

基于一维边缘检测算子的多层板料边缘提取

王庆滨¹, 徐德¹, 严伟², 王欣刚¹

1. 中国科学院自动化研究所精密感知与控制研究中心, 北京 100190

E-mail: wangqingbin2012@ia.ac.cn

2. 扬州恒佳机械有限公司, 扬州 225129

E-mail: yanwei@hengacn.com

摘要:针对工业生产过程中的多层板边缘检测问题, 从提高检测算法的速度和对光照等影响因素的抗干扰性出发, 提出一种具有较高可靠性和较高精度的快速边缘检测方法。首先, 计算图像中部分点的灰度平均值, 乘上固定系数作为边缘检测算子的阈值。其次, 利用一维边缘检测算子求取边缘信息, 结合相邻像素点的边缘算子和矩形滑动窗对边缘噪声进行抑制。最后对得到的边缘信息采用基于极坐标点扫描的方式得到顶层板的边缘点, 对边缘点采用Hough变换进行直线拟合。采用本文算法处理一幅图像的时间约100ms。实验结果表明, 该方法可以有效的检测出顶层板的边缘信息, 并具有非常好的一致性和稳定性。

关键词:多层板, 边缘检测, 极坐标, Hough变换

The Edge Extraction of Multilayer Plate Based on the 1-D Edge Detector

WANG Qingbin¹, XU De¹, YAN Wei², WANG Xingang¹

1. Research Center of Precision Sensing and Control, Institute of Automation, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100190, China

E-mail: wangqingbin2012@ia.ac.cn

2. YANGZHOU HENGA MACHINERY CO.,LTD, Yangzhou 225129, China

E-mail: yanwei@hengacn.com

Abstract: In this paper, an edge extraction method with high reliability and high accuracy is proposed to detect the plates' edges in the process of industrial production, and the proposed method is designed from the point of improving detection speed, being resistant to light disturbance and so on. Firstly, the average gray value of the image's some parts is calculated, then the average gray value weighted by a certain coefficient is used as the threshold of 1-D edge detectors. Secondly, 1-D edge detectors are used to obtain the edges. Lastly, the top plate's edges are obtained by the polar point scanning method, and then Hough transform is used to fit the lines using the top plate's edges. The average processing time is 100ms for an image in the proposed method. The experimental results show that the proposed method can detect the top plate's edges efficiently and has good performance in robustness and accuracy.

Key Words: Multilayer plate, edge extraction, polar axis, Hough translation

1 引言

工业生产过程中, 为了生产运输方便, 多层钢板、铝板往往相互叠加。随着工业机器人技术的发展, 工厂分拣运输任务越来越多的由机器人来承担。对于多层钢板或铝板等相互叠加的情况, 机器人需要从最上部一层一层分拣搬运。机器人要完成这样的任务, 需要对多层叠加的板材进行边缘提取, 识别最上部的板子边缘, 以便机器人能方便抓取。机器人完成多层板分拣搬运任务往往是在自然场景下, 在板子边缘提取时, 受自然光照变化的影响较大。因此, 如何有效的提取并识别多层板的边缘, 以满足机器人完成多层板的分拣搬运任务, 是工业自动化一个非常重要的问题。

经典的边缘检测算子有sobel^[1], Laplacian of Gaussian^[2], Canny^[3]等, 该类算子边缘检测准确, 具有梯度方向估计的特性, 但是当噪声较强时, 这类算子具有比较高的噪声敏感度, 且容易产生伪边缘的现象。形态学算法^[4-5]在处理边缘检测的连续性和方向适应性方面具有非常好的效果, 基于形态学梯度算子的边缘检测算法计算简单, 边缘连续性较强, 但是该类方法对噪声较为敏感。此外, 近期出现的一些基于学习的方法处理速度比较慢^[6]。

针对上述方法的不足, 本文提出一种基于双向一维边缘检测算子, 结合相邻边缘信息和矩形滑动窗去噪的边缘检测算法。该算法首先可以通过双向一维边缘检测算子比较准确的定位边缘, 采用相邻像素的边缘信息可以较好的去除一些不规则的噪声, 采用矩形滑动窗可以去除一些较大的块状噪声。对于多层板的特殊应用场景, 本文采用基于极坐标扫描的方法提取边缘点, 利用

*此项工作得到江苏省科技成果转化专项资金资助, 项目批准号: BA2015144.

