

DOI:10.19651/j.cnki.emt.2106638

# 立体影像直线特征提取的现状与展望<sup>\*</sup>

张卓彤 郑娇娇

(保定理工学院 保定 071000)

**摘要:** 伴随立体影像直线特征提取技术的迅速发展,针对直线提取技术的综述性文章相对较少,且研究人员很难对其有较为全面掌握的情况。对国内外研究学者提出的立体影像直线提取技术进行了相对系统的概述与归纳。并且从直线特征提取的完整性、抗噪性、高效性和复杂性4个方面通过实验进行总结对比,结果表明,不断改进后的直线特征提取算法可以有效地削弱或者去除直线提取过程中的锯齿效应所带来的影响,从而可快速获取符合直线匹配要求的线特征。因此直线特征作为立体匹配后续高级处理的基础,在影像处理和模式识别等领域的研究具有巨大潜力。

**关键词:** 立体影像;直线提取;Freeman链码;Hough变换;相位编组法;LSD算法

**中图分类号:** TP391.41 **文献标识码:** A **国家标准学科分类代码:** 420.99

## Current situation and prospect of line feature extraction from stereo images

Zhang Zhuotong Zheng Jiaojiao

(Baoding University of Technology, Baoding 071000, China)

**Abstract:** Stereo image line feature extraction technology has also been rapid development, for the current line extraction technology review article is relatively small, and line feature extraction research methods are many, various methods are uneven, most researchers are difficult to have a more comprehensive grasp of the situation. The line extraction technology of stereo image proposed by scholars at home and abroad is systematically summarized. And this paper summarizes and compares the integrity, anti noise, efficiency and complexity of line feature extraction through experiments. The results show that the improved line feature extraction algorithm can effectively weaken or remove the influence of sawtooth effect in the process of line extraction, so as to quickly obtain line features that meet the requirements of line matching. Therefore, as the basis of stereo matching advanced processing, line feature has great potential in image processing and pattern recognition.

**Keywords:** stereo image; line extraction; Freeman chain code; Hough transform; phase grouping method; LSD algorithm

## 0 引言

在遥感影像中,用于识别目标的线特征含有大量的结构信息和纹理信息。线特征作为影像信息重要的中层符号,在影像处理方面极为重要,是立体影像解析和多幅影像之间匹配的基础,同时也是单幅影像处理和研究不可或缺的步骤,因此直线提取一直是摄影测量和计算机视觉领域的研究热点<sup>[1]</sup>。由于影像中很多物体的边缘表现为直线特征,进而直线提取在建筑物提取<sup>[2]</sup>、海岸线提取<sup>[3]</sup>、焊接时缝隙的识别<sup>[4]</sup>、公路影像的直线提取<sup>[5]</sup>、路面断裂的自动检测<sup>[6]</sup>等诸多方面都有广泛的应用。

直线在影像中通常以离散的像素点形式存在,由于大部分影像本身的复杂性等因素,从影像中准确高效地提取

直线存在着一定的难度<sup>[7]</sup>。传统的直线提取方法包括在影像的变换区域空间中对影像进行间接处理;直接在影像空间中对影像的梯度或者灰度信息进行处理;还有通过对直线信息或者边界链码的跟踪、删减、合并而得到检测结果<sup>[8]</sup>。由于传统的直线提取算法在一定程度上存在不足,从而限制了这些方法的应用范围。当前的直线提取算法大都是国内外研究者基于传统直线提取算法的基础上优化过的提取算法,为了使其对直线提取算法及未来直线提取的研究方向有较为全面地了解与认识,将现有的主要算法进行了相对系统的概述与归纳。在分析相关文献的基础上对线特征提取技术进行归类分析与总结,并对不同的直线提取方法进行归纳与阐述,结合实验结果进行比较分析总结不同算法的优缺点。

