

文章编号: 1006-4710(2014)02-0133-06

基于 Radon 变换与灰度投影积分极值方法的矩形检测

侯和平¹, 郭凯铭¹, 刘凯², 李改霞¹

(1. 西安理工大学 印刷包装工程学院, 陕西 西安 710048;

2. 西安理工大学 机械与精密仪器工程学院, 陕西 西安 710048)

摘要: 针对现有的矩形检测方法存在计算量大、检测精度不足等问题, 提出基于 Radon 变换(Radon Transform, RT)与灰度投影积分极值(Gray Projection Integral Extreme Value, GPIEV)方法相结合的矩形快速检测方法, 该方法运用 Radon 变换在小角度搜索范围内对矩形图像进行快速准确的旋转校正, 随后对校正后的图像的垂直和水平方向使用灰度投影积分极值方法确定矩形 2 对平行直线位置, 完成矩形的角度快速校正与重构。该检测方法利用了 Radon 变换对直线倾斜角度检测的准确性和灰度投影积分极值方法检测直线的准确性, 弥补了这两种方法各自的不足。实验结果表明, 该检测方法可应用在矩形等规则平面的几何图形检测识别中, 检测精度高, 且检测速度快。

关键词: 矩形检测; Radon 变换; 灰度投影积分极值; 图像处理

中图分类号: TP391 **文献标志码:** A

Rectangle detection based on Radon transform and gray projection integral extreme value method

HOU Heping¹, GUO Kaiming¹, LIU Kai², LI Gaixia¹

(1. Faculty of Printing and Packaging Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China; 2. Faculty of Mechanical and Precision Instrument Engineering, Xi'an University of Technology, Xi'an 710048, China)

Abstract: In view of most existing detection methods with various disadvantages, such as large calculating quantity and low detection precision, the present paper proposed a rapid detection method which integrates Radon Transformation (RT) and Gray Projection Integral Extreme Value method (GPIEV). Firstly, Radon transformation is used to quickly and accurately correct a rectangular image by rotating it within a small angle range. Secondly, the positions of the parallel lines in the collected image are determined by applying Gray Projection Integral Extreme Value method along the vertical and horizontal directions of the image. In this way, the angle correction and reconstruction of the rectangular image can be rapidly achieved. This detection method makes full use of the accuracy of Radon transformation and Gray Projection Integral Extreme Value method in detecting line and its inclination angle, and makes up for their deficiencies. Experimental results show that this detection method can be used to detect and recognize rectangular and other regular plane geometric figures with high accuracy and fast speed.

Key words: rectangle detection; Radon transform (RT); gray projection integral extreme value (GPIEV); image processing

矩形图像检测广泛应用于印刷画面质量检测、印制电路板的芯片检测^[1]、太阳能电池片缺陷检

收稿日期: 2014-02-15

基金项目: 国家自然科学基金资助项目(51305340); 陕西省自然科学基金基础研究计划资助项目(2013JM7009); 陕西省教育厅科学研究计划资助项目(2013JK1030)。

作者简介: 侯和平, 男, 讲师, 博士生, 研究方向为印刷机故障诊断。E-mail: Houheping@xaut.edu.cn。

刘凯, 男, 教授, 博导, 研究方向为机械传动的理论和应用、车辆工程等。E-mail: kliu@mail.xaut.edu.cn。

测^[2]、车牌定位与识别^[3-4]、交通标志牌识别^[5]、工业产品检测^[6]等领域。准确地识别是后续分析及数据获取工作的基础。在保证矩形检测准确性的基础上,提高检测速度成为提高工业生产效率、降低劳动强度、增强交通管制力度等环节必不可少的要求。