Hough直线拟合^[7]的方法查找极值点,利用极值点检测直线。在多层板的边缘检测试验中,通过本文提出的方法可以较好的检测出规则的边缘信息,并对噪声点有较好的抑制作用,对于最上层的板子边缘通过极坐标查找的方式对边缘点的定位非常准确,同时利用Hough直线拟合,得出了较可靠的板子边缘检测效果。多层板边缘检测的方法流程如图1所示。

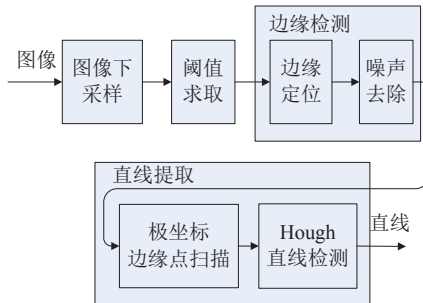


图1 边缘检测方法流程图

2 阈值求取

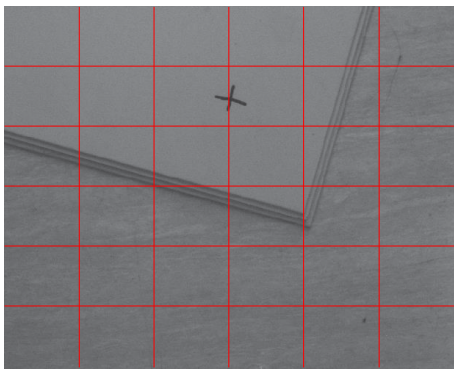


图2 参考线示意图

采用人为设定阈值的方法比较简单、快速,但是对于光照变化明显的情况,该方法的适应性非常差。采用其他如大津法等全局求阈值的方法会耗费比较长的时间,造成算法的实时性不高。利用图像部分点求阈值的方法有效的降低了算法处理的时间,如图2所示,只采用红色线上的点求阈值,即可以使这些点具有普遍代表性,又可以降低算法处理的时间。在同一场景下,图像的灰度值往往能体现光照强度的变化,如果2所示直线上的点的均值一定程度上可以代表整幅图像的光照情况。均值可通过式(1)得到。其中 $I(i,j)$ 为像素点 (i,j) 处的灰度值。

$$I_{\text{mean}} = \frac{\sum I(i,j)}{N} \quad (1)$$

经过对比发现,此均值和大津法求取的阈值基本上相等。因此,采用直线上点的均值再除以系数9作为边缘检测算子的阈值 S_T , S_T 通过式(2)求得。

$$S_T = \frac{I_{\text{mean}}}{9} \quad (2)$$

3 边缘检测

3.1. 一维边缘检测算子



图3 边缘的槽状结构

多层板图像的边缘往往明显比其周围的区域灰度值更小,容易形成一个黑色的槽状结构,如图3所示。这个槽型区域可以通过图像的灰度变化提取出来,两个1维的边缘检测算子被用来检测这个槽型区域,如式(3)、(4)。式(3)用来求取水平方向的边缘,式(4)用来求取垂直方向的边缘。如果一个点在槽上,这个点的 S_u 或 S_v 会非常大,如果一个点不在槽上,这个点的 S_u 或 S_v 会非常小。

$$S_u = \frac{1}{2}I(i,j-11) - \frac{1}{3}I(i,j-1) - \frac{1}{3}I(i,j) - \frac{1}{3}I(i,j+1) + \frac{1}{2}I(i,j+11) \quad (3)$$

$$S_v = \frac{1}{2}I(i-11,j) - \frac{1}{3}I(i-1,j) - \frac{1}{3}I(i,j) - \frac{1}{3}I(i+1,j) + \frac{1}{2}I(i+11,j) \quad (4)$$