收稿日期:2021-05-10

<sup>\*</sup> 基金项目:河北省高等学校创新创业教育教学改革研究与实践项目(2017CMCY219)资助

## 1 立体影像直线特征提取研究现状

当前直线提取的算法主要分为 3 大类<sup>[9]</sup>：基于变换域

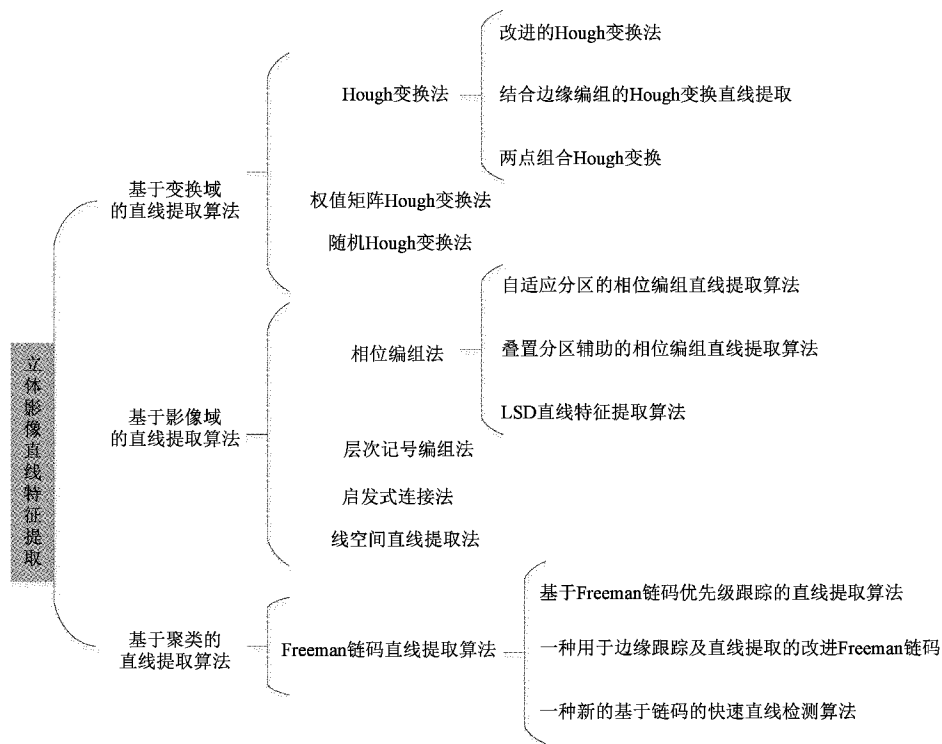


图 1 直线提取算法分类

基于变换域的直线提取算法主要分为 Hough 变换方法<sup>[10-17]</sup>、随机 Hough<sup>[18-20]</sup> 变换方法、权值矩阵 Hough 变换方法<sup>[21-24]</sup>等。1962 年 Paul Hough 以专利著作的方式发表了利用平面标准直线方程的形式进行直线提取，这就是初期 Hough 变换理论的建立。但伴随着 Hough 变换算法的广泛应用，学者们研究发现，当提取出的直线斜率逐渐垂直于  $x$  轴时无法利用平面标准直线方程检测直线，文献[25]提及 1972 年 Duta 将传统 Hough 变换算法中的平面坐标系下的标准方程转换为极坐标系下的极坐标方程，该方法可以针对上述问题进行有效地解决，改进后 Hough 变换算法不仅适用于直线特征还有曲线特征的提取，大大扩展了该算法的适用范围。文献[26]提及 Xu 利用随机抽样的方式进行随机 Hough 变换，该算法改变了传统 Hough 变换的映射方式，并提高了 Hough 变换算法的计算效率。文献[27]提及 1991 年由 Kiryati 等提出的概率 Hough 变换与传统方法不同之处是该算法不需要对影像空间内存在的点信息进行遍历，该处理方式可缩短算法的运算时间，并且降低了算法的复杂性。文献[28]提及 1981 年 Ballard 提出的广泛意义上的 Hough 变换，其对不规则形状的地物都可以提取出比较好的直线结果，该算法的提出在一定程度上使 Hough 变换提取算法的适用范围更加宽广。除此之外，一些研究人员基于传统算法相继提出了

的直线提取算法、基于影像域的和基于聚类的直线提取算法。详细分类如图 1 所示。

基于改进的概率 Hough 变换、基于最小二乘修正的随机 Hough 变换等<sup>[29-30]</sup> 直线提取算法。综上所述，基于 Hough 变换原理的相关改进算法的大致研究方向被逐渐确立。

