

文章编号: 1002-2082 (2020) 02-0394-06

# 基于改进的概率 Hough 变换的转鼓装校技术研究

江俊佳, 沈建新, 周 喆, 韩 鹏

(南京航空航天大学 机电学院, 江苏 南京 210016)

**摘 要:** 为解决裂隙灯转鼓装校时人眼对转鼓图像中的十字叉丝的中心距离计算存在的不确定性问题, 提出一种基于改进的概率 Hough 变换的转鼓数字化装校技术。通过对原图像预处理、改进概率 Hough 直线检测、制定直线交点筛选规则, 实现了高精度的转鼓图像十字叉丝直线检测和叉丝中心距离计算。实验表明, 改进的概率 Hough 变换能够准确地检测图像中的十字叉丝, 并将多余直线 100% 拟合为 4 条直线; 利用交点筛选规则可以准确筛选出 2 个有效交点。该装校技术能够实现转鼓数字化装校, 以数字信息来提示工人转鼓装校优劣, 且能够满足转鼓生产线上的实际需求。

**关键词:** 裂隙灯转鼓; 数字化装校; 概率 Hough 变换; 直线检测; 交点检测

中图分类号: TN911.73; O439

文献标志码: A

DOI: 10.5768/JAO202041.0205003

## Research on rotary drum assembly and adjustment technology based on improved probabilistic Hough transform

JIANG Junjia, SHEN Jianxin, ZHOU Zhe, HAN Peng

(College of Mechanical and Electrical Engineering, Nanjing University of  
Aeronautics and Astronautics, Nanjing 210016, China)

**Abstract:** In order to solve the problem that when installing the slit lamp in the rotary drum, the human eye has an uncertainty of calculating the center distance of the cross-hair in the drum image, a digital adjustment technique based on the improved probabilistic Hough transform was proposed. By preprocessing the original image, improving the probability Hough line detection, and formulating the line intersection screening rules, the high-precision drum image cross-hair straight line detection and cross-hair center distance calculation were realized. Experiments show that the improved probability Hough transform can accurately detect the crosshairs in the image and fit the excess straight line 100% into 4 straight lines; and the intersection point screening rule can be used to accurately screen out 2 effective intersection points. The adjustment technology can realize digital assembly of rotary drum and the digital information can be used to remind the workers of the adjustment of drums better or, which can meet the actual needs of the drum production line.

**Key words:** slit lamp drum; digital adjustment; probability Hough transform; line detection; intersection detection

## 引言

裂隙灯显微镜<sup>[1]</sup>可以通过调节转鼓的放大倍率观察眼部表浅或深部组织的病变, 对人眼疾病筛查具有重要意义, 而对其成像质量起关键性作用的结构就是转鼓。目前在进行转鼓装校时, 主要依靠人工观察显示器上转鼓图像的 2 组十字叉丝的中心距离来判断转鼓前后 2 块镜片中心的重

合度<sup>[2]</sup>。为解决由于人的主观感受而造成的随机性、不准确性与效率低下等一系列问题, 研究转鼓数字化装校技术势在必行。

转鼓数字化装校技术的研究重点在于如何实现转鼓图像中的 2 组十字叉丝的准确检测, 即直线检测。Hough 变换<sup>[3-5]</sup>由于良好的鲁棒性, 已经成为提取图像直线的一个常用算法, 但此算法也有

收稿日期: 2019-04-15; 修回日期: 2019-05-31

基金项目: 江苏省产学研前瞻性联合研究项目 (BY2015003-03)