为了提高矩形检测准确性与识别速度,研究人员提出了基于 Hough 变换、灰度投影积分极值、Radon 变换等检测方法。Hough 变换方法被应用在生物学矩形微粒自动检测、二维条形码定位^[7]、车牌定位^[8]、交通标识牌检测等领域,文献^[8]提出一种基于传统直线 Hough 变换的图形检测方法,通过形状角对边缘提取后的闭合轮廓图形进行粗分类,再使用 Hough 变换提取直线峰值,根据设定的多个阈值判断峰值点是否满足矩形的几何特征,完成矩形检测,此算法避免了传统 Hough 变换方法在高维空间的投票,提高了检测速度,但算法中使用 Candy 算子获得较好的闭合轮廓的同时也会显示一些无用或虚假边缘,易出现“虚假直线”现象^[9],而且检测满足矩形几何条件的多个阈值的设定直接影响了矩形检测的准确性;为了避免边缘提取造成的虚假信息,文献^[10]提出利用灰度投影积分方法检测直线,该方法无需对图像进行边缘提取,就能检测图像中的直线,抗噪能力强,文献^[11]利用灰度投影积分极值方法确定矩形的 2 对平行直线,完成矩形的识别,比 Hough 方法检测速度提高,但此方法检测直线时,其准确度与旋转参量的量化误差有关,计算量大;Radon 变换^[12]方法通过计算图像各个方向上的投影,寻找投影最大值的方向来确定矩形边线斜率,校正精度高,被广泛应用于车牌歪斜校正中^[13],此方法抗噪能力强,检测速度快,可得到直线的斜率和偏移量,但不同起始点的线段在相同映射参数处峰值相似,所以 Radon 变换无法定位矩形边线的位置^[14]。虽然以上矩形检查方法有着各自的优点,但因其不足之处导致检测准确性与检测效率得不到提升,限制了矩形检测的发展与应用。

针对以上几种典型方法各自的优点与缺陷,本文提出一种基于 Radon 变换与灰度投影积分极值方法相结合的矩形快速检测方法。该检测方法的基本思想是通过 Radon 变换方法在小角度搜索范围内对采集到的矩形图像进行旋转校正,再利用灰度投影积分极值方法定位矩形垂直和水平方向的 2 对平行直线,完成矩形检测。检测方法结合了 Radon 变换方法对图像歪斜校正的快速与准确性和灰度投影积分极值方法对直线定位的准确性,避免了单一算法在矩形检测过程中的缺陷问题,提高了矩形检

测速度及定位精度。

1 Radon 变换的矩形旋转校正

由于图像采集设备的安装固定结构不同,及受外界振动等干扰因素的影响,在采集图像的过程中被采集的矩形物体不能保证与采集设备传感器的靶面完全对齐,因此采集到的矩形在图像中可能存在小角度的歪斜,为了便于矩形的识别和对矩形内部图像信息进一步的提取,应先对采集到的矩形图像进行旋转校正,准确获取矩形的垂直和水平方向,然后才能确定矩形的 2 对平行线的位置。

1.1 Radon 变换基本原理

Radon 变换(Radon Transform, RT)定义为 n 维空间域在 $n-1$ 维超平面上的积分。对于 $n=2$ 的图像(如图 1 所示),平面内的图像 $f(x, y)$ 沿直线 $\rho_0 = x \cos \theta_0 + y \sin \theta_0$ (该直线与原点的距离为 ρ_0 , 方向角为 θ_0) 做线积分,得到的 $F(\theta, \rho)$ 就是图像 $f(x, y)$ 的 Radon 变换,即平面 (θ, ρ) 的某个点对应原始图像 $f(x, y)$ 的某个线积分值。图像 $f(x, y)$ 的 Radon 变换公式为:

$$F(\theta, \rho) = \iint f(x, y) \delta(\rho_0 - x \cos \theta_0 - y \sin \theta_0) dx dy \quad (1)$$

$$\delta(x) = \begin{cases} 0 & x \neq 0 \\ 1 & x = 0 \end{cases} \quad (2)$$

式(1)中,特征函数 δ 为狄拉克函数, ρ 为 (x, y) 平面内投影线到原点的距离; θ 为投影线的法线与 x 轴的夹角。特征函数 δ 使图像沿着直线 $\rho = x \cos \theta + y \sin \theta$ 进行积分。

