

基于 Hough 变换的红头文件识别算法

张 雨 甘 刚

(成都信息工程大学网络安全学院 成都 610225)

摘 要 直线检测一直是图像处理中重要的一个步骤。最常用的直线检测技术是 Hough 变换,它将图像空间检测直线的问题转换到参数空间的峰值检测问题,图像空间中每一个非零像素都会对参数空间中与其对应的累加器投上一票。投票过程中,远离峰值的大多数的投票都是不必要的,这些无效投票降低了转换速度。提出一种在图像空间中基于指定的短直线形态过滤掉指定方向之外的多余线条和大部分噪声的方法,降低投票量,并且还可以将投票的范围限定在指定范围内。实验结果证实了该方法的有效性。

关键词 图像处理;直线检测;Hough 变换;参数空间;直线形态过滤

中图分类号 O235 **DOI:**10.3969/j.issn.1672-9722.2019.06.037

Red Heading Documents Recognition Algorithm Based on Hough Transform

ZHANG Yu GAN Gang

(Cyberspace Security Academy, Chengdu University of Information Technology, Chengdu 610225)

Abstract Line detection has always been an important step in image processing. The most commonly used line detection technique is the Hough transform, which converts the problem of image space detection line to the peak detection problem in the parameter space. Each non-zero pixel in the image space will vote for its corresponding accumulator in the parameter space. During the voting process, most of the votes that are far from the peak are unnecessary, and these invalid votes reduce the conversion speed. A method for filtering out excess lines and most noise outside the specified direction based on the specified short line form in the image space is proposed, the voting amount is reduced, and the voting range can be limited to the specified range. The experimental results confirm the effectiveness of the method.

Key Words image processing, line detection, Hough transform, parameter space, line shape filtering

Class Number O235

1 引言

在图像分析中,有效地提取图像中的直线是很重要的。直线检测被广泛用于医学图像诊断、卫星遥感、车道检测、工业生产等领域^[1-4]。最小二乘法拟合直线速度快但是对噪声敏感,Hough 可靠性高但是速度较慢^[5]。Hough 变换通常有标准 Hough 变换(SHT)和累计概率 Hough 变换(PPHT)。SHT 可以在图像中检测到几乎所有的直线,此外,它对噪声有很强的抵抗力^[6],能够较好地处理局部遮挡、覆盖等情况,但传统的 Hough 变换存在不能确定直

线的端点以及可能会检测出虚假直线的问题。有一种图像移位然后再进行图像间与运算的方法^[7],保留需要保留的行上的黑色像素的数量,同时缩小了 Hough 变换的参数空间。在红头文件图像中,一个明显的特征是有较长的红线,但是由于有大量文字存在,该方法并不能很好地应用。传统的 Hough 变换检测效果也不理想,由于存在大量噪声引起虚假峰值,容易检测出额外的虚假直线^[8]。本文基于 SHT 提出的基于短直线形态过滤的方法可以过滤掉大多数文字的影响,避免虚假直线。同时除去了大量的无关像素点,可以较容易确定直线的端点。

* 收稿日期:2018年12月14日,修回日期:2019年1月29日

基金项目:“十三五”国家密码发展基金项目(编号:MMJJ20180244)资助。

作者简介:张雨,男,硕士,研究方向:图像识别。甘刚,男,硕士,教授,研究方向:网络安全。

2 Hough变换原理

Hough变换又称为线点变换,它将图像空间中的线段变换到参数空间中的点。如图1所示,在图像空间 $X-Y$ 中,所有过点 $P(x, y)$ 的直线都满足方程:

$$y = kx + b \quad (1)$$

其中 k 为斜率, b 为截距。

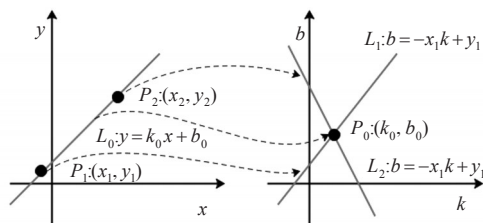


图1 直线的Hough变换

方程(1)可以变换为

$$b = -xk + y \quad (2)$$

在参数空间 $b-k$ 中,所有过点 $P(k, b)$ 的直线都满足方程(2)。由此可知,相交于点 $P(k, b)$ 的所有直线的参数对 (x, y) ,对应于图像空间中的共线点。方程(1)存在一个缺陷,当图像空间中的直线趋近于垂直 X 轴时,会使得参数空间中的 b 和 k 趋近于无穷大而增加计算量^[9]。应用平面直线的极坐标方程来进行图像空间到参数空间的变换可解决该问题:

$$r = x \cos(\theta) + y \sin(\theta) \quad (3)$$

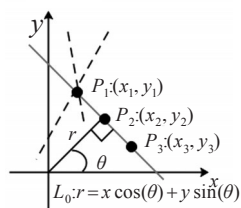


图2 直线的极坐标变换

如图2所示, r 是原点到直线的距离, θ 是直线的法线与 x 轴的夹角。如将经过图像空间中 P_1 、 P_2 、 P_3 的所有直线经过方程(3)的变换之后,在参数空间中就会出现三条正弦曲线,如图3所示。将图像空间中的一条直线 L_0 上所有的特征点都进行这种映射变换之后,参数空间中就会出现很多条正弦曲线,而这些正弦曲线都会相交于参数空间中的一点 (r, θ) 。

传统的Hough变换直线检测算法步骤如下:

1) 建立图像空间对应的参数空间 $r-\theta$,建立一个累加器数组 $\text{Accum}[r, \theta]$,每个元素的初始值都置为0;

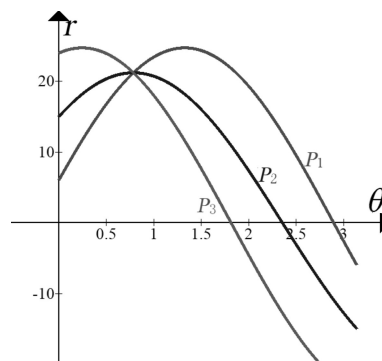


图3 极坐标对应的参数空间

2) 遍历待测边缘图像,背景像素值为0,边缘像素值非0,对每个非0像素值对应的点 (x, y) ,遍历 θ 所有可能的取值,根据方程(3)计算每个 θ 对应的 r 值,然后对数组元素 $\text{Accum}[r, \theta]$ 进行累加操作($\text{Accum}[r, \theta] = \text{Accum}[r, \theta] + 1$);

3) 对数组 $\text{Accum}[r, \theta]$ 进行峰值检测,如果峰值大于设定的阈值,则检测到的 (r, θ) 就对应与图像空间中的一条直线。

该算法受直线中的间隙和噪声影响较小,鲁棒性强,但是运算量大^[10-11],极端情况下的运算复杂度为 $O(n^3)$ 。

由上可知,传统的Hough变换只是检测一些共线的点,如果这些共线的点的投票数大于设定的阈值,就会被认为是在同一条直线上,所以可能导致一些离散的点被检测为某个方向的一条直线^[12]。红头文件中存在大量文字的的边缘,容易检测出虚假直线,本文基于传统Hough变换提出一种改进方法,应用Canny算子对原图像进行边缘检测^[13-14],再对边缘图像进行指定的短直线形态过滤,再对过滤之后得到的二值图像进行Hough变换得到目标直线。

3 基于直线形态过滤的Hough变换

3.1 基本原理

图4(a)为一幅二值图像,图像中水平线为线1,垂直线为线2,斜线为线3。设左上角为原点,水平方向为 X 轴,且向右为正方向,竖直方向为 Y 轴,向下为正方向。那么线1在参数空间对应点为 $(r, \theta) = (6, 90^\circ)$,线2在参数空间中对应的点为 $(r, \theta) = (6, 0^\circ)$,线3在参数空间中对应的点为 $(r, \theta) = (8.4853, 45^\circ)$,若考虑 r 精度为1,则对应点为 $(r, \theta) = (8, 45^\circ)$ 。

考虑 $\Delta\theta = 1^\circ$,标准Hough变换会对每个黑色像素在 θ 的区间 $[0^\circ, 180^\circ)$ 上计算所有的 r 的取值,对应的累加器元素 $\text{Accum}[r, \theta]$ 进行累加操作,最终会在参数空间中得到一条Hough曲线。对于线1,