作者简介: 江俊佳 (1994-), 男, 硕士研究生, 主要从事数字化医疗装备制造技术与图像处理技术研究。E-mail: 979736247@qq.com

在计算量大、复杂度高、峰值难以确定等问题,难以应用于实际生产线中<sup>[6]</sup>。针对这些问题,研究人员提出了一系列的改进算法与应用,例如: Xu L 等人提出随机 Hough 变换(RHT)<sup>[7]</sup>,该算法能够有效解决标准 Hough 变换中消耗内存大、精度低等问题; Matas J 等人提出一种概率 Hough 变换算法(PPHT)<sup>[8]</sup>;刘通等人利用改进的 PPHT 变换算法解决了空间碎片漫反射激光测距回波数据信噪比低与难以快速高效地提取有效数据点的问题<sup>[9]</sup>;鄢然等人利用 PPHT 变换建立了一种编布花边的实时识别算法<sup>[10]</sup>;巩学美改进了标准 PPHT 变换,并进行了遥感图像的道路识别<sup>[11]</sup>; Chutatape 等人提出一种将 Hough 空间转换为一维空间的改进算法;张振杰提出基于一维的 Hough 变换算法<sup>[12]</sup>,该算法主要分为边缘分组、直线编组和直线精确处理 3 个过程;段汝娇则提出基于像素点聚类的方法来提高 Hough 变换的运算速度<sup>[13]</sup>。

由于转鼓装校生产线对装校速率有一定的要求,且对转鼓图像的检测精度要求很高,不允许有多余直线出现。而标准概率 Hough 变换虽然执行效率很高,但由于该变换是对整幅图像的像素点进行投票计算,而在转鼓图像中,由于 2 组十字刻线的线宽不一致,光学镜片缺陷造成的污点这 2 个原因,使该算法在对转鼓图像中的同一条直线进行检测时,很容易在同一直线位置检测出多条直线。

本文针对这种情况提出一种基于改进的概率 Hough 变换的转鼓数字化装校技术。CCD 相机拍摄转鼓图像后,自动进行十字叉丝检测、直线交点检测,提取有效交点并计算交点距离。通过对转鼓图像的实验检测,验证了该技术的可行性。

## 1 传统转鼓装校技术

在目前的转鼓装校平台上,转鼓装校技术的主要原理为:如图 1 所示,光源发出的光束经过位于物镜 1 前焦面上的十字叉丝 1 和物镜 1 发射出平行光。然后通过转鼓的一组透镜(这一组透镜能够对十字叉丝 1 进行放大或缩小)。再通过物镜 2 和带有十字叉丝 2 的目镜成像在 CCD 相机上,通过数据线传输到显示器显示。最后人眼观察显示器上的转鼓图像,主观判断图像中十字叉丝 1 与十字叉丝 2 的中心距离,以此来判断转鼓前后镜片的中心重合度。

由于每个人的主观感受不一致,长时间工作导致的人眼疲劳,使得人眼观察叉丝中心距离存在

随机性等问题,从而导致了裂隙灯转鼓的装校质量得不到保证。

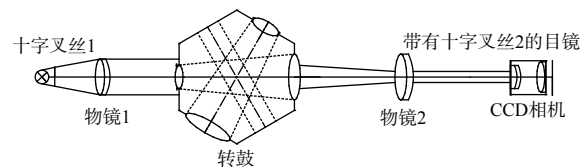


图 1 转鼓装校系统

Fig. 1 Assembly and adjustment system of rotary drum

## 2 数字化转鼓装校技术

对于原始转鼓图像,首先将其灰度化,再利用滤波、Canny 边缘检测等图像技术进行预处理,再通过改进的概率 Hough 算法检测十字叉丝直线,准确提取直线后利用制定的十字叉丝交点筛选规则对交点进行有效筛选,最后计算有效交点之间的距离来判定十字叉丝中心的距离。转鼓数字化装校技术流程如图 2 所示。

