

doi: 10.11823/j.issn.1674-5795.2020.01.08

一种鲁棒的线纹尺图像刻线提取算法研究

张晓磊¹, 孙鹏¹, 孙懿玮¹, 邹志²

(1. 中车青岛四方机车车辆股份有限公司计量理化检测中心, 山东 青岛 266109;

2. 航空工业北京长城计量测试技术研究所, 北京 100095)

摘要: 为解决光照不均匀、锈斑、污损等因素造成的钢卷尺图像检测识别不准确问题, 提出了一种基于 Gabor 变换的钢刻线提取方法。通过 Gabor 变换, 使特征方向与特定频率的线条结构被过滤呈现出来, 基于这些线条结构计算图像中的线纹尺待检刻线位置, 之后通过 RANSAC 算法拟合刻线的双边缘, 从而准确获得刻线中心位置。经实验证明, 该算法可以在刻线质量较差的情况下, 鲁棒地识别破损和有锈斑的刻线, 有效地提高检测准确度和整个测量系统的鲁棒性, 具有技术参考价值。

关键词: 图像处理; Gabor 滤波; RANSAC; 鲁棒性

中图分类号: TB9

文献标识码: A

文章编号: 1674-5795(2020)01-0042-4

A Robust Approach for Line Scale Image Extracting

ZHANG Xiaolei¹, SUN Peng¹, SUN Yiwei¹, ZOU Zhi²

(1. CRRC Qingdao Sifang CO., LTD, Metrological Physical and Chemical Testing Center, Qingdao 266109, China;

2. Changcheng Institute of Metrology & Measurement, Beijing 100095, China)

Abstract: In order to solve the problem of inaccurate detection and recognition of steel tape image caused by uneven illumination, rust spots, stains and other factors, a method of steel scribed line extraction based on Gabor transform is proposed. Through Gabor transformation, the line structures of characteristic direction and specific frequency are filtered and presented. Based on these line structures, the position of the line to be tested in the image is calculated, and then the double edges of a line are fitted by RANSAC algorithm, so as to accurately obtain the center position of the line. Experiments show that the algorithm can recognize the damaged and rusty scribed lines robustly when the quality of scribed lines is poor, and improve the detection accuracy and the robustness of the whole measurement system effectively, which has technical reference value.

Key words: image processing; Gabor filtering; RANSAC; robust

0 引言

线纹尺图像自动化检定方法中, 刻线识别是关键技术, 以钢卷尺^[1]为例, 对于表面较为光洁崭新的钢卷尺, 采用常规的图像二值化^[2]与边缘检测算法^[3]就可以得到每条刻线的中心位置, 但由于不同生产厂家采用不同的加工印刷工艺, 导致钢卷尺的基体材质、印刷方式都有所不同, 使得不同钢卷尺在相同的光照与拍摄条件下会呈现出不同的表面明暗对比; 同时, 由于使用环境、使用时间不同, 尺带表面会出现各种污点与锈斑。以上因素都对钢卷尺图像的自动检测提出了挑战^[4-6], 为保证钢卷尺图像的自动检测识别的准确性, 本文提出了一种基于 Gabor 变换^[7]的钢卷尺图像刻线提取方法, 该方法可自动识别破损和有锈斑的刻线, 有效提高系统的检测准确度和鲁棒性。

1 线纹尺检测算法设计

线纹尺刻线的尺寸与分布具有特殊性, 刻线具有同样的宽度与标准一致的空间分布频率, 且刻线方向严格一致, 可采用对频率与方向敏感的 Gabor 变换, 降低光照不均匀、字符、锈斑、污损等对刻线初步位置提取的不利影响, 达到初步定位出每根刻线位置的目的, 并利用初步定位位置, 进行刻线位置的精确计算。

线纹尺检测算法流程如图 1 所示。利用 Gabor 滤波器得到的滤波图像的水平线上的灰度峰值中心, 即刻线中心所在的近似位置。利用此近似位置可以在刻线中心固定宽度内, 提取图像感兴趣区域, 对刻线中心进行进一步的高准确度计算。计算可采用边缘检测算法提取每根刻线的双边缘, 然后计算双边缘各自所在

