

基于图像识别的薄板自动计数算法

doi:10.3969/j.issn.1674-7100.2017.05.009

顾秀华¹ 王 持²
周 平¹

1. 浙江理工大学
信息学院
浙江 杭州 310018
2. 浙江理工大学
启新学院
浙江 杭州 310018

摘 要: 针对薄板堆叠存在轻微变形, 从而导致薄板自动计数的精确率不高的问题, 提出了一种骨架提取结合梯度方向投影多证据统计的自动计数算法。先用 Gabor 滤波器增强薄板边缘的方向特征, 再用 Sobel 算子提取薄板边缘, 经基于 Mean Shift 算法的二值化后, 再用漫水填充、形态学与 BlobsFiltering 去除干扰, 最后对各板边缘做单像素骨架化, 利用梯度方向投影统计薄板数。对 171 张以下厚度为 0.8~1.2 mm 的钢板进行 10 次拍照测试, 测试结果表明: 本文算法的计数正确率为 100%。本算法解决了一定范围内倾斜薄板的自动计数问题。

关键词: 薄板; Gabor 滤波器; Sobel 算法; Mean Shift 算法; 形态学; 骨架提取

中图分类号: TP391.4 **文献标志码:** A

文章编号: 1674-7100(2017)05-0056-06

0 引言

薄板生产销售环节中都有大量计数需求, 通常采用人工计数方法, 但该方法存在效率低、误差大的缺点。因此, 国内外学者对高精度自动计数系统进行了大量研究。

在板线类计数中, 朱芳芳等人^[1]提出了根据 Freeman 准则来分析直线上基元特征的改进 Hough 变换, 该算法在保持精度的同时, 提高了直线检测的速度; R. G. von Gioi 等人^[2]提出了快速线段检测方法 (line segment detector, LSD), 计算每个像素点附近的 level-line 角度, 生成 level-line 区域, 该算法能在线性时间内得到亚像素级精度的检测结果; C. Akinlar 等人^[3-4]提出了 ED (edge drawing) 算法, 先产生边缘邻接链, 再对边缘邻接链进行分割, 以获得分离的直线段; 傅叶涛等人^[5]提出了基于主方向投影的直线检测算法, 该方法的虚警率较低, 产

生的短线较少; 冯铁成等人^[6]提出了基于数字图像处理的钢板测数算法, 利用 Radon 变换提取钢板的直线特征, 该算法能无误计数 1.0~1.2 mm 厚度下 10 张错叠放置的薄板; 张利伟^[7]提出了基于图像处理的板材自动计量系统, 用连通域统计法计数厚度 1.2~2.4 mm 内的板材, 100 张以下的板材计数准确率可达 100%; 谭旺等人^[8]提出了基于自相关特征分割的参数空间波峰提取法, 100 张 1 mm 的薄板计数准确率可达 100%, 但实验中薄板的倾斜角严格控制在 $(90 \pm 2)^\circ$ 之间。

针对上述研究中存在薄板的计数数量及倾斜角的限制问题, 本文提出了一种骨架提取结合梯度方向投影多证据统计的薄板自动计数算法。将本文算法与随机 Hough 变换、ED 算法、LSD 算法、主方向投影算法进行了比较, 再分析了薄板叠放不规范和薄板弯曲情况下本文算法的有效性, 以期对薄板计数提供理论参考。

收稿日期: 2017-05-12

作者简介: 顾秀华 (1993-), 女, 江苏东台人, 浙江理工大学硕士生, 主要研究方向为智能信息处理,
E-mail: 908386233@qq.com

通信作者: 周 平 (1960-), 男, 浙江杭州人, 浙江理工大学教授, 主要从事计算机视觉, 智能识别, 视觉检测方面的教学与研究, E-mail: zp@zstu.edu.cn

1 算法原理

1.1 边缘提取

本文先用 Gabor 滤波器增强薄板边缘信息, 再用 Sobel 算子提取边缘。Gabor 函数是唯一可以达到空间域和频率域结合测不准关系下界的函数^[9]。用 Gabor 函数构成的二维 Gabor 滤波器具备在空间域和频率域同时获得最优局部化的特性, 因而能较好地表示对应于空间频率(尺度)、空间位置及方向选择性的局部构造信息^[10]。其由实部和虚部组成, 实部反映被积函数的对称性, 虚部主要反映被积函数在 Gabor 滤波器的 x 方向上的非对称性。因此, 本文选择二维 Gabor 滤波器的实部函数来增强薄板边缘信息, 即

$$G(k, x, y, \theta) = \frac{k^2}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{k^2(x^2 + y^2)}{2\sigma^2}\right) \times \cos(k(x \cos \theta + y \sin \theta)) \quad (1)$$