$I(i,j)$ 是图像坐标为 (i,j) 处的像素灰度值, S_u 是水平边缘检测算子, S_v 是垂直边缘检测算子。

3.2. 相邻像素边缘检测算子去噪

采用式(3)、(4)可以非常方便的检测出如图3所示的边缘信息。但对于图4所示的噪声干扰情况,该方法往往会引入过多的边缘噪声。为了有效的去除这些边缘噪声,引入式(5-8),式(5-8)分别为像素点 (i,j) 周围四个点的边缘检测算子,前两个为水平方向上相邻两个点的边缘检测算子,后两个为垂直方向上相邻两个点的边缘检测算子。

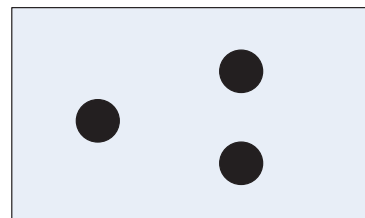


图4 干扰点示意图

$$S_{u1} = \frac{1}{2}I(i-1,j-11) - \frac{1}{3}I(i-1,j-1) - \frac{1}{3}I(i-1,j) - \frac{1}{3}I(i-1,j+1) + \frac{1}{2}I(i-1,j+11) \quad (5)$$

$$S_{u2} = \frac{1}{2}I(i+1, j-11) - \frac{1}{3}I(i+1, j-1) - \frac{1}{3}I(i+1, j) - \frac{1}{3}I(i+1, j+1) + \frac{1}{2}I(i+1, j+11) \quad (6)$$

$$S_{v1} = \frac{1}{2}I(i-11, j-1) - \frac{1}{3}I(i-1, j-1) - \frac{1}{3}I(i, j-1) - \frac{1}{3}I(i+1, j-1) + \frac{1}{2}I(i+11, j-1) \quad (7)$$

$$S_{v2} = \frac{1}{2}I(i-11, j+1) - \frac{1}{3}I(i-1, j+1) - \frac{1}{3}I(i, j+1) - \frac{1}{3}I(i+1, j+1) + \frac{1}{2}I(i+11, j+1) \quad (8)$$

结合(3-8)采用判定像素点是否为边缘点, 当 S_{u1} , S_{u2} 都大于 S_T 时为边缘点, 同理 S_v , S_{v1} , S_{v2} 都大于 S_T 时为边缘点。

3.3. 滑动矩形窗去噪

以上方法可以非常准确的定位边缘信息, 能够有效去除一些小的噪声干扰。对于一些较大的干扰噪声, 可以通过矩形窗扫描的方法去除。如图5中所示的矩形窗, 以像素点 (i, j) 为中心, 边长为 $2d$ 。计算矩形窗上所有像素点(不包括矩形窗内的点)灰度值的和, 计算公式如式(9)所示。当 $S=0$ 的时候, 认为此时矩形框内的边缘点为伪边缘点, 从而将此矩形窗内的所有伪边缘点去除。矩形窗的大小可根据噪声点的大小进行设计。

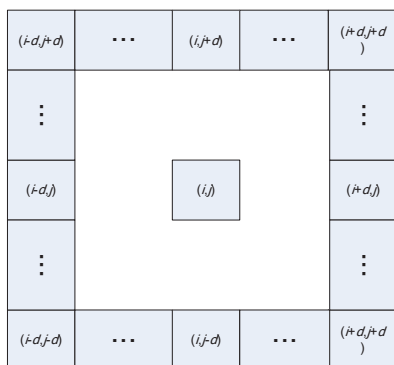


图5 矩形滑动窗结构

$$S = \sum_{k=1}^{2d} (I(i-d, j-d+k) + I(i+d, j-d+k) + I(i-d+k, j-d) + I(i-d+k, j+d)) \quad (9)$$