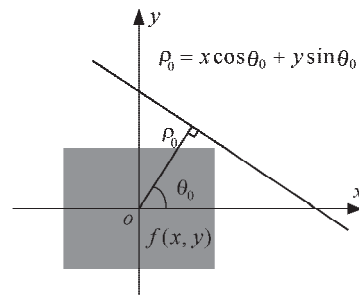


图 1 Radon 变换原理

Fig. 1 Radon Transform theory

1.2 矩形的旋转校正

在矩形的旋转校正过程中,将矩形图像转换到变换空间中,寻找变换空间中的峰值,这些峰值所对应的就是矩形的边线,找到这些峰值在变换空间中的位置,就能对应找到矩形的旋转角度及矩形 2 对平行线的位置,将矩形图像按照所计算出的旋转角

度逆向旋转,便可完成矩形的旋转校正。

图 2 所示是一种用于检测印刷机传纸套准精密度的检测标识,矩形 1 是第一印刷色组印刷出的基准标识,矩形内的各小标识 2 是后续印刷色组印刷的传纸检测标识,检测连续印刷的数十张中各个检测标识到基准标识的轴向(矩形的垂直边)和周向(矩形的水平边)的距离,便可通过计算连续数据的标准差,从而获得印刷机的传纸套准精密度。

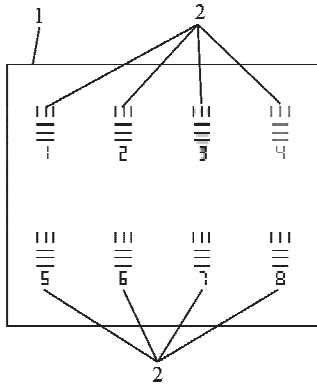


图 2 印刷机传纸套准精密度检测标识

Fig. 2 Registration precision

detection mark of transfer printing paper

将采集到的图像(图 3(a))首先进行灰度化(图 3(b)),然后使用 Sobel 算子对图像进行边缘提取(图 3(c)),对预处理后的图像进行 Radon 变换,寻找 RT 中的峰值 P (即矩形的边线),确定 P 在变换空间 (θ, ρ) 中的位置 (θ_P, ρ_P) , θ_P 便是矩形歪斜角度,将图像旋转 $-\theta_P$,获得校正后的图像(图 3(d))。

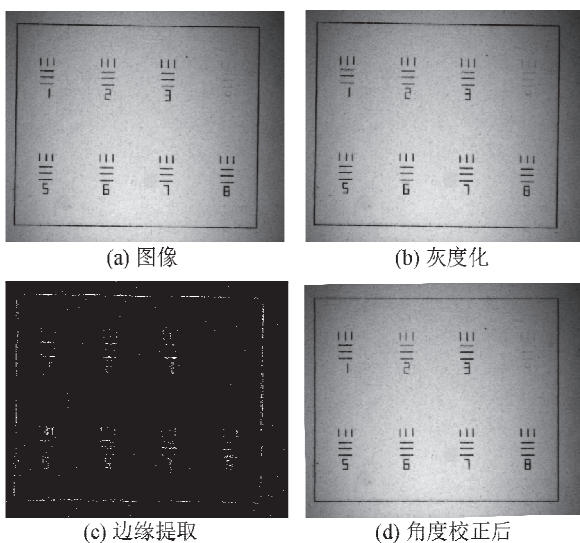


图 3 图像处理

Fig. 3 Image processing

为了提高矩形歪斜校正的精确度,应选择尽量小的旋转参量 $\Delta\theta$,才能更为准确地检测到矩形的边

线,但耗时相对较长。从表 1 可以看出,旋转参量 $\Delta\theta$ 的量化误差越小,其搜索计算的时间越长。

表 1 不同旋转参量的歪斜角度搜索

Tab. 1 The search of skew angle in different rotation parameters

检测图像大小/Pixel	2049×2447		
搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]/(^{\circ})$	[1,180]	[0.1,180]	[0.01,180]
旋转参量 $\Delta\theta/(^{\circ})$	1	0.1	0.01
矩形歪斜角度 $\theta_P/(^{\circ})$	-1	-0.9	-0.86
算法耗时 T/s	2.326 4	20.359 5	207.036 4