在 $\theta=90^\circ$ 的附近进行投票就可以检测到足够的像素构成线1,此时线2和线3的绝大部分黑色像素的投票都为无效投票。所以仅保留构成线1的黑色像素并在 $\theta=90^\circ$ 的附近进行投票就可以找到线1。

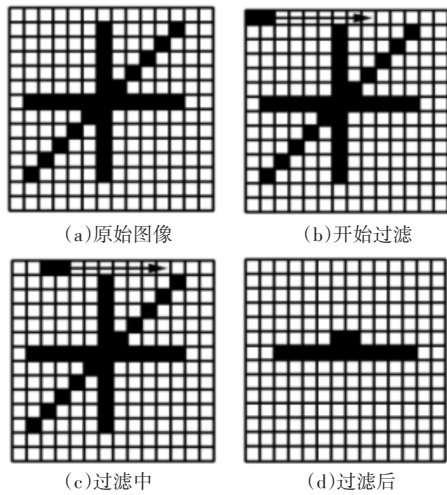


图4 二值图像过滤

如图4(b)所示构建一个与 X 轴夹角 $\theta=0^\circ$,宽度为2,高度为1的短直线,该直线像素点为黑色。如图4(c)所示,短直线向水平方向平移,每次平移距离为短直线的长度,扫描完一行后继续从下一行进行扫描。若每次扫过的2个像素均为黑色像素^[15],判定当前2个像素为目标直线的一部分,则将短直线的像素值复制到新的空白图像中与当前扫描对应的位置。

图4(d)为扫描结果,可以看出保留了线1的大量黑色像素点,但在左侧短了一个像素,同时线2和线3各有一个像素保留了下来。对于大多数场景,这些遗失和遗留下来的像素不会对直线检测造成影响,并且可以通过优化算法把该影响降到最低。当短直线足够长时,扫描的同时可以过滤掉图片中存在的大量噪点,增强Hough变换的鲁棒性。

设图4(a)中线1、线2、线3各有 m_1 、 m_2 、 m_3 个黑色像素,那么经过构造的直线形态过滤后的图4(d)中还剩下大约 m_1 个黑色像素,且仅需要对这些像素在 $\theta=90^\circ$ 处投票即可找出线1,所以此时图4(d)的投票总数约为 $Vd(\theta=90^\circ)=m_1$ 。若对图5(a)执行传统的Hough变换,设 $\Delta\theta=180^\circ/n$,那么此时图5(a)的投票总数约为 $Va(\text{tradition})=(m_1+m_2+m_3)\times n$ 。

3.2 对原图像扫描的方向选择

考虑待扫描图像大小为 500×500 ,图5中短直线均为50个像素,且与 X 轴夹角的精度为 1° 。对于图5(a),短直线区域与 X 轴夹角 $\theta=0^\circ$,当其在待扫描图像上沿 X 轴扫描,单行扫描次数为 $500/50$, Y 轴扫描次数为500,总扫描次数 $S(a)=(500/50)\times$

$500=5000$ 。

对于图5(b),短直线区域与 X 轴夹角 $\theta=45^\circ$,当其沿 X 轴扫描,单行扫描次数为 $500/50$, Y 轴扫描次数为451,总扫描次数 $S(b)=(500/50)\times 451=4510$,由于短直线矩形区域宽高相等,所以按 Y 轴扫描次数与按 X 轴扫描次数相等,扫描的区域有细微差别,但面积相等。

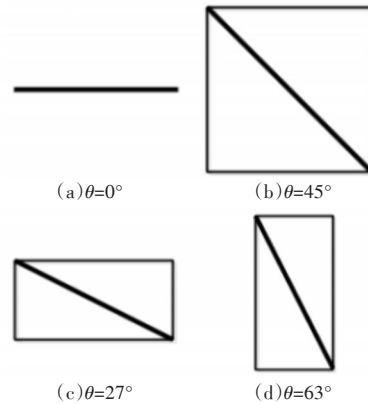


图5 短直线形态

对于图5(c),短直线区域为与 X 轴夹角 $\theta=27^\circ$ 。当其沿 X 轴扫描,单行扫描次数为10, Y 轴扫描次数为476,总扫描次数 $S(c)=4760$ 。但若其沿 Y 轴进行扫描,单列扫描次数为 $500/25$, X 轴扫描次数为451, $S(c)=(500/25)\times 451=9020$ 。所以当短直线矩形的宽 $>$ 高时,按 X 轴进行扫描,反之,如图5(d)宽 $<$ 高时则按 Y 轴进行扫描。