4 直线提取

4.1. 基于极坐标点扫描法的边缘点提取

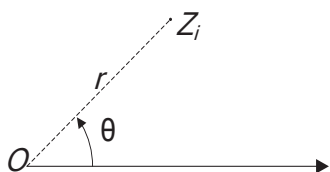


图6 极坐标示意图

通过边缘检测可以得到整幅图像的边缘信息, 但对于如图2所示的多层板叠加的顶层板边缘检测问题, 只需要得到最顶层板的边缘并拟合直线。因此, 采用如图6所示的基于极坐标点扫描的方法求取顶层板的边缘, 以参考点 $O(x_0, y_0)$ 为极点, 确定 N 条从极点出发的射线 $L_i: \theta_i=2\pi/N, 0 \leq i \leq N$ 。对于射线 L_i 上的点, 从极点出发, 向外扩散, 直到找到第一个不为0的点作为边缘点。 L_i 上的点坐标 (x_i, y_i) 可通过式(10)计算得到。

$$\begin{cases} x_i = x_0 + r \cos \theta_i \\ y_i = y_0 + r \sin \theta_i \end{cases} \quad (10)$$

4.2. Hough直线提取

通过上述方法得到顶层板的边缘点之后, 可以利用Hough直线检测的方法拟合两条边缘直线。Hough变换的基本原理在于利用点与线的对偶性, 将原始图像空间的给定曲线通过曲线表达形式变为参数空间的一个点。这样就把原始图像中给定曲线的检测问题转化为寻找参数空间中的峰值问题。假如图像平面上有两条直线, 那么最终在参数平面上就会看到两个峰值点。直线的方程可以用式(11)来表示, 其中 k 和 b 是直线的参数, 分别是斜率和截距。

$$y = kx + b \quad (11)$$

过某一点 (x_i, y_i) 的所有直线的参数都会满足方程(12), 即点 (x_i, y_i) 确定了一族直线, 式(12)在参数 k - b 平面上是一条直线。

$$y_i = kx_i + b \quad (12)$$

在实际应用中, 采用参数式(13)这样, 图像平面上的一点就对应到参数 p - θ 平面上的一条曲线上。在参数 p - θ 平面上取两个峰值点的参数获取其在图像平面上的直线方程, 作为顶层板的两个边缘, 即完成了顶层板的直线拟合任务。

$$p = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (13)$$

5 实验

实验在自然光照和自然场景下进行, 采集一天中8个不同时段的多层板叠加图像, 如图7(a-h)所示, 图像分辨率为 1280×1024 , 处理过程中, 对图像进行下采样处理得到 640×512 大小的图像。边缘检测和直线提取是在主频为2.4GHz的PC上完成, 用visual studio 2010进行软件编程实现。图7(a-h)中的十字标记为人为标记点, 其在图像中的坐标通过人为标注求得。

为了对比采用大津法求取的阈值与采用参考直线求取阈值的差异, 对图7中的8幅图像分别采用全局大津法^[8]、部分点采样大津法、部分点采样均值法求取阈值, 如图8所示。从图8中可以看出, 三种方法求取的阈值非常接近, 但是显然使用部分点采样均值法时间更短、效率更高。采用3种方法求取的边缘检测算子阈值 S_T 如图9所示。