的直线位置，再计算得到这两条直线的中心位置，作为刻线中心。对两侧边缘进行直线拟合时采用RANSAC^[8]算法。

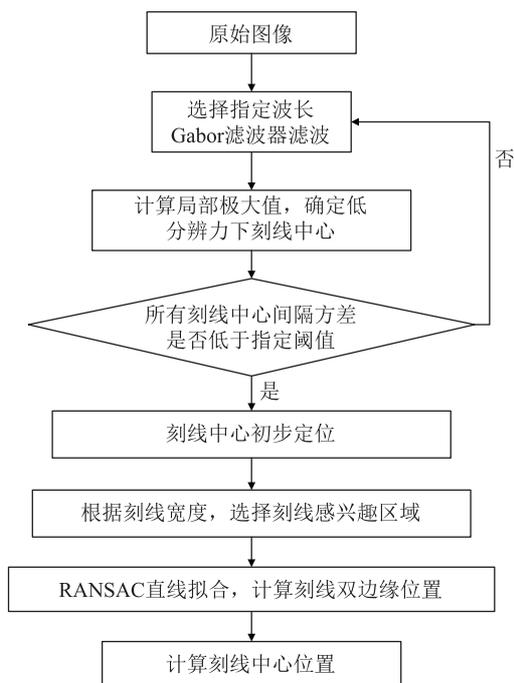


图1 算法结构框图

2 指定频率的空域频域去噪方法及其实现

Gabor 滤波器是一种同时保留空域与频域信息的滤波器，可在频域与空域最大程度地减小测量不确定度^[9]，同时对任意方向与任意频率的信号进行滤波。Gabor 滤波器的实现方式是引入 Gabor 核函数，有

$$g(x, y; \lambda \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + r^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \exp(i(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi)) \quad (1)$$

其中， $g(x, y; \lambda \theta, \psi, \sigma, \gamma)$ 的实数部分为

$$\text{Reg}(x, y; \lambda \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + r^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \sin(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi) \quad (2)$$

虚数部分为

$$\text{Img}(x, y; \lambda \theta, \psi, \sigma, \gamma) = \exp\left(-\frac{x'^2 + r^2 y'^2}{2\sigma^2}\right) \cos(2\pi \frac{x'}{\lambda} + \psi) \quad (3)$$

且

$$x' = x \cos \theta + y \sin \theta \quad (4)$$

$$y' = -x \sin \theta + y \cos \theta \quad (5)$$

式中： x 和 y 为该滤波器的像素坐标； λ 为滤波的波长； θ 为滤波器的倾斜角度，水平方向为 0° ，竖直方

向为 90° ； ψ 为相位偏移量，可以用来表征滤波器中心点的相位； σ 为调制三角函数的高斯函数的标准偏差，可以用来表征滤波器的作用区域尺寸； γ 为 Gabor 核函数图像的长宽比，当 $\gamma = 1$ 时，Gabor 核函数有效作用域为圆形^[10]。

实际操作时可根据实际视野进行适当调整。由于只关心水平方向分布的刻线，因此可将滤波器在竖直方向上进行压缩，以减少计算量。图 2 是倾斜角、波长分别为 0° 和 15 像素、 0° 和 30 像素、 45° 和 30 像素的 Gabor 滤波器，其长宽比 $\gamma = 1$ 。采用设计好参数的滤波器进行图像处理，可对图像噪声、图像光照不均匀有较好处理效果。

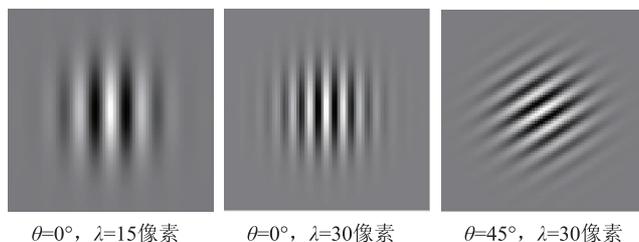


图2 不同参数的 Gabor 滤波器

对于具有较强污点噪声的图像，如果采用均值滤波然后二值化的处理方法，往往无法得到较好的效果。

由于尺面上具有数字标识，直接采用二值化同样会将其过滤出来，由于不同钢卷尺的印刷方式不同，导致采用阈值分割无法将刻线位置与数字有效区分。由于检测过程中钢卷尺的背景不同，背景中的干扰部分也难以去除。

图 3 是严重磨损的钢卷尺的图像，其刻线的边缘轮廓已无法辨认。在这种情况下，即使采用均值滤波^[11]或高斯滤波^[12]，也无法有效降低污损和背景灰度不一致产生的影响。如果对其进行二值化操作，也会由于目标与背景间存在大量噪声干扰而无法选择合适阈值。



图3 严重磨损的钢卷尺图像

此时，选择一条横贯所有刻线的水平线，统计该水平线上的所有像素灰度值，则得到如图 4 所示的灰度分布曲线，由于刻线磨损严重，每根刻线存在多个灰度极小值，既无法通过二值化提取刻线，也无法根据局部灰度值来判别刻线中心。