3.3 对原图像扫描的区域

根据图5所构造的短直线,扫描角度 $\theta=0^\circ$ 时,其扫描过的范围如图6(a)所示,黑色区域为短直线扫描到的区域。当 $\theta=45^\circ$ 时,沿图像 X 轴进行扫描,扫描到的区域如图6(b)所示,如其沿 Y 轴进行扫描,扫描到的区域如图6(c)所示。容易发现两个扫描区域面积是一样的。

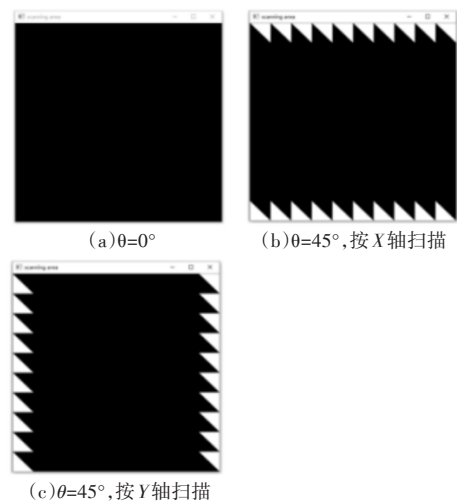


图6 扫描区域

3.4 结果图像的处理

结果图像是与原图大小一样的二值图,像素初始化为全0。考虑如图5(b)的短直线,以第一个像素为扫描起点,其后每个像素在原图对应像素点上都有一个偏移量。设原图宽为 w ,则第二个像素相对与第一个像素的偏移量为 $w+1$,将这些偏移量随机排列。扫描时原图中有50个与该短直线对应的像素点为待测像素点。按随机排列的偏移量序列去提取从待测像素点的像素值并判断是否为0,然后将其从待测像素点中移除,继续提取剩余的待测像素点。提取过程中,如检测到为0的像素点的占比大于10%,则判定当前扫描区域不是直线的一部分,并跳过本次扫描;如检测到非0像素点的占比大于90%,则判定当前扫描区域是直线的一部分,将结果图像与扫描区域对应的部分的像素值更改为255,再跳过本次扫描。

4 测试和验证

4.1 直线提取

本文提出的算法可以从存在多条直线的图中提取出目标直线。图7(a)是用于实验测试的无噪点图像,图7(b)是通过构造50个像素的 $\theta=45^\circ$ 短直线形态,从中过滤出的 $\theta=45^\circ$ 的倾斜直线。图7(c)是用于实验测试的有噪点图像,原图像大小为 500×500 ,像素总数为250000,其中大约存在100000个噪点。图7(d)是通过构造50个像素的 $\theta=27^\circ$ 短直线形态,从中过滤出的 $\theta=27^\circ$ 的倾斜直线。实验结果证实了本文提出的算法的可行性,同时存在大量噪点的图像中仍然可以提取出目标直线,抗噪性较强。

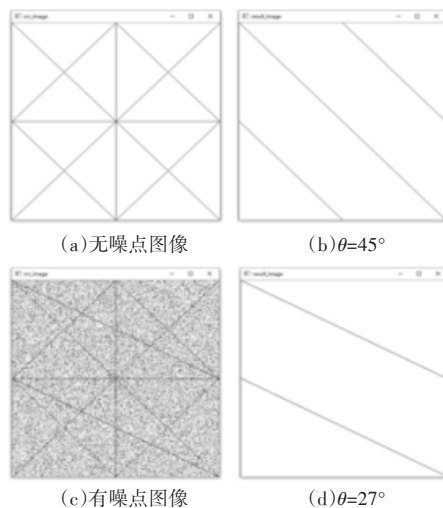


图7 直线提取

4.2 指定角度的红头文件直线检测

红头文件一般情况下存在较多的文字,对直线检测的效果有较大影响,若使用标准 Hough 变换,阈值设置不合理的情况下容易检测出虚假直线。原图中的直线如存在一定程度的扭曲,会导致边缘图像中的直线边缘不平整,或者直线中间存在五角星将直线分为两段,都会影响阈值的设定,但由于图片中存在大量文字边缘像素,故不能通过降低参数空间中 r 的精度来检测目标直线。本文提出的算法可以将大部分文字边缘过滤掉,极大程度保留目标直线形态,在经过该算法处理后的二值图像上检测直线更为容易,且在红头文件直线检测上表现良好。