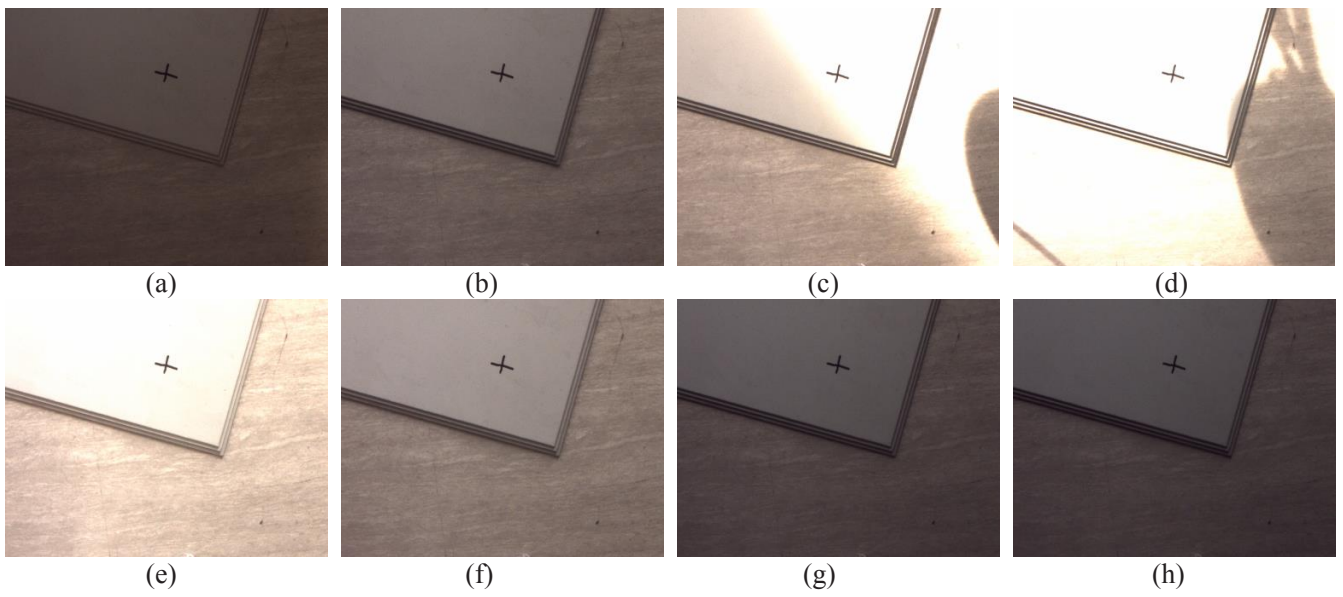


图 7 采样图像

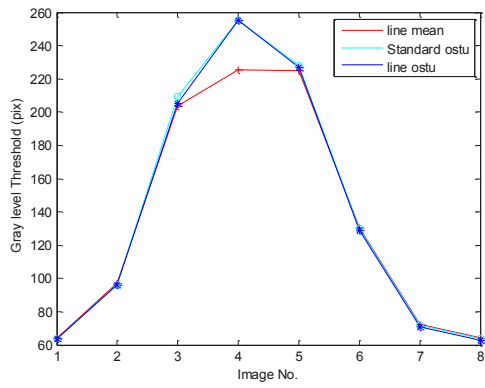


图 8 三种方法求的全局阈值

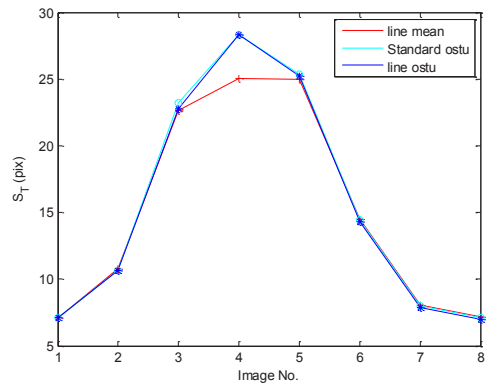


图 9 三种方法获得的 S_T

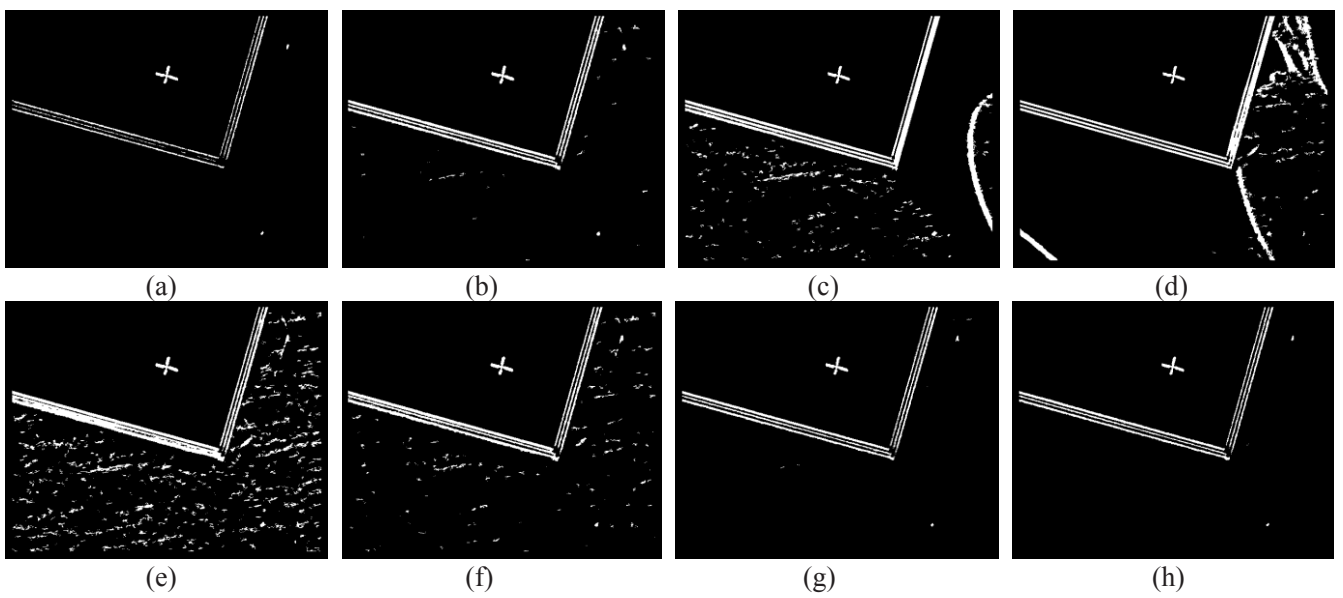


图 10 边缘检测结果

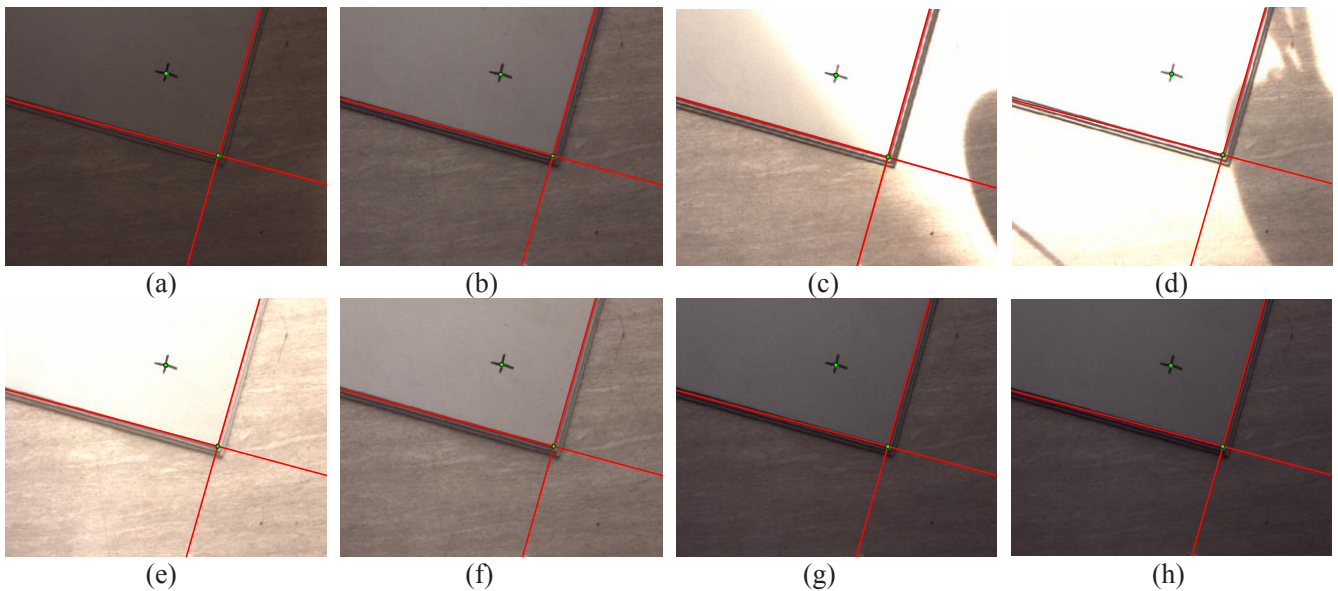


图 11 直线拟合结果

表 1. 直线检测误差和时间

误差与耗时	Img1	Img2	Img3	Img4	Img5	Img6	Img7	Img8
E_{Pk} (pixel)	0.36	0.01	0.75	-0.85	-0.40	-0.39	0.15	0.36
E_{L1k} (pixel)	0.32	0.26	0.43	-0.50	-0.53	-0.53	0.21	0.32
E_{L2k} (pixel)	0.60	-0.32	-1.41	0.58	-0.32	-0.32	0.60	0.60
耗时 (ms)	89	100	100	99	99	101	101	97

