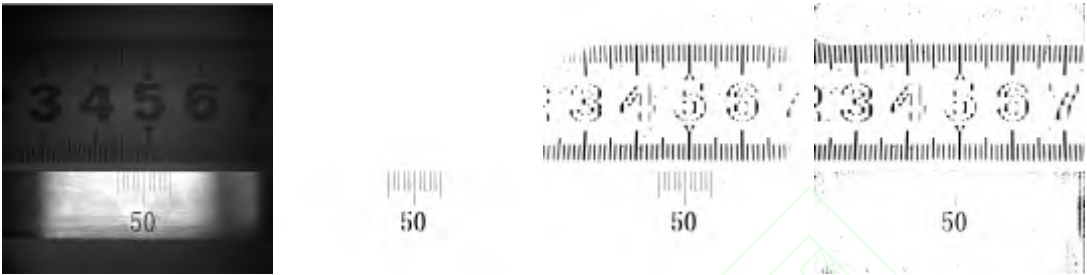
当于较式(1)来说减小了 $G_u(x, y)$, 因此由式(2)可以得到背景更加均匀化的图像。

3 图像阈值分割

经过图像背景均匀化后, 即可直接对图像进行全局阈值分割。采用常见的迭代法、Otsu 法等自适应门限全局阈值分割法均可以达到比较理想的效果。

需要特别指出的是,当被测物体为多个目标,且由于材质等因素造成表面灰度差异太大时,可以对不同的目标进行区域划分,分别对每个区域进行全局阈值分割,以进一步减小灰度不均匀带来的影响,恰当的区域划分甚至可以代替对比度补偿步骤。如图 4 (a) 所示,表面灰度差异较大,标准尺与被检尺图像。用不加补偿系数的背景均匀化公式处理图像后,直接进行全局阈值变换所得结果为图 4 (b),可见图像中较暗的被检尺

部分被完全当作背景去除了。由剩余的标准尺图像获得两尺的分界线,对图像上下两部分区域分别进行全局阈值分割,所得结果为图 4 (c),除了少部分不影响测量的边沿部分,标准尺与被检尺刻线均清晰有效。图 4 (d) 为增加对比度补偿系数进行背景均匀化,然后进行阈值分割的结果,标准尺刻线几乎全部被错误剔除,可见,当图像中多个目标对象的灰度对比比较大时,分区域进行阈值分割是很有必要的。



