

引用格式:詹维,仇荣超,马新星.应用LSD和聚类的海天/岸岛线检测算法[J].电光与控制,2019,26(1):43-46,86. ZHAN W, QIU R C, MA X X. Application of LSD and clustering in sea-sky line and coastline detection algorithm[J]. Electronics Optics & Control, 2019, 26(1):43-46, 86.

## 应用LSD和聚类的海天/岸岛线检测算法

詹维, 仇荣超, 马新星  
(海军航空大学, 山东烟台 264001)

**摘要:** 红外图像舰船目标检测中,目标通常位于海天/岸岛线附近,预先检测出海天/岸岛线,确定舰船目标的潜在区域,可减少目标检测过程中的搜索范围,降低数据处理量,提高检测速度。针对传统的海天/岸岛线检测算法对不同背景图像适应性差的问题,分析了海天/岸岛线特征,提出了应用LSD线段检测算法和聚类的海天/岸岛线检测算法。首先通过LSD线段检测算法获取图像中局部直线轮廓,然后通过K-均值聚类获取潜在海天/岸岛线区域,最后通过分析潜在海天/岸岛线区域纹理特征确定真实的海天/岸岛线位置。实验结果表明,该方法对多种背景下海天/岸岛线检测适应性强,检测精度高。

**关键词:** 红外图像; 目标检测; LSD线段检测; 海天/岸岛线; 纹理特征; 聚类

**中图分类号:** TP391      **文献标志码:** A      **doi:**10.3969/j.issn.1671-637X.2019.01.010

## Application of LSD and Clustering in Sea-Sky Line and Coastline Detection Algorithm

ZHAN Wei, QIU Rong-chao, MA Xin-xing  
(Naval Aeronautics University, Yantai 264001, China)

**Abstract:** In ship target detection of infrared images, the target is usually near the sea-sky line or coastline, thus the sea-sky line and coastline should be detected in advance to determine the potential area of the ship target, reduce the search range of target detection, simplify the data processing, and improve the detection speed. Aiming at the poor adaptability of the traditional sea-sky-line/coastline detection algorithm to different background images, we made an analysis to the features of sea-sky line and coastline, and proposed an algorithm for sea-sky-line/coastline detection by use of LSD line segment detection algorithm and clustering. Firstly, the local straight line contour of the image was obtained by the LSD line segment detection algorithm, and then the potential sea-sky-line/coastline area was obtained by K-means clustering. Finally, the real sea-sky-line/coastline position is determined by analyzing the texture features of the potential sea-sky line and coastline areas. The experimental results show that this method is highly adaptive to the detection of sea-sky line and coastline under various backgrounds and has high detection precision.

**Key words:** infrared image; target detection; LSD line segment detection; sea-sky line and coastline; texture feature; clustering

### 0 引言

红外舰船目标图像一般分为海天背景和岸岛背景两类,即一幅图像可大致分为舰船目标区域、海面区域和天空或岸岛区域。而舰船目标通常位于海天或岸岛线附近区域<sup>[1]</sup>,针对这种特点,通过有效检测海天/岸岛线位置可极大程度地消除目标检测过程中的冗余

图像空域信息,大大提高舰船目标检测速度<sup>[2-3]</sup>。国内外学者对海天线检测问题进行了广泛研究,主要包括:基于Hough变换建立图像中线与点的空间映射关系来得到直线及该算法的各种改进<sup>[4-5]</sup>;基于梯度或边缘等纹理特征<sup>[6-7]</sup>,通过海天线局部区域灰度值特征标记海天线;通过空间先验信息或形态学处理,对边界点分类进而提取出海天线区域<sup>[8]</sup>。以上3类算法对海空背景下海天线检测效果较好,但对岸岛背景下的岸岛线检测适应性较差,且检测结果精度不高,甚至会发生错检。为了解决这个问题,提高海天/岸岛线检测

收稿日期:2018-01-22

修回日期:2018-09-21

作者简介:詹维(1993—),男,安徽安庆人,硕士生,研究方向为数字图像处理,目标检测与识别。

的有效性和适应性,本文在分析了海天/岸岛线特征的基础上,提出了应用线段检测分割算法(Line Segment Detector, LSD)<sup>[9]</sup>和聚类的大海/岸岛线检测算法。实验结果表明,这种算法能有效地检测出岸岛和天空背景下海天/岸岛线。