式中: k 为总的方向数; σ 为高斯函数的标准差; θ 为 Gabor 滤波器的方向。

由于采集过程中相机与薄板的相对位置是固定的, 且板材的纹理相对较简单即水平方向文理, 因此, 一幅图像使用一个滤波模板即可。这样可以减少计算时间。

本文采用对方向敏感的单一结构元算子检测边缘, 即采用 Sobel 算子与图像卷积。如仅计算 $|G_x|$, 得到最强的响应是正交于 x 轴的边, 即获取垂直边缘; 如仅计算 $|G_y|$, 得到最强的响应是正交于 y 轴的边, 即获取水平边缘^[10]。在此, 选择垂直边缘响应的单结构算子 G_y 提取水平边缘, 即

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 2 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -2 & -1 \end{bmatrix} A, \quad (2)$$

式中: G_y 为纵向边缘检测的图像; A 为原始图像。

对图像边缘强度信息处理后, 纹理的像素点灰度值远小于周围像素点的, 但存在较多的噪声, 该问题通过后续的处理会有所改善。

1.2 二值化处理

Otsu 算法是一种对图像进行二值化处理的简单有效算法, 但是通过该算法得到的目标图像灰度级较多, 导致无法快速有效地确定阈值。为解决上述问题, 本文先采用 Mean Shift 算法对图像进行聚类, 再采用

Otsu 算法对图像进行二值化处理。Mean Shift 算法的聚类原理是, 将收敛到同一点的初始点归为一类, 并将这一类的标号赋给这些初始点, 同时去掉含像素点较少的类。

图像是一个矩阵, 像素点均匀地散布于图像中, 没有点的稠密性。因此, Mean Shift 算法中, 计算像素点 x' 的概率密度采用以 x' 为圆心, 以 h 为半径。落在球内的点位 x_i 定义如下 2 个规则:

- 1) x' 的颜色与 x_i 的颜色越接近, x' 的概率密度就越高;
- 2) x_i 离 x' 越近, 概率密度也越高。

Mean Shift 算法将图像中灰度值相近的像素点聚类为一个灰度级, 以减少灰度级, 获得更佳的二值化图像。

1.3 噪声消除

图像二值化后, 计数线条之间会有未去除的小孔, 这些小孔对非绝对水平薄板计数结果影响较大, 故本文采用漫水填充法消除上述噪声。算法具体步骤如下:

- 1) 设置扫描点为白色, 沿 y 边缘扫描, 标记种子 $(0, y)$ 的像素点;
- 2) 对种子点使用四向连通来检索, 如果区域连通, 将填充色填充该点, 否则不填充;
- 3) 检测相邻位置, 重复步骤 2, 直至整个区域边界范围内的所有像素检测完毕;
- 4) 将标记点重新置为 255, 其它全部为 0。

1.4 骨架提取

经上述处理后, 文理中存在的间断点和气泡点会破坏骨架的连续性, 因此, 本文先对图像进行膨胀处理, 使其更加平滑。图像膨胀运算的数学定义为

$$g(f(x, y), B) = \max\{f(x+x', y+y') + B(x', y'), (x', y') \in B\}, \quad (3)$$

式中: $f(x, y)$ 为原二值化图像; B 为结构元素。

图像膨胀后, 再采用形态学算子中的击中击不中变换^[12]来提取骨架。击中击不中变换使用 2 个结构元素 B_1 和 B_2 , 即结构元素对 $B = (B_1, B_2)$ 。击中击不中变换的表达式为

$$g(f(x, y), B) = \text{erode}(f(x, y), B_1) \cup \text{erode}(f^c(x, y), B_2), \quad (4)$$