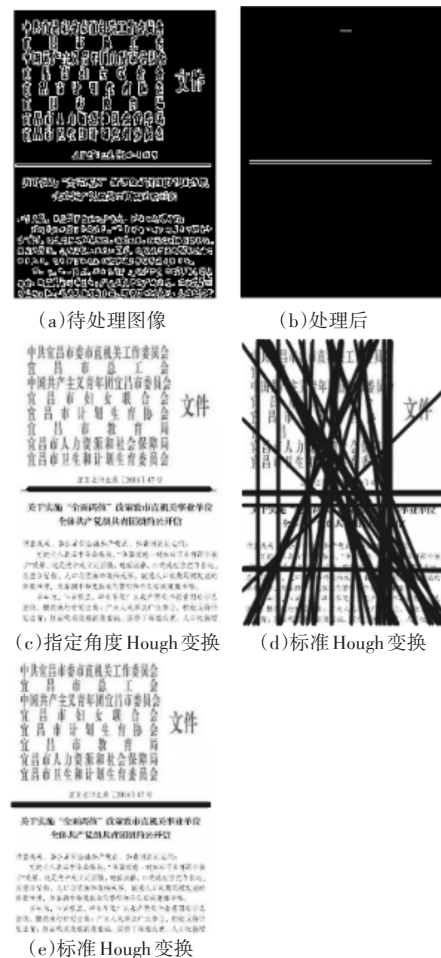


图8 红头文件直线检测($\theta=0^\circ$)

图8(a)是用于实验测试的红头文件的边缘图像,图片大小为 181×256 ,为保留原图像的比例,待测试图片按比例缩放,且宽高均不超过256。构造10个像素的 $\theta=0^\circ$ 直线形态,通过本文提出的直线过滤算法,在水平方向上扫描后得到如图8(b)所示的二值图像,与目标直线无关的大量像素点被过滤掉,消除无关像素的影响,容易找出直线的端点^[16],

并且对过滤之后的图像进行Hough变换只需要对固定角度 $\theta=0^\circ$ 即可检测出图中所存在的直线,减少了Hough变换的投票次数。容易看出,过滤后的图像在直线上保留了与原图像数量相近的像素点,所以在参数空间中对该直线的投票数不会发生太大的变化。将直线检测的阈值设置为图像宽度的一半,即为90。图8(c)是图8(b)进行指定角度的Hough变换之后得到的图像,并且找到了直线的大致端点,实验证明了本文提出的算法的有效性,该算法耗时小于1ms。由于该图像过滤掉了大部分的非直线像素,经测试,阈值设置在 $[11, 160]$ 区间内均能找到目标直线。

设定阈值为90,图8(d)是标准Hough变换得到的结果,由于图中存在大量文字边缘的干扰,得到大量虚假直线,将阈值增加到104得到如图8(e)所示的结果。增大阈值会增加在直线边缘不平整的情况检测不到目标直线的概率。标准Hough变换耗时30ms,并且不能得到图像中直线的端点。由上可知,本文提出的算法在直线检测设置直线阈值上更加简便,若在指定角度范围内找到目标直线,检测速度将优于标准Hough变换。