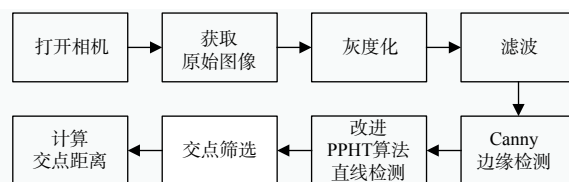


图 2 数字化转鼓装校流程图

Fig. 2 Digital assembly and adjustment flow chart of rotary drum

### 2.1 滤波

由于相机本身缺陷、光路透镜缺陷以及现场环境干扰,得到的图像中存在的噪声会使边缘检测产生无效的边缘,影响后期的直线检测精度。图像平滑处理(滤波)是消除图像噪声的常用方法,能够在尽量保留图像细节的前提下对噪声进行抑制,其处理效果的好坏将直接影响到后续图像处理和分析的可靠性。滤波的对象是在图像生成和传输过程中受到多种因素扰动形成的受污图像。由于高斯滤波器能够在保留图像轮廓信息的同时可以较好地消除噪声,且实际使用效果非常出色,所以选择高斯滤波器进行滤波<sup>[14]</sup>。

### 2.2 Canny 边缘检测

边缘是图像最重要的特征之一,边缘检测能使算法更加精确提取图像中的直线。在边缘检测的经典算法中,由于 Canny 算法是一个多级边缘检测算法,作为当今最优的边缘检测算法之一,具有较好的边缘定位能力和抗噪性能<sup>[15]</sup>。所以选用 Canny 边缘检测算法进行检测。

### 2.3 改进 PPHT 算法直线检测

由于十字叉丝 1 的线宽会随着转鼓放大倍率的改变而改变,而目镜上的十字叉丝 2 的线宽不会改变。并且由于光学透镜和 CCD 相机镜头存在缺陷和污染,导致拍摄的转鼓图像存在很多污点。由于这 2 点原因,如果直接利用标准 PPHT 算法对同一直线进行检测,同一直线位置将被检测出

多条直线。而经过研究发现,对于转鼓图像而言,同一直线位置检测出来的直线斜率近似。为了提高 PPHT 算法检测转鼓图像中直线的准确率,对标准 PPHT 算法进行改进。

改进的算法首先利用标准 PPHT 算法对图像进行检测,再对同多条斜率近似的直线进行归一化拟合,改进算法步骤流程如图 3 所示。

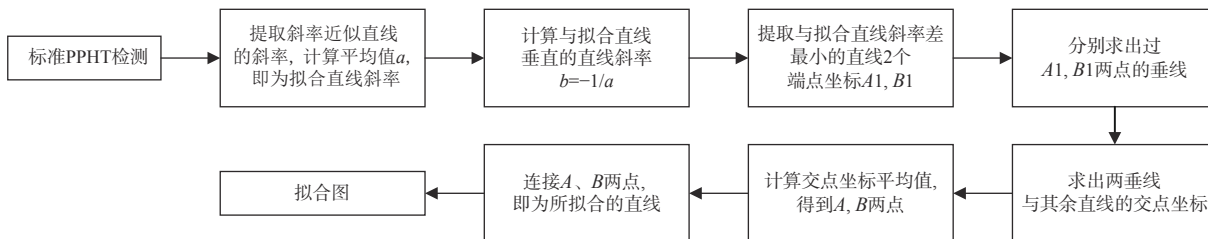


图 3 改进算法流程图

Fig. 3 Flow chart of improved algorithm

### 2.4 交点提取筛选

改进的概率 Hough 算法可以检测出 4 条直线,但由于 2 组十字叉丝的位置不同,得到的交点个数

也不同,情况分别如下:

- 1) 2 组十字叉丝所产生的 2 个交点互不落在对方直线上,此时存在 6 个交点,如图 4(a) 所示;

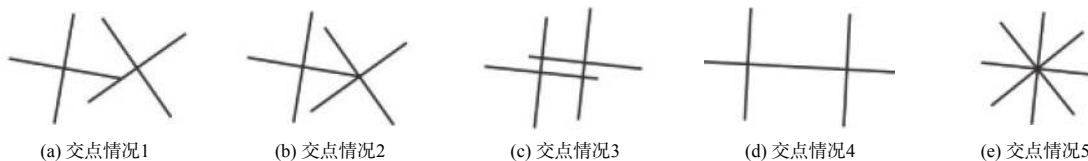


图 4 十字叉丝交点图

Fig. 4 Crosshair intersection diagrams

- 2) 2 组十字叉丝所产生的 2 个交点,其中一个落在对方某一直线上,此时存在 4 个交点,如图 4(b) 所示;