(a) 表面材质差异导致的光照不均匀图像 (b) 无补偿系数阈值分割结果 (c) 分区阈值分割结果 (d) 增加补偿系数并分区阈值分割结果

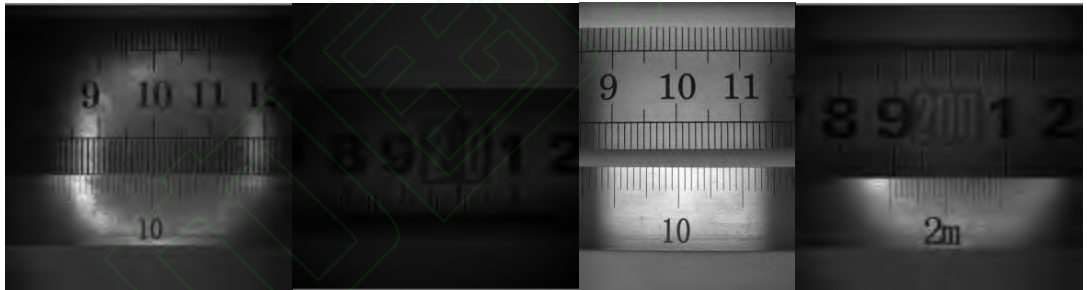
图 4 分区域阈值分割

4 实验分析

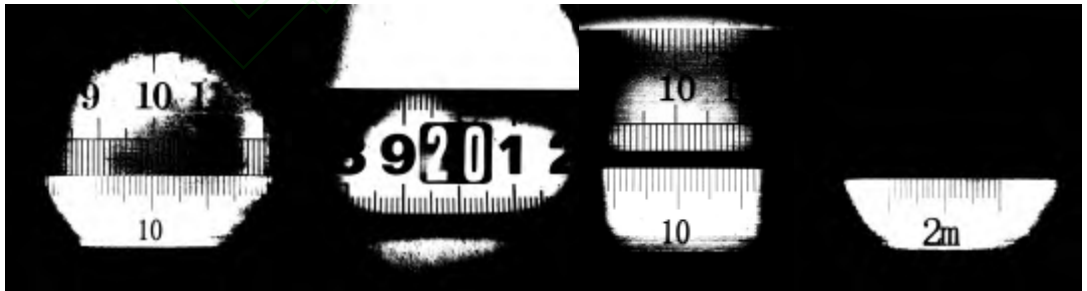
文献[17]提出了一种改进的 Bernsen 算法,考虑到图像中的刻线沿竖直方向,将 Bernsen 算法的 $(2W+1) \times (2W+1)$ 窗口改为 $(2W+1) \times 1$ 窗口,以提高算法速度,计算阈值:

$$T(x,y)=0.5 \times \left(\max_{-W \leq l \leq W} f(x,y+l) + \min_{-W \leq l \leq W} f(x,y+l) \right) \quad (7)$$

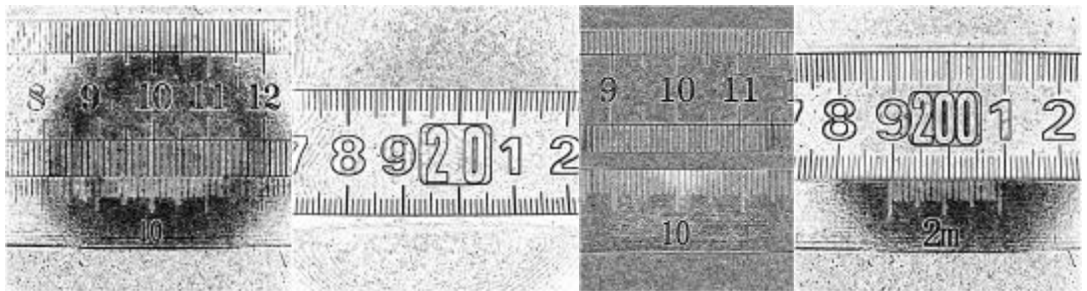
其中窗口参数 W 根据刻线宽度 w_k 和刻线间距 w_s 选取,满足 $\max(w_k,w_s) < (2W+1)$ 。经过改进的 Bernsen 法二值化,再进行垂直线滤波去除伪影与毛刺,得到最终的结果。分别用 Otsu 算法、传统 Bernsen 算法、文献[17]中的算法和本文算法对典型问题图像(分辨率为 2592*1944)进行处理,所得结果如图 5 所示,并在表 1 中列出了各个算法在算法效率上的比较。