4.3 全角度的红头文件直线检测

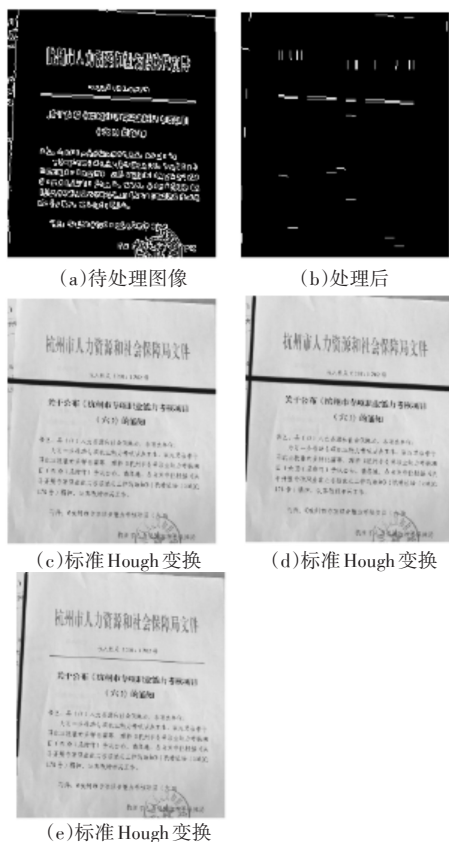


图9 红头文件直线检测($\theta \in [0^\circ, 180^\circ]$)

图9(a)大小为 217×256 ,应用本文提出的直线

过滤算法,构造10个像素的直线形态,在 $[0^\circ, 180^\circ]$ 的区间上进行 $\Delta\theta=1^\circ$ 的过滤得到图9(b)。可以看出图9(b)中目标直线有部分像素遗失,所以需要较低的阈值或是降低参数空间 r 的精度来检测目标直线。设置阈值为80,对图9(b)进行标准Hough变换得到图9(c),检测到待检测直线,共耗时6ms。

为了避免检测到虚假线条,需要尽可能增大阈值。设置阈值为100,对图9(a)进行标准Hough变换得到图9(d),结果中有一条非目标直线。增大阈值到128,得到图9(e),导致目标直线漏检。直接应用标准Hough变换耗时20ms。实验结果表明,通过短直线形态过滤后,在检测准确度和检测时间上均较标准Hough变换有提升。

4.4 时间消耗

Hough变换的时间消耗主要来源于图像中的非0像素点,所以用一个文字量适中的红头文件来比较本文提出的基于直线形态过滤的算法与标准Hough变换算法所消耗的时间。原图尺寸为 2840×4000 ,像素总数为11360000,其边缘图像的非0像素个数为217950。表1为原图缩放后不同尺寸后进行直线检测所消耗的时间。

表1 Hough变换计算时间

图片尺寸	标准Hough变换	基于直线过滤的指定角度Hough变换	基于直线过滤的全角度Hough变换
256×256	17ms	1ms	9ms
512×512	47ms	1ms	28ms
1024×1024	135ms	4ms	105ms
2048×2048	350ms	13ms	385ms

从时间消耗上,本文提出的算法有一定的优势,单次的指定角度Hough变换比标准Hough变换快了数十倍,在前三种尺寸下,基于直线过滤的全角度Hough也相较标准Hough变换有一定的速度优势。图片尺寸变大,速度优势降低,原因是尺寸变大导致直线过滤过程耗时增加,这也是该方法的缺点。如果能在一定角度范围内找到目标直线,或者在图片尺寸小于 1024×1024 时,那么该方法检测直线的效果优于标准Hough变换。

4.5 圆检测

红头文件的直线检测完成后,可通过Hough圆变换检测图像中存在的圆形印章进一步验证。

5 结语

本文针对传统Hough变换存在的一些问题,对Hough变换提取直线进行了改进,提出了基于直线

形态过滤的Hough变换的方法。通过直线过滤,可以减少噪点干扰,避免虚假直线,同时也避免这些无关像素点进行参数空间的投票。如对指定的 θ 区间应用直线过滤算法,可缩小Hough变换 θ 投票的区间,减少投票次数,加速Hough变换。实验证明本文的算法具有较好的抗噪声能力,同时对图像直线的提取效果较好。