式中: erode 为腐蚀运算; $f^c(x, y)$ 为 $f(x, y)$ 的补集。

为了保证薄板的特性和连续性, 一般选择多个结构元素进行循环迭代, 直到结果不再变化为止。本文

选取 8 个方向的结构元素，如图 1 所示。

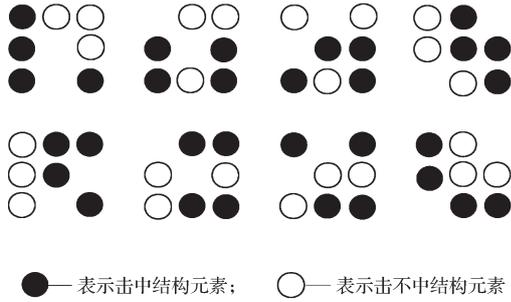


图 1 结构元素

Fig. 1 Structural elements

非理想条件下，受光照、板材质量等因素的影响，板材图像质量不高，这些图像经骨架提取后，单像素骨架易出现分叉点^[14]；而理想条件下，高质量图

像在骨架提取时，只要增加循环迭代次数，就能将分支与主骨架分离，但还是会留下影响计数的像素点，故调用 AForge.NET 中的 BlobsFiltering Class，配置 CoupledSizeFiltering（耦合滤波器）的尺寸，即 MinWidth、MinHeight 的参数值，以便有效去除影响计数的像素点。

将图像骨架局部放大后，发现存在 3 种问题：1) 薄板倾斜会导致某些纹理呈现非单像素，如图 2c 所示；2) 某些纹理存在断点，如图 2d 所示；3) 图中存在少量的单点噪声，如图 2e 所示。