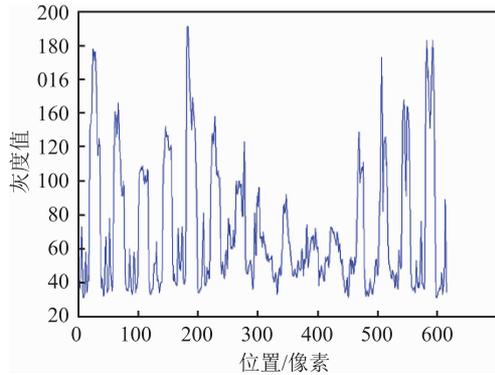


图 4 横穿所有刻线的水平线的灰度分布

由于 Gabor 滤波器具有较强的抗噪声干扰能力，因此采用 Gabor 滤波器可以从图像中将特定频率分布的刻线提取出来^[13]，能够有效解决刻线磨损、背景干扰和光照不均匀等问题。

为提高计算效率，可以通过连续下采样，得到低分辨力图像，在低分辨力图像上进行 Gabor 滤波，再将降低了分辨力图像的计算结果映射到原始分辨力图像上。图 5 为采用 Gabor 滤波器进行滤波的图像。

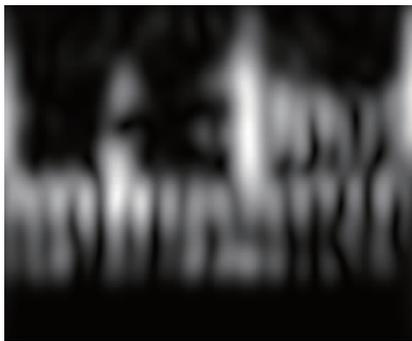


图 5 带有严重噪声的钢卷尺表面滤波后图像

在滤波后的图像中，选择一条横贯所有刻线的水平线，该水平线上的归一化灰度值如图 6 所示。

计算滤波后的某行像素的灰度局部极大值，得到低分辨力下的刻线中心，如图 7 所示。

将低分辨力下的刻线中心位置 P_d ，映射到原始图像中，得到原始图像中刻线中心的位置 P_o ，当低分辨力图像的行数和列数分别是原始图像尺寸行数和列数

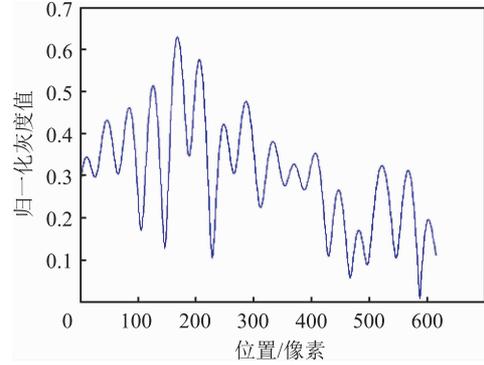


图 6 横穿滤波后图像所有刻线的水平线的归一化灰度值

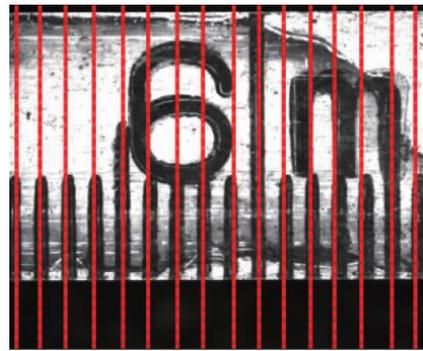


图 7 刻线中心初步定位图像

的 $1/4$ 时， $P_o = 4P_d$ ，在原始图像中，以 P_o 为基础，选择矩形感兴趣区域，感兴趣区域的左右边界位置为 $P_o - \Delta L/2$ 和 $P_o + \Delta L/2$ ，其中 $W_s < \Delta L < 2L$ ， W_s 表示刻线宽度，单位为像素， L 表示相邻两根刻线的像素距离。当 $P_o - \frac{\Delta L}{2} < 0$ 时，令 $P_o - \frac{\Delta L}{2} = 0$ ，当 $P_o + \frac{\Delta L}{2} > W_i$ 时， $P_o + \frac{\Delta L}{2} = W_i$ ， W_i 为图像宽度。感兴趣区域矩形应尽量贴合尺面下边缘，矩形区域边缘可根据实际情况确定，高度应大于最短刻线长度的 $1/2$ ，如图 8 所示。

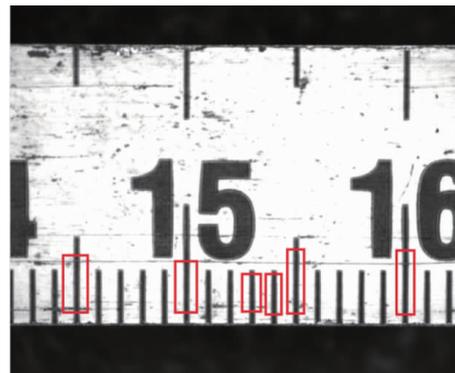


图 8 采用目视与本文算法定位钢卷尺刻线

3 实验

采用标准分划板对图像采集系统进行像素当量标定,采用图像采集系统对钢卷尺进行单幅图像拍摄。对

拍摄的图像中 N 根刻线的位置分别采用目视与本文提出的方法进行刻线中心提取,将提取结果进行比对。为减小误差,目视提取采用 3 次取平均的结果,选择如图 8 中 6 根刻线进行中心提取。实验结果如表 1 所示。