本文提出可以选择在小角度范围内搜索矩形的歪斜角度。由表 2 可看出,RT 方法在小角度范围搜索的矩形歪斜角度与全部角度范围搜索的矩形歪斜角度数据相同,而计算量大大减少,搜索时间变短。

因此,使用 RT 方法在小角度搜索范围对矩形进行歪斜检测与校正,检测准确,且速度快。

表 2 不同搜索角度范围的 RT 歪斜角度搜索

Tab. 2 The search of skew angle in different range of RT

检测图像大小/Pixel	2049×2447		
旋转参量 $\Delta\theta/(^{\circ})$	0.01		
搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]/(^{\circ})$	[0.01,180]	[-1.99,2]	[-1,1]
矩形歪斜角度 $\theta_P/(^{\circ})$	-0.86	-0.86	-0.86
算法耗时 T/s	207.036 4	4.544 2	2.483 0

此处简要说明 Radon 变换的搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]$ 和旋转参量 $\Delta\theta$ 的选择。搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]$ 主要取决于图像采集设备的传感器与实际拍摄物体存在的角度偏差范围,即实际拍摄物体可能歪斜的角度范围;旋转参量 $\Delta\theta$ 的设定,需根据图像处理中对于矩形定位的精确程度来设定。

$[\theta_1, \theta_n]$ 和 $\Delta\theta$ 共同决定了矩形校正过程中歪斜角度的搜索时间和检测精度,虽然设置 $[\theta_1, \theta_n]$ 范围越大、 $\Delta\theta$ 越精细,矩形检测精度越高,但计算量就会随之增大,因此要合理选择搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]$ 和旋转参量 $\Delta\theta$ 。

2 灰度投影积分极值方法的矩形重构

矩形由 2 对平行直线垂直相交围成,若能够确定垂直和水平方向的 2 对平行直线,便可重构矩形。

2.1 灰度投影积分极值方法基本原理

如果直线垂直于投影平面,则直线上所有点在投影平面上的投影为一个点;如果直线不垂直于投影平面,则直线上所有点在投影平面上的投影仍是一条直线。文献[10]由此性质提出了用灰度投影积分极值(Gray Projection Integral Extreme Value, GPIEV)方法对直线进行检测。

如图 4(a)所示,平面 (x, y) 上的图像中有一条直线 L ,将图像沿平行于 y' 方向的每一列元素的灰度值相叠加,此过程为灰度投影积分(GPI)过程,直线 L 投影在 x' 轴上仍为一条直线,称图像在 x' 轴上所得到的投影向量为 GPI 向量;将 $x'oy'$ 以设定的旋转参量 $\Delta\theta$ 进行旋转,获得下一个 GPI 向量,所有的 GPI 向量组成了 GPI 矩阵;当角度旋转到 θ_i 时(图 4(b)),直线 L 投影在 x' 轴上为一个投影点,则该点的 GPI 值将呈现极大值或极小值。在 GPI 矩阵中搜索此极值的位置,便可计算出直线 L 在图像中的位置。