参考文献

- [1] 陈军, 杜焕强, 张长江. 基于概率霍夫变换的车道检测技术研究[J]. 科技通报, 2016, 32(3): 194-199.
CHEN Jun, DU Huanqiang, ZHANG Changjiang. Research on lane detection technology based on probability Hough transform [J]. Science bulletin, 2016, 32(3): 194-199.
- [2] 李亚娣, 黄海波, 李相鹏, 等. 基于Canny算子和Hough变换的夜晚车道线检测[J]. 科学技术与工程, 2016, 16(31): 234-237.
LI Yadi, HUANG Haibo, LI Xiangpeng, et al. Night lane detection based on Canny operator and Hough transform [J]. Science Technology and Engineering, 2016, 16(31): 234-237.
- [3] 栾帅, 尹红娟. 基于霍夫变换的足球场标志线检测[J]. 计算机与数字工程, 2017, 45(1): 152-155.
LUAN Shuai, YIN Hongjuan. Detection of Football Field Marking Line Based on Hough Transform [J]. Computer & Digital Engineering, 2017, 45(1): 152-155.
- [4] 谢季峰. 基于霍夫变换的划痕检测算法应用[J]. 电脑知识与技术, 2012, 08(20): 4957-4958.
XIE Jifeng. Application of Scratch Detection Algorithm Based on Hough Transform [J]. Computer Knowledge and Technology, 2012, 08(20): 4957-4958.
- [5] 胡彬, 赵春霞. 基于概率霍夫变换的快速车道线检测方法[J]. 微电子学与计算机, 2011, 28(10): 177-180.
HU Bin, ZHAO Chunxia. Fast lane detection method based on probability Hough transform [J]. Microelectronics & Computer, 2011, 28(10): 177-180.
- [6] Nguyen T T, Xuan D P, Jeon J W. An improvement of the Standard Hough Transform to detect line segments [C]// IEEE International Conference on Industrial Technology. IEEE, 2008: 1-6.
- [7] Murakami K, Aboshi M, Kinoshita K, et al. Fast Line Detection by Hough Transform Using Inter - Image Operations [J]. Electronics & Communications in Japan, 2015, 98(7): 1-12.
- [8] 刘春阁. 基于自适应中值滤波和改进Hough变换的直线提取[J]. 测绘科学, 2011, 36(6): 267-269.
LIU Chung. Line Extraction Based on Adaptive Median Filtering and Improved Hough Transform [J]. Surveying Science, 2011, 36(6): 267-269.
- [9] Ye H, Shang G, Wang L, et al. A new method based on hough transform for quick line and circle detection [C]// International Conference on Biomedical Engineering and Informatics. IEEE, 2016: 52-56.
- [10] 邱桑敏, 夏雨人. 一种快速霍夫变换算法[J]. 计算机工程, 2004, 30(2): 148-150.
QIU Sangmin, XIA Yuren. A Fast Hough Transform Algorithm [J]. Computer Engineering, 2004, 30(2): 148-150.
- [11] 孙丰荣, 刘积仁. 快速霍夫变换算法[J]. 计算机学报, 2001, 24(10): 1102-1109.
SUN Fengrong, LIU Jiren. Fast Hough Transform Algorithm [J]. Chinese Journal of Computers, 2001, 24(10): 1102-1109.
- [12] Guo S, Pridmore T, Kong Y, et al. An improved Hough transform voting scheme utilizing surround suppression [J]. Pattern Recognition Letters, 2009, 30(13): 1241-1252.
- [13] 唐佳林, 王镇波, 张鑫鑫. 基于霍夫变换的直线检测技术[J]. 科技信息, 2011(14): 33-35.
TANG Jialin, WANG Zhenbo, ZHANG Xinxin. Line Detection Technology Based on Hough Transform [J]. Scientific information, 2011(14): 33-35.
- [14] Gary Bradski, Adrian Kaehler. 学习OpenCV: 中文版 [M]. 北京: 清华大学出版社, 2009: 173-183.
Gary Bradski, Adrian Kaehler. Learning OpenCV: Chinese version [M]. Beijing: Tsinghua University Press, 2009: 173-183.
- [15] 杨顺辽. 弗里曼链码法在图像处理中的应用[J]. 中国水运(理论版), 2006, 4(1): 23-25.
YANG Shunliao. Application of Freeman Chain Code Method in Image Processing [J]. China Water Transport: (Theoretical Edition), 2006, 4(1): 23-25.
- [16] 杨顺辽. 基于Hough变换提取直线的改进方法研究[J]. 电脑与信息技术, 2006, 14(5): 29-31.
YANG Shunliao. Research on Improved Method of Extracting Straight Line Based on Hough Transform [J]. Computer and Information Technology, 2006, 14(5): 29-31.