基于影像域的直线提取算法主要有相位编组法、层次记号编组法和启发式连接法等。文献[31]提及 Burns 等在 1986 年首次提出的一种基于梯度方向的直线提取算法称为相位编组法。文献[32]提及 Desolneux 等结合 Burns 所提出的相位编组法，利用 Helmholtz 原则提出了一种直线检测验证方法，该方法可以很好地去检测错误的直线。文献[33-34]提及 Grompone 等在 Burns 等的基础上引入了构建直线支持区域的方式并提出了一种截然不同的直线检测方法(LSD)，与此同时结合 Desolneux 等提出的算法来进一步验证该方法的准确性和适用性，使该算法可以准确地提取直线特征，并且能够在一定程度上控制直线误检的数目。文献[35]提及 Akinlar 等利用影像边缘相位信息提取直线，对影像里的直线段进行拟合时采用最小二乘原理来获取影像中的直线，即 EDLines，该算法实时性较好。文献[36]提及层次记号编组算法首次提出来自 Boldt 等人，该方法能以较快的速度提取出影像里的直线，但却不容易将识别出的共线短直线进行连接，参数设定较为复杂，很难选择出合适的参数，造成提取的直线分辨率不高。文献[37]提及 Nevatia 等创新的启发式连接方法，在提取

线特征时主要利用影像中各个边缘点的空间邻接关系来连接直线,并且将像素点的梯度相位和对比度等信息加以辅助直线的提取。

基于聚类的直线提取算法主要有 Freeman 链码直线提取算法,早在 20 世纪 70 年代由 Freeman 首次提出,采用链码的方式将 8 个不同方向的基元编码来表示待提取的线条,并将其命名为 Freeman 链码,同时指出组成直线链码必须满足 3 个准则<sup>[38]</sup>。1982 年,我国学者吴立德证明 Freeman 准则是判别一个链码是否为直线链码的充要条件。在实际应用中,基于链码进行直线检测的方法具有计算量小,速度快,实时性的优点,但外界因素的干扰也是不可避免的,因此通过跟踪得到的链码几乎不能满足这 3 条准则,近年来许多学者提出了基于链码提取直线的改进方法。如赵丽科等<sup>[39]</sup>提出的 Freeman 链码优先级直线提取研究,该算法先完成影像的边缘检测,并将检测后的影像根据优先级进行链码跟踪,获取初始结果;然后通过约束条件可以剔除直线的噪声和细节,最后将直线合并,完成直线提取。

## 2 立体影像传统直线特征提取算法评述

传统 Hough 变换是一种从影像空间到参数空间的映射关系,其基本思想是点-线的对偶性,即影像空间共线的点对应在参数空间里相交的线。Hough 变换的优点是将影像空间中难以实现的全局检测问题转移成参数空间中较容易处理的局部峰值检测问题,同时具有明了的几何解

析性、优异的鲁棒性、极佳的抗干扰能力和易于实现等特点。但 Hough 变换算法也存在一定的不足,增加了计算负担的同时也降低了该算法的实时性,在对复杂影像进行大量的数据运算时,导致直线方程中参数计数的无效累计,不仅消耗了大量内存,运算时间也较长,无法处理稍微复杂的影像。

传统相位编组方法可以从场景较复杂的影像中提取出对比度较低的直线特征,直线的端点定位精准,并且处理的复杂程度低、运行速度快,适用于对较大影像的处理需求。与其他算法不同的是,传统相位编组算法受常规因素的影响较小,例如处理过程中阈值的设定以及噪声影响,因此被广泛应用于城市道路提取、海天线检测、计算机视觉、影像医学等方面。但是该方法不足之处是对灰度信息敏感,容易产生断裂的短直线,并且利用影像固定的梯度信息进行分割的方式不能普遍适用于所有影像。

传统的 Freeman 链码提取直线的方法简单,可以检测局部直线的位置、长度、方向等信息,其原理简单,容易理解,适用于实时处理,不足之处是算法性能易受影像内目标边界跟踪算法的制约,容易得到错误混乱的边缘线,同时大部分算法都是针对直线提取进行研究。

对传统的影像直线提取算法存在的优缺点进行客观评价,主要将算法提取直线特征的完整性、抗噪性、高效性、复杂性这 4 个方面作为直线提取算法的评述标准,如表 1 所示。