表 1 目视方法与本文提出的方法进行刻线中心提取结果比对

刻线编号	第 1 组目视实验			第 2 组目视实验			第 3 组目视实验			3 次像素位置平均值 / 像素	3 次实际距离位置平均值 / mm	本文提出方法		
	像素位置 / 像素	与刻线 0 像素差值 / mm	实际距离计算值 / mm	像素位置 / 像素	与刻线 0 像素差值 / mm	实际距离计算值 / mm	像素位置 / 像素	与刻线 0 像素差值 / mm	实际距离计算值 / mm			与刻线 0 像素差值 / mm	实际距离计算值 / mm	误差值 / mm
刻线 0	367	0	0	366	0	0	367	0	0	365.7	0	0	0	/
刻线 1	971	604	5.012	971	605	5.02	972	605	5.02	970.67	5.018	603.67	5.009	-0.009
刻线 2	1333	966	8.016	1332	966	8.016	1333	966	8.016	1332.13	8.016	965.13	8.009	-0.007
刻线 3	1453	1086	9.012	1452	1086	9.012	1453	1086	9.012	1451.91	9.012	1084.91	9.003	-0.009
刻线 4	1574	1207	10.016	1575	1209	10.032	1575	1208	10.024	1572.95	10.024	1205.95	10.007	-0.017
刻线 5	2177	1810	15.019	2178	1812	15.036	2176	1809	15.011	2175.35	15.022	1808.35	15.006	-0.016

4 结论

本文提出一种鲁棒的线纹尺图像刻线提取方法以解决钢卷尺图像检测识别不准确问题。针对存在严重噪声的线纹尺图像,利用 Gabor 滤波进行指定频率的特征提取,之后利用 RANSAC 算法进行双边缘的直线拟合,定位刻线位置,再通过边缘提取算法,实现刻线中心的准确提取;开展了验证实验,通过标准分划板,对图像采集系统进行像素当量标定;对刻线进行定位与距离计算,将计算的位移量与目视参考量进行比对,得到刻线的定位误差均值为 $11.1 \mu\text{m}$,定位误差的标准偏差为 $4.56 \mu\text{m}$ 。试验结果证明本文方法具有较强的抗噪能力与较好的鲁棒性,具有技术借鉴意义。

参考文献

[1] JJG 4-2015 钢卷尺检定规程[S]. 北京:中国质检出版社,2015.
 [2] 徐从裕,景加慧,王沁喆,等.大尺寸钢卷尺目标线纹检定与实现方法[J].电子测量与仪器学报,2018,32(11):70-75.
 [3] 霍磊,葛广乾,赵洪涛.基于分布式图像处理技术钢卷尺检定系统的研制[J].精密制造与自动化,2018,214(2):49-51.
 [4] 唐志锋,牛立新,曹航.线纹尺安装方式对空气折射率实时修正效果的影响[J].计测技术,2007,27(6):54-55.
 [5] 周自力,熊昌友.一种新的钢卷尺检定方法[J].航空计测技术,1997,17(2):27-29.
 [6] 陈晓梅,朱振宇,张玉文,等.单刻线样板检定装置测量

不确定度分析[J].航空计测技术,2002,22(3):40-43.
 [7] 薛玉利.基于 Gabor 变换的特征提取及其应用[D].山东大学,2007.
 [8] Ondrej Chum, Jiří Matas. Optimal Randomized RANSAC[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 2008, 30(8): 1472-1482.
 [9] 周德龙,张捷,朱思聪.多方向多尺度 Gabor 特征表示及其匹配算法[J].电子学报,2019,47(9):1998-2002.
 [10] 谢锦,蔡自兴,汪鲁才,等.基于 Gabor 多尺度空间的不变兴趣点检测[J].计算机应用研究,2014,31(1):289-291.
 [11] 李腾飞,刘嘉敏,段勇.基于窗口滤波与均值滤波的深度图像实时修复算法[J].软件工程,2018,21(11):21-24.
 [12] 张铮.精通 Matlab 数字图像处理与识别[M].北京:人民邮电出版社,2013.
 [13] Lee T S. Image Representation using 2D Gabor wavelets[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence, 1996, 18(10): 959-971.

收稿日期:2019-09-26

作者简介



张晓磊(1988-),男,山东青岛人,2009年毕业于青岛农业大学机械设计制造及其自动化专业,获得学士学位,2010年至今在中车青岛四方机车车辆股份有限公司计量理化检测中心从事几何量计量工作。