## 1 LSD 线段检测

LSD 是一种线段检测分割算法,可有效检测出图像中局部直线段轮廓,该算法检测速度快、检测精度高(亚像素)、误检率低,可自主控制误检数量,对不同图像适应性强,其中两个关键特征是梯度和水平线。

LSD 线段检测算法具体实现过程主要分为以下几步。

### 1) 尺度变换。

为有效解决锯齿现象对检测的影响,首先对图像进行高斯降采样,通过高斯核滤波实现锯齿效应和图像模糊之间的平衡。

### 2) 梯度计算。

为减少梯度计算过程中相关像素间的彼此依赖,梯度计算使用  $2 \times 2$  模板,设  $I(x, y)$  为图像坐标点  $(x, y)$  处的灰度值,则其梯度为

$$g_x(x, y) = \frac{1}{2} [I(x+1, y) + I(x+1, y+1) - I(x, y) - I(x, y+1)] \quad (1)$$

$$g_y(x, y) = \frac{1}{2} [I(x, y+1) + I(x+1, y+1) - I(x, y) - I(x+1, y)] \quad (2)$$

水平线角度为

$$L_{\text{angle}} = \arctan \frac{g_x(x, y)}{-g_y(x, y)} \quad (3)$$

梯度幅值为

$$G(x, y) = \sqrt{g_x^2(x, y) + g_y^2(x, y)} \quad (4)$$

### 3) 梯度排序。

LSD 算法本质上是一种贪婪算法,像素处理顺序对结果有较大影响。通过分析,具有较高梯度幅值的像素点所在区域往往具有较强边缘,在边缘点中,中间像素点处梯度幅值最大<sup>[10]</sup>。因此, LSD 算法对梯度排序,并从具有最大梯度幅值的像素点开始进行直线分割是切实可行的。

### 4) 梯度阈值。

图像中平坦区域具有较小的梯度幅值,并且因为像素值的量化问题,梯度计算可能会产生误差。为了解决这个问题,设置阈值  $\rho$ ,当像素点处梯度幅值小于  $\rho$  时,该像素点不能参与线性支持区域和矩形的构建过程。

### 5) 区域生长。

区域生长用于生成线性支持区域。从排序列表表中选择一个未使用的像素作为种子点,经过递归将水平线角度与区域角度之间误差在阈值内的像素聚类到同一个矩形区域,如图 1 所示。

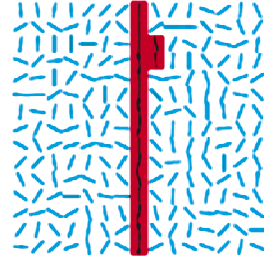


图 1 区域生长示意图

Fig. 1 Regional growth diagram

同时更新矩形区域角度为

$$\theta_{\text{region}} = \arctan \frac{\sum_j \sin(L_{\text{angle}}(j))}{\sum_j \cos(L_{\text{angle}}(j))} \quad (5)$$

式中,  $j$  为矩形区域内的点,  $L_{\text{angle}}(j)$  为该点所在线段的角。

### 6) 直线勾勒。

经过区域生长之后,得到一系列位于矩形框内的相邻离散点,假设矩形框长为  $w$ , 宽为  $d$ , 矩形框主方向角为  $\theta_r$ , 计算矩形框中心坐标, 则通过该中心且方向为  $\theta_r$  的直线即为一个局部直线段轮廓。