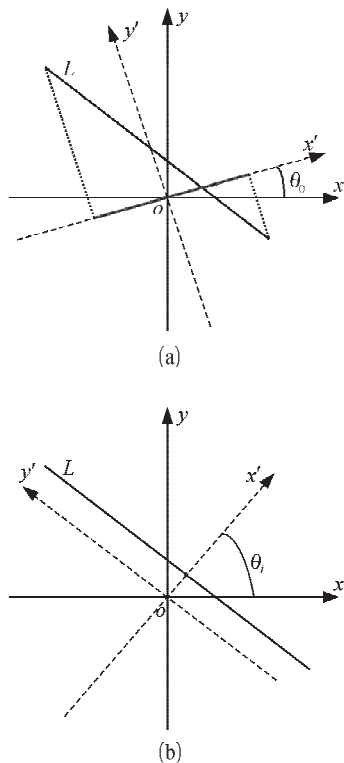


图 4 GPIEV 方法原理

Fig. 4 The theory of GPIEV method

2.2 矩形的重构

对 RT 变换校正后的矩形图像 I' 取补(见图 5),使矩形的四条线段由黑色转换成白色。

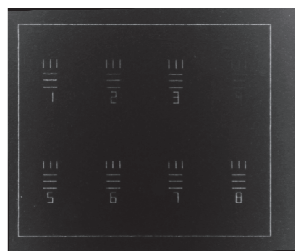


图 5 图像 I' 取补

Fig. 5 Negate of image I'

校正后的矩形的 2 对平行线分别处于水平和垂直状态,完成矩形图像水平和垂直两个方向的灰度

投影积分,得到对应的 2 个 GPI 向量(见图 6),找出 GPI 向量中的两个极大值所在的列和行(见表 3),便可确定 2 对平行线在图像 I' 中的位置,即完成了对矩形的重构(见图 7)。

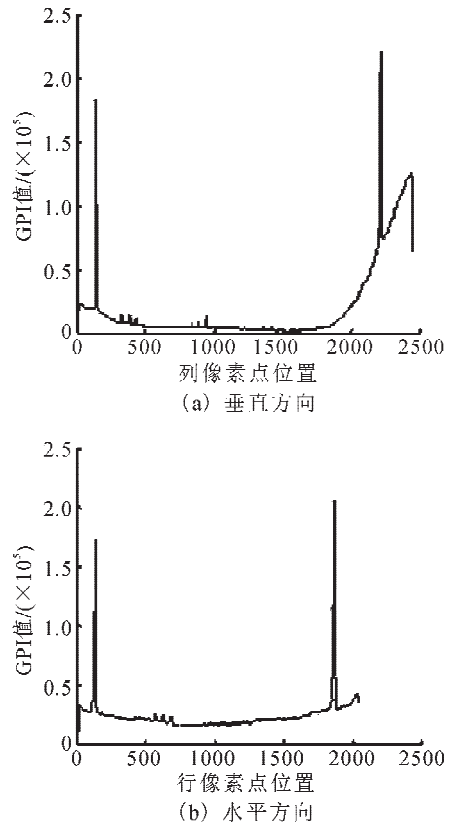


图 6 GPI 向量

Fig. 6 GPI vector

表 3 GPIEV 位置

Tab. 3 GPIEV position

检测图像大小/Pixel	2049×2447	
算法耗时 T/s	0.143 1	
垂直方向两个极值位置/列	$Line_1$ 92	$Line_2$ 2 219
水平方向两个极值位置/行	Row_1 132	Row_2 1 914

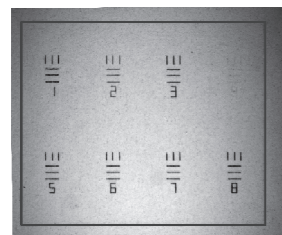


图 7 矩形重构

Fig. 7 Rectangular reconstruction

3 结合 RT 与 GPIEV 的矩形检测

结合 RT 与 GPIEV 的矩形检测思路是:利用 RT 方法在小角度范围内确定图像中矩形的歪斜角度,并将其校正,对校正后的图像进行水平和垂直方向的 GPI,便可准确得到矩形的垂直和水平方向上 2 对平行直线的 GPIEV,完成矩形的快速检测。主要步骤如下。

1) 给待检测图像设定 Radon 变换的搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]$ 和旋转参量 $\Delta\theta$;

2) 对待检测图像 I 进行预处理(灰度化,边缘提取);

3) 在搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]$ 内对边缘提取图像进行 Radon 变换,在图像的变换空间 (θ, ρ) 中寻找峰值点 P 所在位置 (θ_P, ρ_P) , θ_P 即为矩形歪斜角度,对图像的灰度图像进行逆旋转,获得校正后的矩形图像;