(a) 原图



(b) Otsu 算法



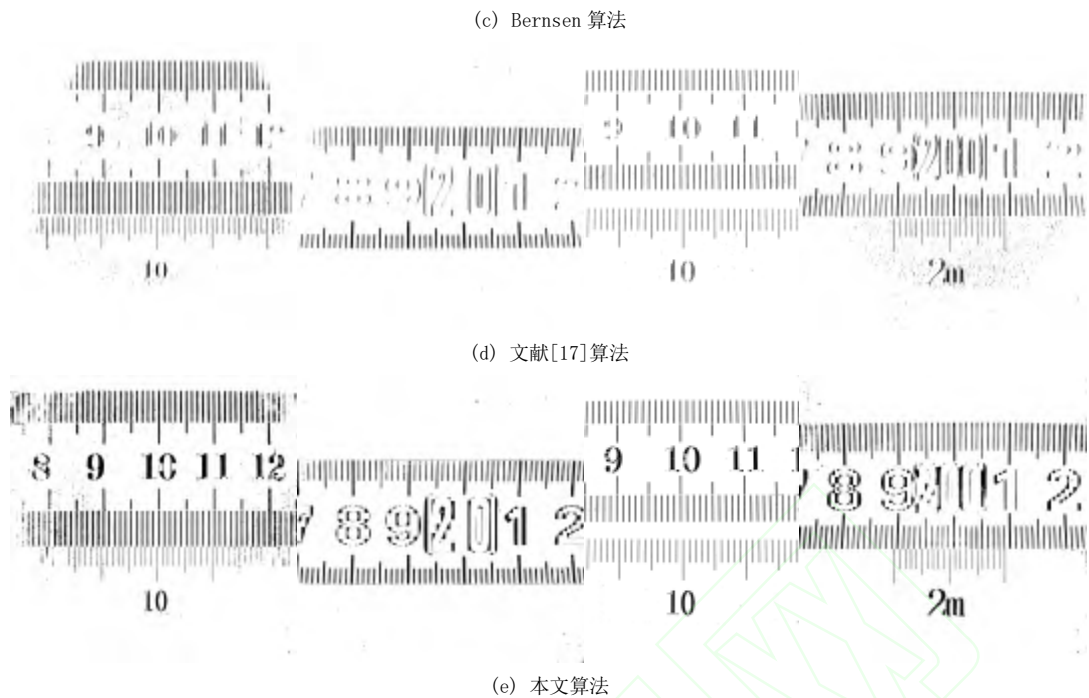


图 5 各算法处理结果比较

表 1 各算法运行效率比较

算法名称	算法参数设置	算法所耗时间（s）				
		1 (a)	1 (b)	1 (c)	1 (d)	平均时间
Otsu 算法	无	0.047	0.031	0.032	0.047	0.03925
Bernsen 算法	窗口为 17*17	12.500	11.640	11.453	11.219	11.7030
文献[17]算法	改进的 Bernsen 算法，窗口为 17*1，垂直线滤波窗口根据实际情况选择	2.766	2.703	2.344	2.281	2.5235
本文算法	窗口为 16*1	0.609	0.469	0.453	0.421	0.4880

观察图 5 及表 1 可知，Otsu 算法速度最快，但效果最差，图像相对较暗区域的信息几乎全部丢失。Bernsen 算法速度最慢，无法有效分割对比度较强的图片，且伪影太多，所得图像无法用于下一步测量。文献[17]算法速度较慢，且对每一幅图，均需要人工试探调整，才能确定取得最好效果的垂直线滤波窗口参数，即实际花费的算法时间远不止表中所列，此外，其图像亮区易出现杂散的伪影，且无法获得完整的标准尺数字。而本文算法与简单的全局阈值法相比，速度较慢，但在多线程的情况下完全可以满足工业实时检测要求；整体效果良好，尺面刻线与标准尺数字清晰有效，只在尺面以外的部分出现少量杂散点；当图像亮暗对比度较强时，易受镜头畸变、CCD 感光度等硬件因素的影响，对小部分边缘的二值化效果不是很理想。

此外，本文算法还可以起到去除尺面划痕干扰的作用，如图 6 所示，贯穿整个被检尺尺面的一条划痕被全部去除。通过合理调整窗口，本算法对非垂直或非水平划痕的剔除尤其有效。当图像处理的目的是去除划痕干扰而是划痕检测时，也可通过合理设置窗口实现。

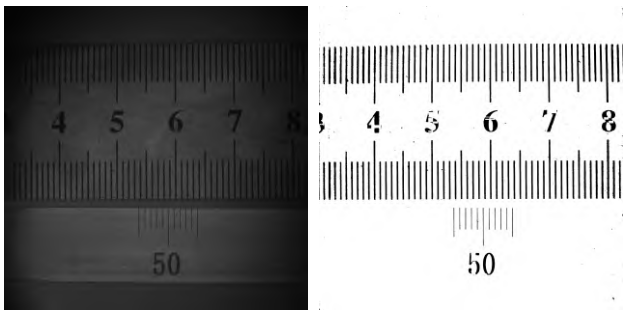


图 6 划痕剔除

5 结束语

随着机器视觉技术的不断发展，越来越多的工业检测青睐于采用这种非接触测量手段，光照不均匀现象的消除作为图像预处理阶段的问题，显得尤为重要。本文提出一种基于背景提取的阈值分割方法，结合所提取的背景灰度图与对比度补偿系数，对图像进行背景均匀化处理后，再进行全局阈