## 2 海天/岸岛线检测

### 2.1 海天/岸岛线特性分析

典型的海天背景和岸岛背景红外舰船图像如图 2 所示。

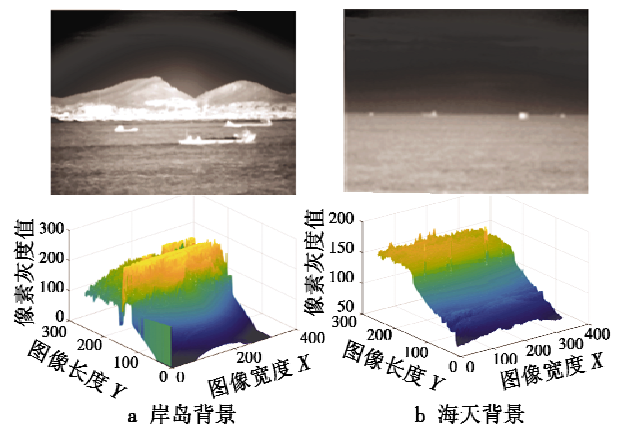


图 2 典型红外舰船图像及其三维图

Fig. 2 Typical infrared image and its 3D maps

分析可得到海天/岸岛线的几个显著特征。

1) 对于实验所用图像集,海天背景舰船图像中天

空区域像素灰度值通常高于海面区域像素灰度值,且从天空区域到海面区域表现为像素灰度值的缓慢过渡下降,但在海天线附近,这种过渡下降更为明显。

2) 岸岛背景下岛屿、建筑物通常具有较大灰度值,从岸岛区域过渡到天空区域或者海面区域通常会发生明显的灰度值变化,在部分图像中呈现为断崖式下降。

3) 从岸岛区域过渡到天空区域和过渡到海面区域间相似的特性使得传统的检测算法常将天空/岸岛线错检为岸岛/海面线。

4) 岸岛区域背景梯度特征明显,传统方法易将此区域误检为海天线。

## 2.2 海天/岸岛检测算法

海天/岸岛线通常为图像中灰度值发生明显变化的过渡带<sup>[11]</sup>,并且有可能具有一定的倾斜,据此本文在后期处理过程中会将检测到的过渡带细化,并对倾斜角较小的直线进行修正(这种处理不会影响目标识别检测等应用)。

基于以上分析,本文中海天/岸岛线提取主要分为以下几个步骤。

### 1) LSD局部直线段检测。

通过LSD提取出图像中所有的局部直线段轮廓。高斯核 $\sigma = \Sigma/S$ 中,设定缩放因子 $S=0.8$ ,平衡参数 $\Sigma=0.6$ ;梯度阈值 $\rho = \frac{2}{\sin \tau}$ 中角度误差 $\tau$ 取 $22.5^\circ$ 。

### 2) 聚类。

对LSD检测结果进行聚类,得到潜在的海天/岸岛线区域。

### 3) 定位海天/岸岛线。

通过判断潜在海天/岸岛线区域上下一定范围内图像相似性程度大小以鉴别该候选区域是否为真实海天/岸岛线区域,其中相似性程度大小通过结构相似度计算。

由文献[12]可知,对于两个不同图像区域 $x$ 与 $y$ ,可得到亮度比较函数 $l(x,y)$ 、对比度函数 $c(x,y)$ 和结构比较函数 $s(x,y)$ 分别为

$$l(x,y) = \frac{2\mu_x\mu_y + C_1}{\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1} \quad (6)$$

$$c(x,y) = \frac{2\sigma_x\sigma_y + C_2}{\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2} \quad (7)$$

$$s(x,y) = \frac{\sigma_{xy} + C_3}{\sigma_x\sigma_y + C_3} \quad (8)$$

式中: $C_1, C_2, C_3$ 是人为设置的很小的正数,既考虑了人视觉系统的因素,又确保了以上3式分母不为零, $C_3 = C_2/2$ ;  $\mu_x, \mu_y$ 分别为区域 $x$ 与 $y$ 的均值; $\sigma_x, \sigma_y$ 分别为区域 $x$ 与 $y$ 的方差; $\sigma_{xy}$ 为区域 $x$ 与 $y$ 的协方差。最终,结

构相似度定义为

$$S_{SSIM} = l^\alpha(x,y) c^\beta(x,y) s^\gamma(x,y) \quad (9)$$

式中, $\alpha, \beta, \gamma$ 用来调整3项权重的指数参数,通常都设置为1。则结构相似度可简化为

$$S_{SSIM} = \frac{(2\mu_x\mu_y + C_1)(2\sigma_{xy} + C_2)}{(\mu_x^2 + \mu_y^2 + C_1)(\sigma_x^2 + \sigma_y^2 + C_2)} \quad (10)$$