4) 运用灰度投影积分方法求取图像的水平、垂直方向的 2 个 GPI 向量,在这 2 个 GPI 向量中查找 4 个极值点的位置 Row_1 、 Row_2 、 $Line_1$ 、 $Line_2$,便可确定矩形 2 对平行直线的位置,完成矩形重构。其流程图如图 8 所示。

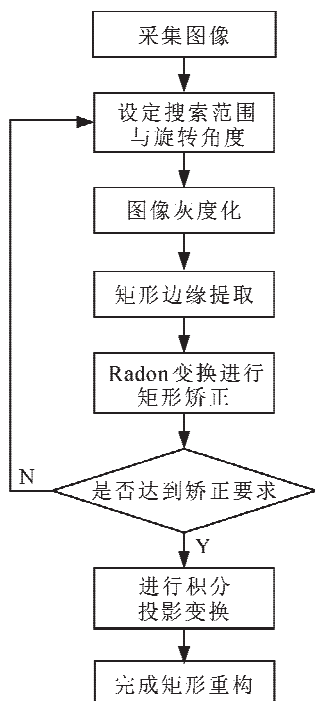


图 8 检测流程图

Fig. 8 The flow chart of detection

4 实验验证

在传纸套准精密度检测过程中,只有正确识别基准检测标识的位置,才能进行传纸检测标识与基

准标识之间距离偏差的计算,计算得出的数据才能正确反映所检测印刷机的精密度状况。

实验使用 Matlab R2010b 实现本文算法,测试环境为 CPU 2.53 GHz、RAM 2 GB 的 32 位 PC 机。本文算法对 100 张印刷样张内的基准标识矩形框进行检测(像素 2049×2447 ,实际值半尺寸:15 mm \times 12.561 mm),结果表明本文算法均能够有效完成图像重构计算,且检测精度满足印刷套准检测精度。

表 4 GPIEV 与本文算法对比
Tab. 4 GPIEV contrast with this algorithm

旋转参量 $\Delta\theta/(\circ)$	0.1	
搜索角度范围 $[\theta_1, \theta_n]/(\circ)$	[-1,1]	
算法	GPIEV 方法	本文算法
矩形歪斜角度 $\theta_P/(\circ)$	-0.9	-0.9
算法耗时 T/s	1.918 9	0.459 9

由表 4 可以看出,本文算法不仅精度满足要求,而且检测耗时仅是 GPIEV 方法检测耗时的 24%。

5 结论

本文利用 RT 方法能够在小角度范围内搜索到矩形歪斜角度的准确性以及 GPIEV 方法寻找直线的准确性,提出将 RT 和 GPIEV 方法直接结合完成矩形快速检测的方法。既保证了矩形检测的准确性,又降低了用单一方法搜索矩形中所有直线位置的计算量,提高了矩形检测速度。

另外,实验表明,RT 与 GPIEV 方法结合不仅可用于矩形检测,同样可应用在正三角形、六边形等常见平面正多边形的检测中。对于正 n 边形的检测,首先使用 RT 方法寻找正 n 边形的某一条线段 i 的倾斜角度 θ_i ,将图像旋转 $-\theta_i$,此时对图像垂直方向进行 GPI,便可准确确定该线段的位置,再将图像旋转 $2\pi/n$,可确定与该条线段相接的下一条线段的位置,完成 $n-1$ 次旋转便可将正 n 边形全部定位识别。

参考文献:

- [1] 孔华锋,鲁宏伟,胡东红. 基于改进 Radon 变换的芯片几何特征检测[J]. 计算机工程,2008,34(10):210-212,240.
Kong Huafeng, Lu Hongwei, Hu Donghong. Geometry feature detection of chip based on improved radon transform[J]. Computer Engineering, 2008, 34(10): 210-212,240.
- [2] 刘俊琪,刘堂友. 基于 Radon 变换的空间太阳能电池片图像倾斜校正技术研究[J]. 信息与电脑,2013,(5):10-