薄板信息丢失的局部放大图如图 3 所示。

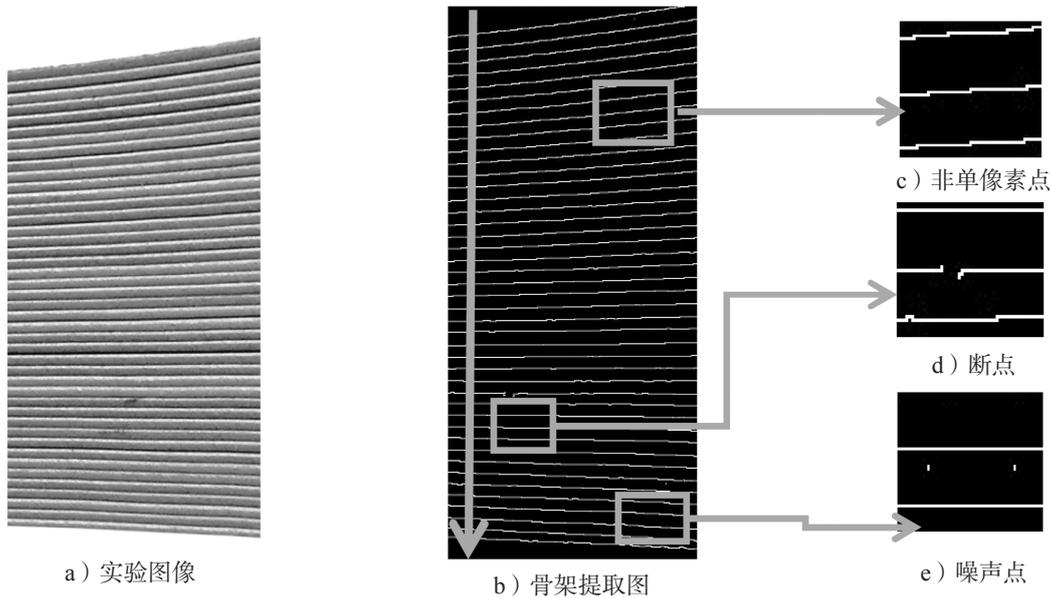


图 2 骨架局部放大图

Fig. 2 Skeleton partial magnification

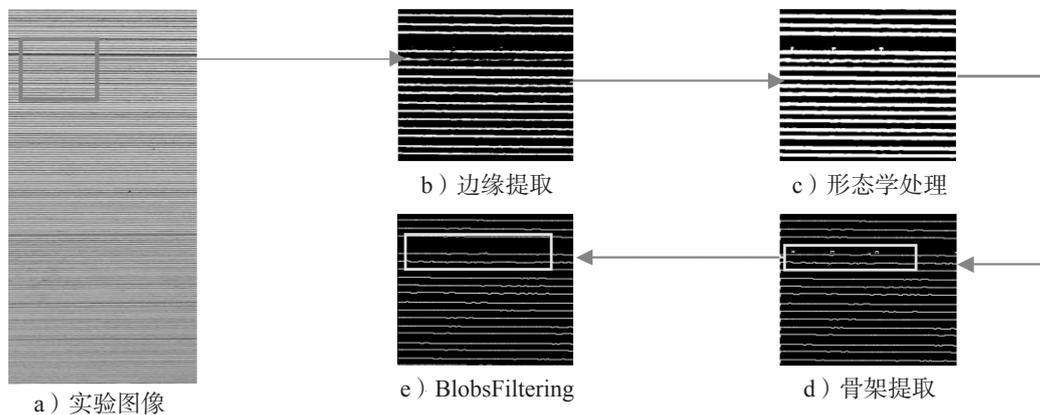


图 3 薄板信息丢失的局部放大图

Fig. 3 Partial amplification flow chart of sheet information loss

图 3 中, 图 a 是宽 500 像素的实验图像; 图 b、c、d、e 为同一局部区域的放大图; 图 b 为边缘提取后, 经基于 Mean Shift 算法的二值化图像; 图 c 为经膨胀处理后的图像; 图 d 为骨架提取图像, 由图可以看出, 图像中有杂质点 (见图中方框区域); 图 e 为去除杂质点后的最终骨架图。

1.5 梯度方向投影计数法

梯度方向投影计数法是根据像素值的跳变来计算板材数目。以垂直方向扫描图像 (见图 2 中垂直方向箭头), 当像素值由 0 变 1 时, 计数加 1, 整幅图像扫描结束获得一个一维数组, 多次扫描后, 以出现频率最多的数值作为薄板最终计数结果。

从图 3d 可以看出, 方框内丢失了一块薄板信息。因此, 本文改进了梯度方向投影计数法, 将骨架间距的平均值与骨架间距进行对比, 同时以方差作为参考, 若某骨架间距大于其平均值的 1.5 倍, 则该列计数加 1。

为提高计数准确性, 选取目标窗的宽度为 100 像素。如果某计数的统计次数与该窗内的总统计次数的比值大于 85%, 则该计数为板材数; 否则, 目标窗右移 50 像素, 重新扫描计数, 直到满足条件为止。若目标窗右移超出视野范围, 则提示“图未拍清, 请重拍”。

薄板计数算法流程如图 4 所示。

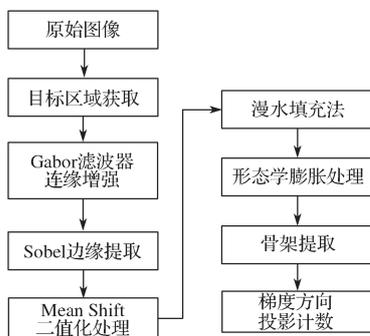


图 4 算法流程图

Fig. 4 Algorithm process

2 实验结果与分析

2.1 算法直线提取对比

将本文算法与随机 Hough 变换、ED 算法、LSD 算法、主方向投影算法进行比较, 测试结果如表 1 所示。由表 1 可知: 随机 Hough 变换虽然通过随机选取子集在一定程度上改善了双线检测问题, 但没有从根本上解决将一条直线检测为两条的问题, 故该算法无法准确计数; ED 算法涉及线段的角点检测, 故该算法也无法准确计数; LSD 算法选取线段的中心点并将梯度相似的中心点作为矩形中心, 导致线段被噪声点分割即一条完整的直线被切割成多个独立的线段, 以至线段连接和假峰抑制较难, 故该算法的最高计数为 35 张; 主方向投影算法中, 噪声使投影图存在假峰问题, 先通过阈值抑制小峰, 再通过非极大值抑制过于密集的双峰, 以保留较为良好的波形进行计数, 但此算法限定薄板角度偏转不超过 2° , 故该算法的最高计数为 75 张; 本文算法对厚度为 0.8~1.2 mm 的钢板叠放进行 10 次拍照实测, 最高计数为 171 张, 且计数准确率可达 100%。

表 1 5 种算法的直线提取对比结果

Table 1 Comparison of five kinds of line extraction algorithm

算法	薄板厚度/mm	最高计数/张	鲁棒性	附加要求
随机 Hough 变换	5~10		弱	无
ED	5~10		弱	无
LSD	5~10	35	较强	无
主方向投影	1.2	75	较强	薄板角度偏转不超过 2°
本文算法	0.8~1.2	171	强	无

2.2 本文算法计数测试

本文通过人为制造薄板倾斜来进行计数测试, 测试结果如表 2 所示。由表 2 可知, 计数区域均为实验条件下的 ROI (region of interest) 区域, 75 张之内 1.2 mm 的薄板计数准确率可达 100%, 这说明本文算法不受薄板弯曲角度的影响。