- 3) 2 组十字叉丝相互平行,并且所产生的 2 个交点互不落在对方直线上,此时存在 4 个交点,如图 4(c);

- 4) 2 组十字叉丝存在 2 条直线重合,所产生的 2 个交点不重合,此时存在 2 个交点,如图 4(d);

- 5) 2 组十字叉丝所产生的 2 个交点相互重合,此时存在一个交点,如图 4(e)。

对于计算 2 组十字叉丝中心距离而言,有效交点只有十字叉丝原始的 2 个交点。因此需要对上述的交点情况制定交点筛选规则:

情况 1: 如图 5 若两点连线与原有的 4 条直线重合,则这 2 个交点不是原十字刻线的交点,如 AB、AC、AF、AE、BC、BD、BE、CD、CF、DE、DF; 剩余 AD、BF、CE 不与原有直线重合,由于  $\angle ABD$  和  $\angle AFD$  为直角,所以 ABDF 共圆,且 AD 为直径,所以  $BF < AD$ ; 在  $\triangle BCF$  中,由于  $\angle CBF$  为钝角,所以

$BF < CF$ , 在  $\triangle CEF$  中,由于  $\angle CFE$  为直角,所以  $CF < CE$ ; 可推导出  $BF < CE$ ; 所以 BF 为 2 个交点距离最短的直线,即与原直线不重合的直线中距离最短的直线的 2 个端点即为原十字叉丝的 2 个交点。

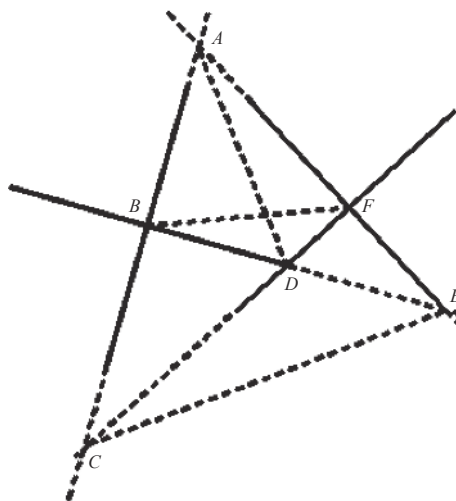


图 5 六交点十字叉丝图

Fig. 5 Diagram of 6 intersections crosshairs

情况 2: 由于原有 2 个交点所连直线长度最小, 所以相距最近的 2 个交点即为原十字叉丝的交点。

情况 3: 由于 2 组十字叉丝相互平行时, 组成一个矩形, 矩形的对角线大于任意一边长, 且 2 条对角线相同, 所以对角线距离即为最后所要求取的十字刻线交点距离, 此时无需求出具体的交点。

情况 4: 2 交点即为原十字叉丝交点, 距离即为所求距离。

情况 5: 只存在一个交点, 中心完全重合。

对原图像进行图像预处理后, 通过改进的 PPHT 算法进行直线检测, 提取直线全部交点, 利用制定的交点筛选规则筛选出有效交点, 最终计算交点距离来量化 2 组十字叉丝中心距离。

### 3 实验分析

为了验证图像预处理操作、改进的 PPHT 算法、制定的交点筛选规则对转鼓图像十字叉丝检测以及交点筛选的准确性, 进行了实验验证。

#### 3.1 实验软硬件配置、实验平台

实验中使用的硬件和软件如下: 德国 IDS 公司生产的型号为 UI148xLE-C 的工业相机, 日本 Computar 公司生产的焦距为 16 mm、最大光圈为  $F1.4$ 、像场 2/3 英寸的工业镜头; 使用 Visual Studio2013 中的 OPENCV3.0.0 库进行开发; 计算机硬件配置: 处理器 Core(TM)i5-7500 主频 3.40 GHz; 内存 DDR4 16 G; 显卡 NVIDIA GeForce GTX1060 3G。