表 1 不同直线提取算法评述

类别	算法	评述
基于变换域的直线提取算法	Hough 变换	鲁棒性较强,抗噪性能较优,但其计算量很大,耗时较长,不适宜处理复杂影像
	权值矩阵 Hough 变换	存储空间小,计算时间短,直线提取精度不高
	随机 Hough 变换	采取随机化的采样方法,导致大量无效样本的累积,仅适合边缘像素较少的情况
基于图像域的直线提取算法	相位编组法	直线定位准确,算法复杂度低、处理速度快,适用于实时处理,灰度变化敏感,分组误差易造成断裂直线
	层次记号编组法	速度快,能连接共线短直线,参数难选择,分辨率低
	启发式连接法	易产生断裂的短直线,受噪声影响敏感
	LSD 直线提取法	具有较高的稳定性、检测效果好,计算速度快且无需参数调节的优点
基于聚类的直线提取算法	Freeman 链码法	算法简单,检测性好,适用于实时处理,但受目标边界跟踪算法的制约,容易提取错乱的边缘线,抗噪性弱

## 3 实验结果对比分析

本文针对上述传统算法的 4 个主要评述标准进行两组近景和航空影像的实验。实验借助的主要实验平台为 Microsoft Visual Studio 2018,借助计算机视觉 OpenCV 开源库,对上述传统的 4 种直线提取算法以及改进后的算法进行实现,实验过程中通过人工目视判别的方式对获取的直线提取结果进行统计和对比分析,通过实验数据可直观

对比分析出各个算法的优势与不足,衡量不同算法的性能。

从第 1 组直线提取结果不难看出,图 2(a)传统 Hough 变换提取算法容易产生失实直线以及过连接直线,导致获取的端点坐标不准确,而且右上方建筑物边缘角的轮廓线无法被提取;图 2(b)传统 Freeman 链码提取算法获得的部分直线特征正确,但存在个别的错提、漏提现象;图 2(c)传统相位编组算法提取出的直线较上述两种算法有所提高,

但直线发生了严重的断裂,图中建筑物的屋顶本应提取完整的直线发生破损;图2(d)是LSD算法的提取结果,通过对比实验不难发现LSD直线提取算法表现出一定的优势,所获得的直线特征提取结果更为精准。

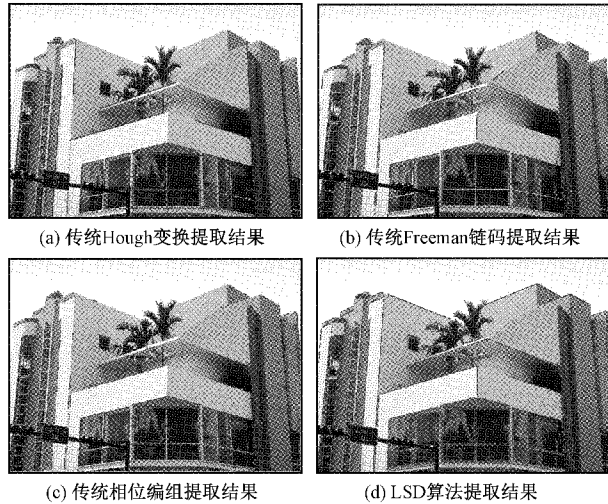


图2 基于不同算法的直线提取结果

为了进一步验证LSD直线提取算法的有效性,将传统的Hough变换、Freeman链码、采用自动调整分区的相位编组算法进行改进,并选用蕴含大量复杂信息的UCX航空影像进行实验,该影像建筑物较密集,建筑物顶部形状较为规则,提取的直线多为建筑物边缘。实验结果如图3(a)~(h)所示,改进后的Hough变换算法、Freeman链码算法、采用自动调整分区的相位编组算法虽然提取的直线特征较传统算法有所提高,但仍需考虑建筑物屋顶复杂处发生的断裂和漏提情况,影响着真实场景中的直线地物特征;而利用LSD直线提取检测器算法可以较为完好地获取影像内的直线特征,并且显示出的直线提取结果较为