表 2 理论倾斜测试

Table 2 Theoretical tilt test

项目	张		
薄板实际数量	43	58	75
薄板计数	43	58	75

如果薄板堆叠不规范，计数就会出现误差。图5为2张板材没有露出边缘的图像，边缘提取时就丢失了2张薄板信息。而本文算法能较好地解决这类问题。

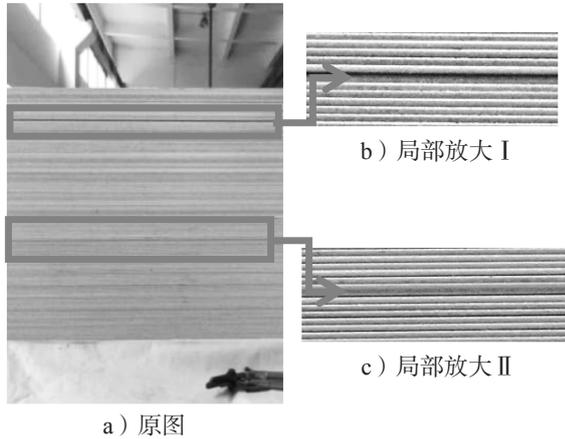


图5 目标图像缺陷局部放大

Fig. 5 Target image defect partially enlarged

2.3 2种算法的分析结果

利用主方向投影算法与本文算法分别对不同数量的理想规整叠加薄板和弯曲叠加薄板进行测试。实验图像均由具有自动对焦特性的800万像素小米平板电脑拍摄。测试结果见表3和表4。

表3 理想规整薄板统计结果

Table 3 Statistical results of ideal regular sheets

算 法	叠加薄板数 / 张					
	32	43	58	75	78	115
主方向投影	32	43	58	75	75	109
本文算法	32	43	58	75	78	115

表4 倾斜薄板统计结果

Table 4 Statistical results of tilt sheets

算 法	叠加薄板数 / 张									
	32	43	58	60	75	80	115	120	158	171
主方向投影	32	43	50	55	44	40	59	61	68	70
本文算法	32	43	58	60	75	80	115	120	158	171

由表3可知，主方向投影算法的局限性较大，当薄板数量增加到70张后，计数会出现误差；而本文算法的计数准确率为100%。

由表4可知，当薄板发生弯曲，且薄板数量较少时，主方向投影算法可以完成计数任务，但当薄板数量增加，且薄板的弯曲程度加大，主方向投影算法则不能正确计数；而本文算法对171张薄板可以达到精准的计数。

3 结语

针对薄板叠放造成轻微变形，从而使自动计数不精确的问题，本文提出了基于图像识别的薄板叠放自动计数算法。先将Gabor结合Sobel算法来有效获得明暗相间的边缘，再基于形态学获取边缘骨架证据，最后，利用骨架间像素跳变的多证据统计来自自动计数薄板的张数。通过统计薄板的边缘骨架间距平均值、方差来自动识别分割证据不足的个别薄板，以进一步提高自动计数精度。测试结果表明：在薄板叠放造成轻微变形的情况下，本文算法对0.8 mm厚的薄板进行计数，最高计数为100张，且准确率为100%；对1.2 mm厚的薄板进行计数，最高计数为171张，且准确率为100%。

如何提高薄板计数，以及改善光源等外部环境，以取得更好的分割效果，这都有待进一步的研究与完善。今后的研究工作将集中在光照不均匀下的ROI区域快速自动获取。

参考文献:

- [1] 朱芳芳, 顾宏斌, 孙 瑾. 一种改进的Hough变换直线检测算法[J]. 计算机技术与发展, 2009, 19(5): 19-22.
ZHU Fangfang, GU Hongbin, SUN Jin. A Line Detection Algorithm Based on Improved Hough Transformation[J]. Computer Technology and Development, 2009, 19(5): 19-22.
- [2] VON GIOI R G, JAKUBOWICZ J, MOREL J M, et al. LSD: A Line Segment Detector[J]. Image Processing on Line, 2012, 2(4): 35-55.
- [3] AKINLAR C, TOPAL C. EDlines: Real-Time Line Segment Detection by Edge Drawing (ED) [C]//IEEE International Conference on Image Processing. Brussels: IEEE, 2011: 2837-2840.
- [4] AKINLAR C, TOPAL C. EDLines: A Real-Time Line Segment Detector with a False Detection Control[J]. Pattern Recognition Letters, 2011, 32(13): 1633-1642.
- [5] 傅叶涛, 杜昌平, 赵 耀. 基于主方向的直线检测算法[J]. 计算机应用, 2015, 35(增刊2): 220-222.
FU Yetao, DU Changping, ZHAO Yao. Line Detection Based on Principal Direction[J]. Journal of Computer Applications, 2015, 35(S2): 220-222.
- [6] 冯铁成, 谢文华, 金惠良. 基于数字图像处理的钢板