值分割。文中以线纹尺图像为例,通过与 Otsu 算法、传统 Bernsen 算法以及文献[9]中算法的对比,证实了本文算法在时间和效果上均具有很大的优越性。对于文本图像二值化、金属等高反光材质表面刻字识别、高反光材质表面划痕检测、指纹图像识别以及车牌识别等问题,均会遇到与文中类似的光照不均匀问题,只要对两处做出合理的调整即可实现有效阈值分割:调整窗口,使高宽大于单个目标的高宽;当物体为非高反光材质时,较亮区域与较暗区域的目标像素和背景像素的灰度值差异都不明显,需要对补偿系数 C 作出调整:

$$C = \frac{G_b(x, y)}{averBkg - 0.5 * dmax}, G_b(x, y) > averBkg + 0.5 * dmax \quad (8)$$

参考文献:

- [1] 韩希珍, 赵健. 结合偏微分方程增强图像纹理及对比度[J]. 光学精密工程, 2012, 20(6): 1382-1388.
- [2] Pei S C, Hsian Y Z, Tzeng M, et al. Uneven illumination removal and image enhancement using empirical mode decomposition[J]. Journal of Electronic Imaging, 2013, 22(4): 043037-043037.
- [3] 孙洁娣, 温江涛, 李书莱, 等. 局部高亮干扰文本图像的二值化方法研究[J]. 光电工程, 2012, 39(11): 75-80.
- [4] Liu S, Li Y, Gao Y, et al. Research for binarization of uneven illumination text image[C]//2012 International Conference on Graphic and Image Processing. International Society for Optics and Photonics, 2013: 87686O-87686O-5.
- [5] Shen R C, Shen D F. License Plate recognition under nonuniform illumination[M]//Intelligent Technologies and Engineering Systems. Springer New York, 2013: 193-200.
- [6] Lee B R, Park K, Kang H, et al. Adaptive local binarization method for recognition of vehicle license plates[M]//Combinatorial Image Analysis. Springer Berlin Heidelberg, 2005: 646-655.
- [7] 楚亚蕴, 詹小四, 孙兆才, 王峰, 陈蕴. 一种结合方向信息的指纹图像二值化算法[J]. 中国图象图形学报, 2006(06).
- [8] 栾柱晓, 唐璜, 高溪. 基于机器视觉的金属箔材表面针孔实时检测[J]. 微计算机信息, 2009 (9): 250-251.
- [9] Evers C. Method for recognizing previously localized characters present in digital gray tone images, particularly for recognizing characters struck into metal surfaces: U. S. Patent 5,073,955[P]. 1991-12-17.
- [10] 赵保亚, 魏彩乔. 基于边缘检测的钢卷尺图像二值化方法[J]. 现代制造工程, 2013 (12): 101-104.
- [11] 谢凯, 王新生. 基于灰度迭代阈值的高分辨率影像分割研究[J]. 湖北大学学报: 自然科学版, 2013, 35(2): 252-257.
- [12] Ma N, Wang J. Dynamic threshold for SPWVD parameter estimation based on Otsu algorithm[J]. Journal of Systems Engineering and Electronics, 2013, 24(6): 919-924.
- [13] 潘梅森, 荣秋生. 基于 SOFM 神经网络的图像融合二值化方法[J]. 光学精密工程, 2007, 15(3): 401.
- [14] Chow C K, Kaneko T. Automatic boundary detection of the left ventricle from cineangiograms[J]. Computers and biomedical research, 1972, 5(4): 388-410.
- [15] Sauvola J, Pietikainen M. Adaptive document image binarization[J]. Pattern recognition, 2000, 33(2): 225-236.
- [16] 贺志明. 不均匀光照文本图像的二值化[J]. 上海工程技术大学学报, 2011, 25(2): 163-166.
- [17] 魏彩乔, 王晓光, 康会峰. 一种针对钢卷尺图像的二值化方法[J]. 河北科技大学学报, 2012 (3): 270-273.