采用公式(3-8)的边缘检测算子检测边缘信息,用大小为6*6的矩形窗对噪声点进行去除,得到如图10(a-h)所示的8幅图像的边缘检测图像。利用极坐标扫描法得到顶层板的边缘点并利用Hough直线检测,找两个峰值点,最终定位顶层板的两个边缘信息。结果如图11(a-h)所示,从中可以看出,在不同光照条件下,顶层板的边缘都能准确定位。

为了定量描述此算法的稳定性和一致性。计算参考点与两条直线和两条直线角点之间的像素距离 D_{Lk} 、 D_{Pk} 。计算公式如式(14)、(15)所示。其中 (x_0, y_0) 为参考点坐标, A_k 、 B_k 、 C_k 为第 k 幅图像的直线参数。

$$D_{Lk} = \left| \frac{A_k x_0 + B_k y_0 + C_k}{\sqrt{A_k^2 + B_k^2}} \right| \quad (14)$$

$$D_{Pk} = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 + (z - z_0)^2} \quad (15)$$

公式(14)为点到直线之间的距离,即十字标记点到边缘线的距离。公式(15)为点到点之间的距离,即边缘角点与十字标记点之间的距离。如式(16)、(17)所示,以计算值减均值作为误差。其中,式(16)是点到直线距离的误差,式(17)是点到点距离的误差。

$$E_{Lk} = D_{Lk} - \frac{\sum_{k=1}^9 D_{Lk}}{9} \quad (16)$$

$$E_{Pk} = D_{Pk} - \frac{\sum_{k=1}^9 D_{Pk}}{9} \quad (17)$$

表1列出了8幅图像的 E_{Pk} 、 E_{L1k} 、 E_{L2k} 、time 结果,从表中可以看出,采用本文方法求出的直线具有非常好的稳定性和一致性。

6 结论

本文采用一维边缘检测算子检测图像中的边缘信息,结合相邻像素的边缘算子可以去除部分较小的噪声干扰,再利用矩形滑动窗可以去除较大的噪声干扰。基于极坐标点扫描的方法能够有效准确的定位顶层板的边缘信息,为 Hough 变换拟合直线提供好的保证。经过试验验证,本文方法无论在时间上还是准确性上都有非常好的效果。但是本文方法只在多层板的边缘检测中进行了试验验证,该算法是否具有普遍适用性还有待在更多的应用中进行验证。

参考文献

- [1] W. Gao, X. Zhang, L. Yang, et al. An improved Sobel edge detection. Proceedings of the 3rd IEEE International Conference on Computer Science and Information Technology, 2010: 67-71.
- [2] M. Sharifi, M. Fathy, M. Mahmoudi. A classified and comparative study of edge detection algorithms. Proceedings of International Conference on Information Technology: Coding and Computing. Las Vegas, Nevada: IEEE Computer Society, 2002:117- 120.
- [3] L. Ding, A. Goshtasby. On the Canny edge detector. Pattern Recognition, 2001, 34(3): 721- 725.

- [4] 林世毅, 苏广川, 陈东, 等. 基于小波变换和数学形态学的边缘检测法 [J]. 仪器仪表学报, 2004, 25 (增刊1): 685-687.
- [5] 赵钦君, 赵东标, 陆永华. 一种基于时空信息的多目标检测新算法 [J]. 仪器仪表学报, 2011, 32(4): 877-882.
- [6] D. Piotr, C. L. Zitnick. Fast Edge Detection Using Structured Forests. *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, 2015, 37(8): 1558-1569.
- [7] R. Duda, P. Hart. Use of the Hough transform to detect lines and curves in pictures. *Communications of the ACM*, 1972, 15(1): 11-15.
- [8] N. Ostu. A Threshold selection Method from Gray Level Histograms. *IEEE Transactions System Man and Cybernetics*, 1997, 9(1): 62-66.