实验平台采用 IDS 相机作为光电接收器件, 使用 LED 光源、光学透镜、导轨、光学镜座等光学元件, 搭建了如图 6 所示的转鼓装校平台。



图 6 转鼓装校平台

Fig. 6 Drum mounting platform

#### 3.2 转鼓图像十字叉丝检测, 交点提取筛选, 距离计算实验

为了有效去除原图像转为灰度图后图像中存在的噪声并且保留直线轮廓信息, 本文使用高斯滤波器对图像去除噪声, 如图 7 所示; 图 8 为 Canny 边缘检测图, 由于图中直线存在一定的宽度, 所以每一条直线存在 2 条边缘。

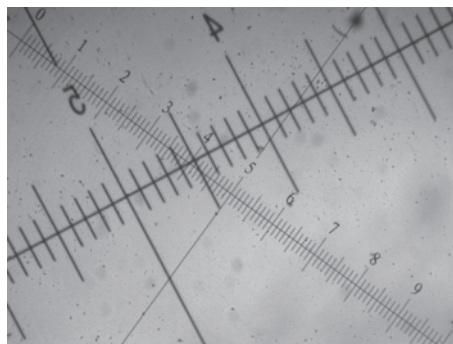


图 7 高斯滤波

Fig. 7 Gaussian filtering



图 8 Canny 检测

Fig. 8 Canny detection

图 9 为标准概率 Hough 算法的直线检测图, 在该图中存在同一条直线被检测出多条斜率近似的直线的情况。设置合适算法参数, 通过标准概率 Hough 变换, 4 条直线一共检测出 11 条直线, 显然这是不符合实际使用要求的。

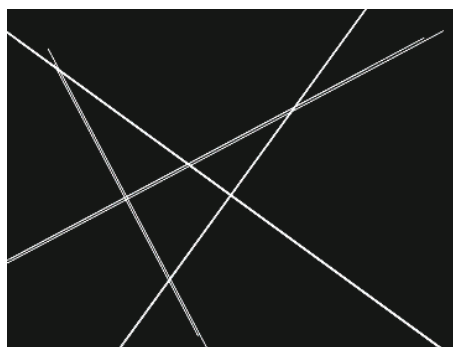


图 9 标准 PPHT 算法直线检测图

Fig. 9 Standard PPHT algorithm line detection chart



图 10 为利用改进的概率 Hough 算法的直线检测图,在该图中,同一直线检测出的多条直线被归一化拟合成同一直线。



图 10 改进 PPHT 算法直线检测图

Fig. 10 Improved PPHT algorithm line detection chart

表 1 为本文改进的 PPHT 变换和标准 PPHT 变换检测转鼓图像直线所消耗的时间和直线检测数量的对比表。同时分析图 9、图 10 和表 1,改进的概率 Hough 算法虽然比标准概率 Hough 算法消耗的时间较多,但是精度和准确度高了很多,直线数量由标准概率 Hough 算法检测的 11 条,精确到由改进的概率 Hough 算法检测的 4 条,且耗时差在 1 s 以内,既可以满足生产线的直线检测准确度精度要求,也能满足生产线上的实时性要求。

表 1 直线检测结果对比表

Table 1 Straight line detection results comparison table

图像尺寸	标准 PPHT 变换		改进 PPHT 变换	
	耗时/ms	直线数量/条	耗时/ms	直线数量/条
1 280×960	549	11	579	4

根据改进的 PPHT 算法检测出的 4 条十字叉丝直线,可以得到直线的所有交点,如图 11 所示。再通过上文中制定的交点筛选规则能够准确筛选出原十字叉丝的交点,并进行连线计算交点距离,如图 12 所示。