两个图像之间结构相似度值越小,表示两个图像区域差异越大;结构相似度值越大,则差异越小。

## 3 实验结果与分析

本文实验数据由某红外成像仪采集,实验过程中选取了24幅典型海天和岸岛背景红外舰船目标图像,部分典型图像如图3a所示。图像数据为8位BMP格式,实验基于Windows10系统,Matlab2015b平台。

### 1) LSD线段分割检测。

通过LSD线段分割检测得到局部直线段轮廓,结果如图3b所示。图中,局部直的轮廓均可准确检测出来,并且在海天/岸岛线附近局部直的轮廓相对其他区域更加集中。

### 2) 聚类分析。

通过LSD线段分割检测得到图像中直的轮廓,需要从这些局部直的轮廓中提取出潜在海天/岸岛线区域,根据LSD线段分割得到的直的轮廓的图中坐标进行聚类。

实验过程中,聚类分类数 $k$ 是一个重要参数, $k$ 取值过大,提取出潜在海天/岸岛线数量过多,增加算法计算量; $k$ 取值过小,可能造成真实海天/岸岛线漏检。经过实验分析,当 $k$ 取值为7时,能够得到稳定的含真实海天/岸岛线的候选线段区域。聚类结果如图3c所示。

通过聚类,以聚类中心点坐标为潜在海天/岸岛线区域,得到潜在海天/岸岛线区域如图3d所示。

### 3) 定位海天/岸岛线。

通过式(10)计算潜在海天/岸岛线相邻区域图像结构相似度,判断真实海天/岸岛线。

实验中,选取潜在海天/岸岛线上下各10像素宽图像区域进行结构相似度计算,当潜在海天/岸岛线位于图像边缘不足10像素距离时,对图像进行镜像扩展。

海天/岸岛线定位结果如图3e所示,其中,蓝色线为算法检测结果,红色线为人工标记海天/岸岛线。

### 4) 误差分析。

为了衡量算法的检测精度,采用检测结果与人工标记海天/岸岛线位置间的RMSE(Root Mean Square Error)进行评价,定义为

$$E_{RMSE} = \sqrt{\frac{1}{m} \sum_{i,j=1}^m (|x_i - x_j|^2 + |y_i - y_j|^2)} \quad (11)$$