- 测数方法[J]. 机电一体化, 2008, 14(10): 78-80.
FENG Tiecheng, XIE Wenhua, JIN Huiliang. Counting Method for Steel Plates Based on Digital Image Processing[J]. Mechatronics, 2008, 14(10): 78-80.
- [7] 张利伟. 面向板材计量系统的图像处理算法研究和应用[D]. 郑州: 郑州大学, 2014.
ZHANG Liwei. Image Processing Algorithm Research and Application Oriented Steel Plates Counting System[D]. Zhengzhou: Zhengzhou University, 2014.
- [8] 谭旺, 王英, 陈培锋, 等. 薄型层叠钢板的Hough空间计数[J]. 光电工程, 2015, 42(11): 25-30.
TAN Wang, WANG Ying, CHEN Peifeng, et al. Hough Spatial Counting Method of Thin Laminated Steel-Plates[J]. Opto-Electronic Engineering, 2015, 42(11): 25-30.
- [9] 石伟, 龙永红, 童文超, 等. 基于灰度值差分的纸张计数算法设计[J]. 包装学报, 2015, 7(4): 47-51.
SHI Wei, LONG Yonghong, TONG Wenchao, et al. Design of Paper Counting Algorithm Based on Gray Value Difference[J]. Packaging Journal, 2015, 7(4): 47-51.
- [10] 孔锐, 韩佶轩. 基于Gabor滤波器的快速人脸识别算法[J]. 计算机应用, 2012, 32(4): 1130-1132, 1136.
KONG Rui, HAN Jixuan. New Fast Face Recognition Algorithm Based on Gabor Filter[J]. Journal of Computer Applications, 2012, 32(4): 1130-1132, 1136.
- [11] 孙蔚, 王靖, 王波. 改进的Sobel算子彩色图像边缘检测[J]. 电子技术应用, 2013, 39(2): 128-129.
SUN Wei, WANG Jing, WANG Bo. Color Image Edge Detection Based on Improved Sobel Algorithm[J]. Application of Electronic Technique, 2013, 39(2): 128-129.
- [12] 张山鹰, 潘泉, 张洪才. 证据推理冲突问题研究[J]. 航空学报, 2001, 22(4): 369-372.
ZHANG Shanying, PAN Quan, ZHANG Hongcai. Conflict Problem of Dempster-Shafer Evidence Theory[J]. Acta Aeronautica Et Astronautica Sinica, 2001, 22(4): 369-372.
- [13] LEFEVRE E, COLOT O, VANNOORENBERGHE P. Belief Functions Combination and Conflict[J]. Information Fusion, 2002, 3(2): 149-162.
- [14] 张明阳, 陈振跃, 王霞. 基于图像纹理的纸张计数算法设计[J]. 光学技术, 2013, 39(2): 151-156.
ZHANG Mingyang, CHEN Zhenyue, WANG Xia. Paper Counting Algorithm Based on Image Texture[J]. Optical Technique, 2013, 39(2): 151-156.

Research on Automatic Counting of Sheet Number Based on Image Recognition

GU Xiuhua¹, WANG Chi², ZHOU Ping¹

(1. School of Information Science and Technology, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China;
2. Qixin Honors School, Zhejiang Sci-Tech University, Hangzhou 310018, China)

Abstract: In view of the slight deformation in sheet stacks, which leads to the problem of inaccuracy in automatic sheet counting, a new method of automatic plate counting based on skeleton extraction and gradient direction projection statistics was proposed. Firstly, the image was captured with the tablet computer by using the Gabor filter to enhance the direction characteristics of the thin plate edges and extracting the edges by the Sobel operator, and then it was binarized by Mean Shift algorithm, while the interference was removed by being filled with diffuse water, morphology and BlobsFiltering. Finally, a single pixel skeleton was performed on the edge of each plate, and the probability was calculated by the gradient direction projection, thus to realize the accurate counting of the sheets. The experiment was performed on 171 sheets with thickness ranging from 0.8 to 1.2 mm by photographing 10 times. The results showed that the method could reach 100% accuracy and solve the problem in stable automatic counting of non-parallel plates in a certain range.

Keywords: sheet; Gabor filters; Sobel algorithm; Mean Shift algorithm; mathematical morphology; skeleton extraction