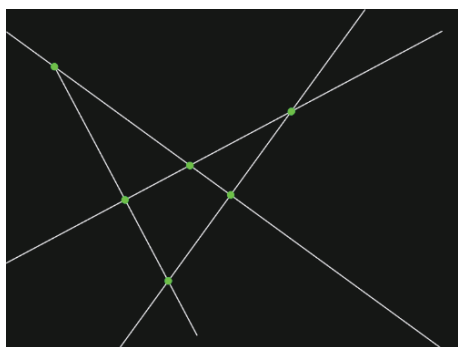


图 11 交点提取

Fig. 11 Intersection extraction

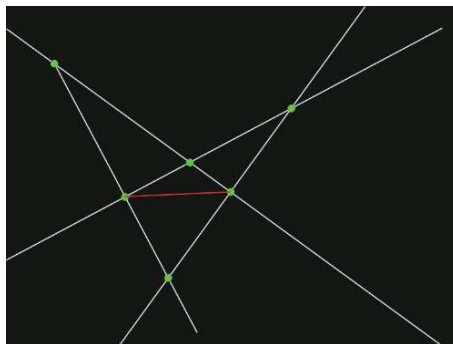


图 12 交点筛选

Fig. 12 Intersection screening

利用图像预处理方法、改进的 PPHT 算法和交点筛选规则,基于 VS2013,结合 OPENCV3.0.0,构建 MFC 人机交互界面,编写适合于生产线使用的软件。在对转鼓图像的实时处理过程中,转鼓图像的直线数量信息、交点数量、坐标信息及有效交点的距离信息都会实时更新在软件界面上,如图 13 所示。

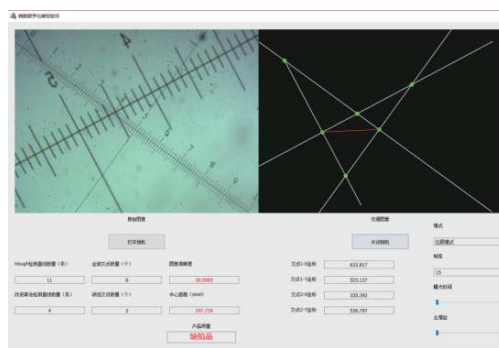


图 13 转鼓数字化装校软件

Fig. 13 Drum digital installation software

在本实验中,通过灰度化、高斯滤波、Canny 边缘检测等图像预处理操作后,利用改进后的概率 Hough 变换 100% 检测出十字叉丝长直线,通过交点筛选规则能够很好地筛选出 2 组十字叉丝的交点并通过计算 2 点间距离来判断转鼓镜片中心重合度。

## 4 结论

实验结果表明,本文提出的转鼓数字化装校技术,通过对原图像预处理,利用改进的 PPHT 直线检测算法,制定交点筛选规则,能够实现对转鼓图像中的 2 组十字叉丝中心距离进行精确计算,从而实现对裂隙灯转鼓的数字化装校过程。该装校技术与目前的转鼓装校技术相比较,具有更好的客观性、更高的精确度,能够代替人眼进行转鼓图像