式中： $m$  为像素点数； $(x_i, y_i)$  和  $(x_j, y_j)$  分别为检测结果与人工标记海天/岸岛线位置坐标。误差结果见表

1, 编号 1~12 和编号 13~24 分别为岸岛和海天线检测误差。

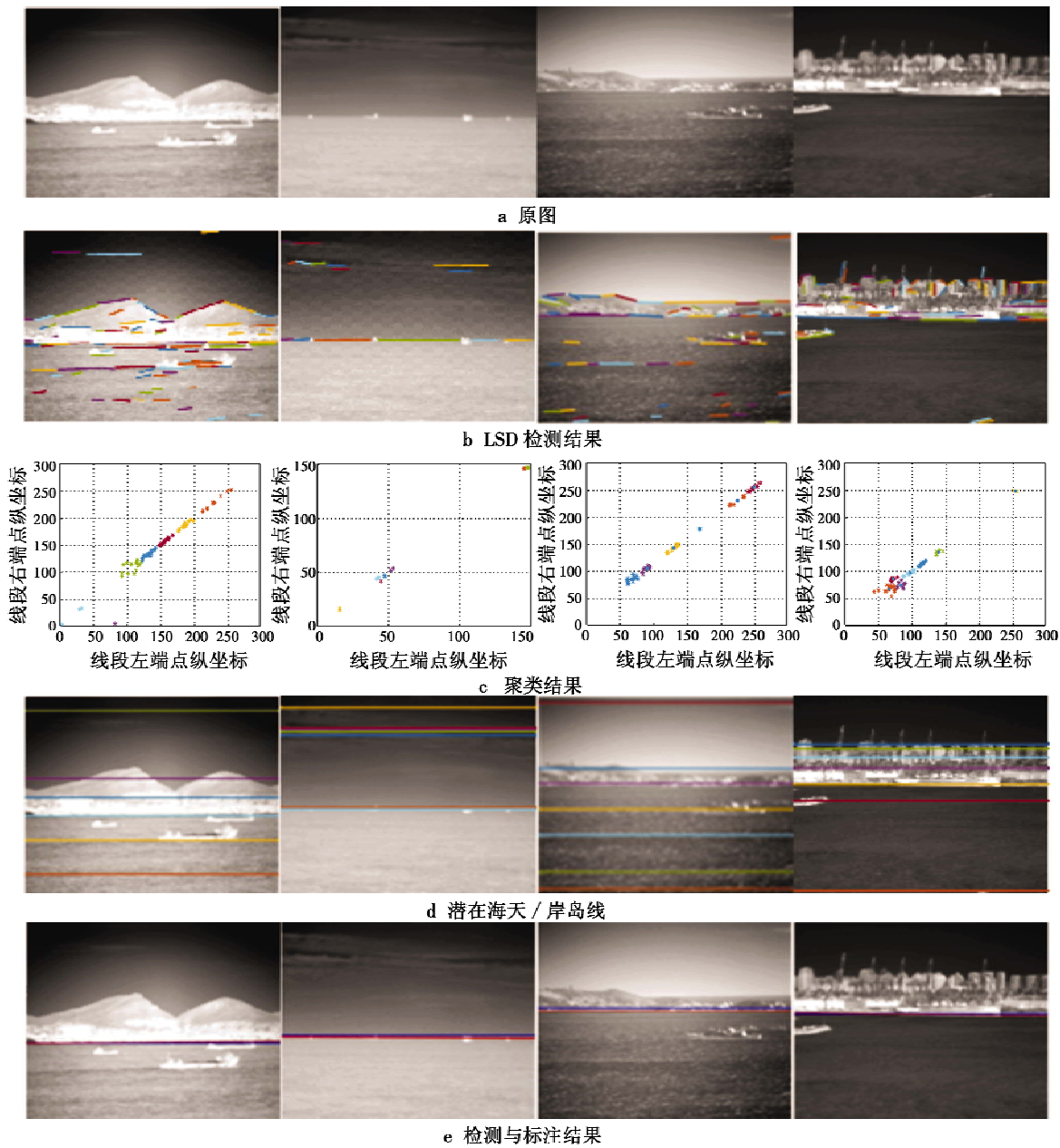


图 3 部分原图及检测结果图

Fig. 3 Part of the original map and the results of the detection

表 1 海天/岸岛线检测误差统计表

Table 1 Statistics of sea-sky line and coastline detection error

图像编号	RMSE	图像编号	RMSE	图像编号	RMSE	图像编号	RMSE
1	3.5	7	2.8	13	0.3	19	0.1
2	3.0	8	1.1	14	0.2	20	0.1
3	0.3	9	1.7	15	0.7	21	0.2
4	2.0	10	0.06	16	1.0	22	0.1
5	0.11	11	1.2	17	0.2	23	0.5
6	0.24	12	1.5	18	0.06	24	0.9

## 4 结论

本文在分析了海天/岸岛线特征的基础上, 针对红外图像海天/岸岛线检测问题, 提出了应用 LSD 线段检测和聚类的海天/岸岛线检测算法, 解决了传统检测算法对不同场景下海天线或岸岛线检测适应性不强的问题。实验结果表明, 本文算法能有效检测出不同场景下的海天/岸岛线, 且检测精度高, 参数设置少, 具有一定的工程应用价值, 可用于红外舰船目标检测的预处理。

(下转第 86 页)



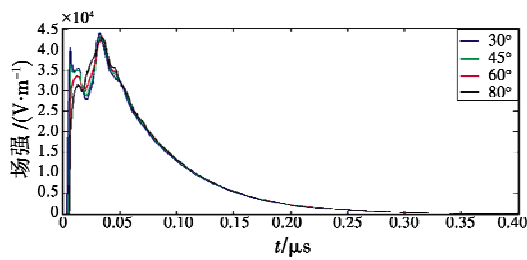


图9 水平极化条件下改变入射角度仿真图

Fig.9 Change of incident angle under horizontal polarization conditions

### 3 结论

本文通过理论计算与仿真的方法相结合,验证了复杂条件下建模仿真的可信性,对不均匀地面土壤的近地面 HEMP 反射波的波形特征及近地面电磁环境进行研究的结果如下所述。