11.
Liu Junqi, Liu Tangyou. The research on image tilt correction technolog of space solar cells based on Radon transform[J]. Information and Computer, 2013, (5): 10-11.
- [3] 李莹, 李守荣, 孙震. 基于数学形态学和 Hough 变换的车牌定位算法[J]. 微型机与应用, 2011, 30(19): 38-43.
Li Ying, Li Shourong, Sun Zhen. License plate location algorithm based on mathematical morphology and Hough transform[J]. Image Processing and Multimedia Technology, 2011, 30(19): 38-43.
- [4] Su Muchun, Hung ChaoHsin. A neural-network-based approach to detecting rectangular objects [J]. Neuro-computing, 2007, 71(1-3): 270-283.
- [5] Liu Yangxing, Ikenaga Takeshi, Goto Satoshi. An MRF model-based approach to the detection of rectangular shape objects in color images [J]. Signal Processing, 2007, 87(11): 2649-2658.
- [6] Rungkarn, Siricharoenchai, Wasin Sinthupinyo, et al. A novel shape descriptor for rectangle-like classification [J]. Procedia Computer Science, 2012, (13): 128-132.
- [7] 李强兵, 刘文予. 基于 Hough 变换的快速矩形检测算法 [J]. 微计算机信息, 2007, 23(31): 248-250.
Li Qiangbing, Liu Wenyu. Fast rectangle detect based on Hough transform [J]. Microcomputer Information, 2007, 23(31): 248-250.
- [8] 秦开怀, 王海颖, 郑辑涛. 一种基于 Hough 变换的圆和矩形的快速检测方法 [J]. 中国图象图形学报 A, 2010, 15(1): 109-115.
Qin Kaihuai, Wang Haiying, Zheng Jitao. A unified approach based on Hough transform for quick detection of circles and rectangles [J]. Journal of Image and Graphics A, 2010, 15(1): 109-115.
- [9] 祁宝英. 运用 Hough 变换提高直线检测效率 [J]. 计算机系统应用, 2012, 21(6): 228-231.
Qi Baoying. Improve efficiency of line detection using Hough transform [J]. Computer Systems & Applications, 2012, 21(6): 228-231.
- [10] 张文增, 陈强, 都东, 等. 直线检测的灰度投影积分方法 [J]. 清华大学学报: 自然科学版, 2005, 45(11): 1446-1449.
Zhang Wenzeng, Chen Qiang, Du Dong, et al. Gray projecting integral method for line detection [J]. Journal of Tsinghua University (Science and Technology), 2005, 45(11): 1446-1449.
- [11] 任玲辉, 刘凯, 张海燕, 等. 灰度投影积分极值法的矩形检测 [J]. 计算机工程, 2012, 38(8): 159-163.
Ren Linghui, Liu Kai, Zhang Haiyan, et al. Rectangle detection of gray projection integral extreme value method [J]. Computer Engineering, 2012, 38(8): 159-163.
- [12] Jain A K. Fundamentals of digital image processing [M]. Englewood Cliffs, NU, USA: Prentice Hall, 1989.
- [13] 吴丽丽, 余春燕. 基于 Sobel 算子和 Radon 变换的车牌倾斜校正方法 [J]. 计算机应用, 2013, 33(S1): 220-222.
Wu Lili, Yu Chunyan. Tilt correction method of license plate based on Sobel operator and Radon transform [J]. Journal of Computer Applications, 2013, 33(S1): 220-222.
- [14] 马婧, 徐守时, 陈克. 基于 Radon 变换的图像角点角度提取算法 [J]. 光电工程, 2009, 36(2): 126-131.
Ma Jing, Xu Shoushi, Chen Ke. Method of angles picked-up of corners in images based on Radon transform [J]. Opto-Electronic Engineering, 2009, 36(2): 126-131.

(责任编辑 王卫勋)