十字叉丝中心距离的计算,从而实现了转鼓数字化装校,提高了裂隙灯的成像质量。

#### 参考文献:

- [1] SUI Chenghua, WO Shengjie, GAO Nan, et al. Design and implementation of digital slit-lamp microscope optical system[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2017, 46(7): 179-187.  
隋成华, 沃圣杰, 高楠, 等. 数码裂隙灯显微镜光学系统的设计与实现[J]. *光子学报*, 2017, 46(7): 179-187.
- [2] CHEN Hua, SHEN Jianxin, YAO Fengying. Research on digital alignment technology based on rotating drum of slit-lamp[J]. *Journal of Applied Optics*, 2019(1): 127-131.  
陈华, 沈建新, 姚凤莹. 基于裂隙灯转鼓的数字化装校技术研究[J]. *应用光学*, 2019(1): 127-131.
- [3] SHAPIRO S D. Feature space transforms for curve detection[J]. *Pattern Recognition*, 1978, 10(3): 129-143.
- [4] DUDA R O, HART P E. Use of the hough transformation to detect lines and curves in pictures[J]. *Communications of the Association for Computing Machinery*, 1972, 15(1): 11-15.
- [5] HOUGH P V C. A method and means for recognizing complex patterns, US 3069654[P]. U S: Patent3, 1962-03-25.
- [6] WANG Jingxue, ZHU Qing, WANG Weixi, et al. Straight line extraction algorithm by Hough transform combining edge grouping[J]. *Journal of Remote Sensing*, 2014, 18(2): 378-389.  
王竞雪, 朱庆, 王伟玺, 等. 结合边缘编组的Hough变换直线提取[J]. *遥感学报*, 2014, 18(2): 378-389.
- [7] XU L, OJA E, KULTANEN P. A new curve detection method: randomized Hough transform (RHT)[J]. *Pattern Recognition Letters*, 1990, 11(5): 331-338.
- [8] MATAS J, GALAMBOS C, KITTLER J. Robust detection of lines using the progressive probabilistic Hough transform[J]. *Computer Vision and Image Understanding*, 2000, 78(1): 119-137.
- [9] LIU Tong, CHEN Hao, SHEN Ming, et al. Effective echo extraction for space debris laser ranging using randomized Hough transform[J]. *Chinese Journal of Lasers*, 2016, 43(4): 175-185.  
刘通, 陈浩, 沈鸣, 等. 随机HOUGH变换提取空间碎片激光测距有效回波[J]. *中国激光*, 2016, 43(4): 175-185.
- [10] YAN Ran, ZHANG Lichao, ZHANG Yisheng, et al. Tricot lace real-time recognition method based on feature recognition[J]. *Laser & Optoelectronics Progress*, 2015, 52(11): 103-107.  
鄢然, 张李超, 张宜生, 等. 基于特征识别的经编布花边实时识别算法[J]. *激光与光电子学进展*, 2015, 52(11): 103-107.
- [11] GONG Xuemei, GAO Kun, WANG Yan, et al. A novel linear target detection method based on improved probability Hough transform in remote sensing imagery[J]. *Imaging Science and Photochemistry*, 2017, 35(2): 162-167.  
巩学美, 高昆, 王研, 等. 一种基于概率Hough变换的遥感图像中线目标检测新方法[J]. *影像科学与光化学*, 2017, 35(2): 162-167.
- [12] ZHANG Zhenjie, HAO Xiangyang, LIU Songlin, et al. Line detection based on Hough one-dimensional transform[J]. *Acta Photonica Sinica*, 2016, 36(4): 0412005.  
张振杰, 郝向阳, 刘松林, 等. 基于HOUGH一维变换的直线检测算法[J]. *光学学报*, 2016, 36(4): 0412005.
- [13] DUAN Rujiao, ZHAO Wei, HUANG Songling, et al. Fast line detection algorithm based on improved Hough transformation[J]. *Chinese Journal of Scientific Instrument*, 2010, 31(12): 2774-2780.  
段汝娇, 赵伟, 黄松岭, 等. 一种基于改进HOUGH变换的直线快速检测算法[J]. *仪器仪表学报*, 2010, 31(12): 2774-2780.
- [14] CHEN Xueyan, YU Lei, FEI Shumin. Switching filtering method with its application of depth image noise processing[J]. *Control Theory & Applications*, 2019, 36(6): 975-982.  
陈雪燕, 余雷, 费树岷. 切换滤波方法在深度图像噪声处理中的应用[J]. *控制理论与应用*, 2019, 36(6): 975-982.
- [15] ZENG Jiexian, ZHOU Lili, FU Xiang. Complex image line feature extraction based on improved Beamlet transform and the Canny operator[J]. *Journal of Image and Graphics*, 2012, 17(7): 775-782.  
曾接贤, 周沥沥, 符祥. 改进的BEAMLET与CANNY相结合提取复杂图像线特征[J]. *中国图象图形学报*, 2012, 17(7): 775-782.