1) 不同 HEMP 激励波形对近地面的 HEMP 电磁环境会产生不同的影响,但在 5 m 以内的波形相差不大,进行防护时需重点对正向脉冲进行防护。

2) 不同高度位置电场峰值不一样,较低位置由于反射波与入射波相互叠加使得电场峰值会小于 HEMP 峰值,大概在 1.2 m 处正向脉冲会达到 HEMP 峰值,也就是说,在大于等于 1.2 m 位置,会经历两次完整的正向脉冲和反向脉冲。由于土壤的反射作用,双层土壤无论是正向脉冲还是负向脉冲,都较单层的脉冲宽度窄。

3) 随着上层土壤厚度的增加,HEMP 在土壤的传播时间延长,损耗增加,使得负向脉冲的峰值出现时间在延迟且减小。

4) 无论是垂直极化波还是水平极化波,不均匀土壤均比均匀土壤复杂,在各个方向上的电场乃至总场,在不同入射角的作用下均会出现双峰或者多峰,这与单层土壤具有极大的差异。

### 参考文献

- [1] 徐伯夏,丁国辉,黄靖.复杂电磁环境下 C<sup>4</sup>ISR 系统的防护研究[J].电光与控制,2011,18(3):1-4.
- [2] 乔登江.高功率电磁脉冲、强电磁效应、电磁兼容、电磁易损性及评估概论[J].现代应用物理,2013,4(3):219-224.
- [3] 文刚,姜勤波,齐世举,等.水平分层电导率对 HEMP 近地面电磁环境的影响[J].第二炮兵工程大学学报:自然科学版,2015,29(2):1-5.
- [4] 孙蓓云,周辉.两层损耗土壤媒质附近 HEMP 环境[J].核电子学与探测技术,2013,33(5):572-575.
- [5] 谢彦召,王赞基,王群书,等.高空核爆电磁脉冲波形标准及特征分析[J].强激光与粒子束,2003,15(8):781-787.
- [6] CURTIS J O. A computational tool for simulating plane wave reflectance from layered lossy media [R]. ADA431408, 2005.
- [7] 王兵学,雍杨,霍义华,等.基于纹理特征分析的海天线检测算法[J].红外技术,2013,35(1):42-46.
- [8] 艾锐,史泽林,张程硕.低信噪比红外图像直线段检测算法[J].红外与激光工程,2013,42(1):278-284.
- [9] 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(2):220-222,249.
- [10] VON GIOI R G, JAKUBOWICZ J R M, MOREL J M, et al. LSD: a fast line segment detector with a false detection control[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 2010, 32(4):722-732.
- [11] BURNS J B, HANSON A R, RISEMAN E M. Extracting straight lines[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis & Machine Intelligence, 1986, PAMI-8(4):425-455.
- [12] 刘松涛,周晓东,王成刚.复杂海空背景下鲁棒的海天线检测算法研究[J].光电工程,2006,33(8):5-10.
- [13] 王林.基于非局部均值的图像去噪方法研究[D].西安:西安电子科技大学,2014.
- [14] 王丁禾,牛照东,汤达,等.多级分割融合算法提取红外舰船目标潜在区[J].激光与红外,2013,43(4):461-465.
- [15] 陈青华,谢晓方,肖楚琬,等.基于海天/海岸线检测的舰船目标提取方法[J].红外,2011,32(6):39-43.
- [16] 张锋,杨树谦,倪汉昌.舰船红外图象特征提取及目标识别技术探讨[J].红外与激光工程,1991,20(2):21-25.
- [17] PRINCEN J, ILLINCWORTH J, KITTLER J. A formal definition of the Hough transform: properties and relationships [J]. Journal of Mathematical Imaging & Vision, 1992, 1(2):153-168.
- [18] 张森,于文博,沈飞,等.基于改进 Hough 算法的高光谱数据直线检测方法研究[J].上海航天,2017,34(3):27-32.

(上接第46页)

### 参考文献