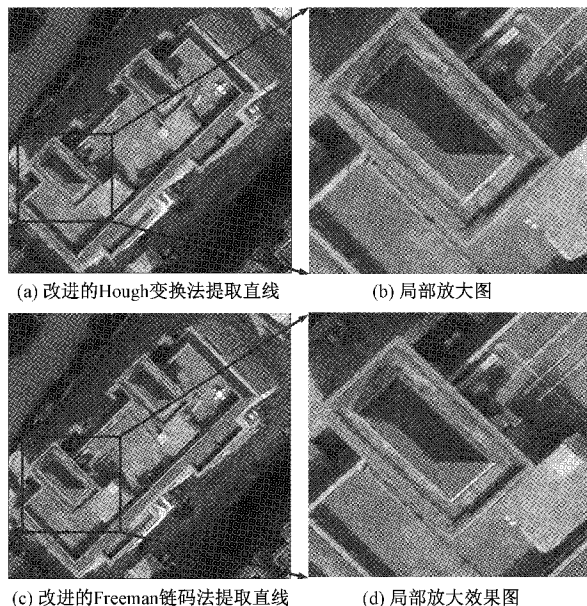


图3 基于不同算法的直线提取结果

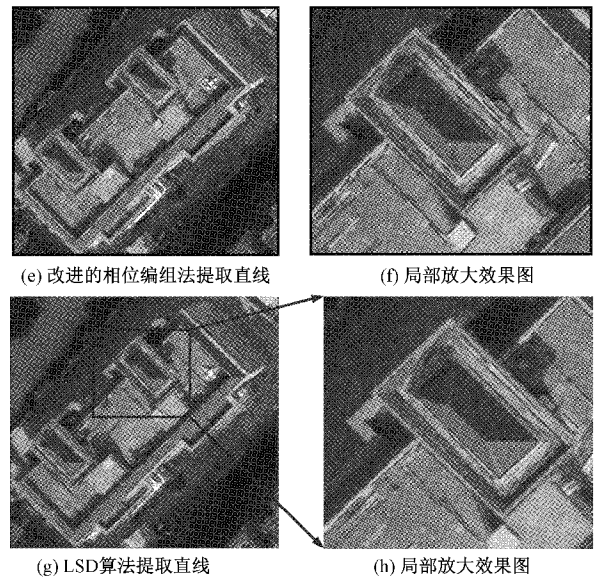


图3 基于不同算法的直线提取结果

稳定,具有普遍适用性,可以为后续直线特征匹配提供更为有力的基础数据。

#### 4 结 论

本文对影像的直线提取技术的研究现状进行相对全面地分析与总结,对具有代表的直线提取算法:基于变换域的Hough变换提取算法、基于聚类的Freeman链码提取算法、基于影像域的相位编组和LSD直线提取算法进行归纳与概述,通过实验结果可得出LSD直线特征提取算法不仅能够有效地削弱或者去除直线提取过程中的锯齿效应所带来的影响,还可以在在一定程度上对检测过程中遇到的断裂直线进行修复,从而可快速获取符合直线匹配要求的线特征。同时对目前直线提取技术中存在的问题进行指出,为未来直线提取研究指明了方向,意在诠释影像直线提取技术的发展与应用,以引起更多研究人员对直线提取技术的应用与关注。由于篇幅所限,加之直线提取技术本身尚处于不断发展状态,文中内容概述与归纳难免不全,许多问题未及深入研究。

#### 参考文献

- [1] 董银文,苑秉成,王航宇,等.一种有效的航拍图像中直线提取算法[J].武汉大学学报(信息科学版),2012,37(2):160-164.
- [2] 朱盼盼,李帅朋,张立强,等.基于多任务学习的高分辨率遥感影像建筑提取[J].地球信息科学学报,2021,23(3):514-523.
- [3] 吴一全,刘忠林.遥感影像的海岸线自动提取方法研究进展[J].遥感学报,2019,23(4):582-602.
- [4] 陈莉,赵海丽,张瑜,等.图像法在管道焊接裂缝检测中的应用[J].长春理工大学学报(自然科学版),2017,40(2):115-117,121.

- [5] 张永宏,何静,阚希,等. 遥感图像道路提取方法综述[J]. 计算机工程与应用,2018,54(13):1-10,51.
- [6] 马建,赵祥模,贺拴海,等. 路面检测技术综述[J]. 交通运输工程学报,2017,17(5):121-137.
- [7] 韩丹,宋伟东,王竞雪. 自适应分区的相位编组直线提取算法[J]. 计算机应用,2013,33(6):1691-1694.
- [8] 郑行家,钟宝江. 图像直线段检测算法综述与测评[J]. 计算机工程与应用,2019,55(17):9-19.
- [9] 李彩林,郭宝云,李畅. 目标轮廓直线特征的高精度提取[J]. 测绘学报,2011,40(1):66-70,83.
- [10] TOONTHAM J, THONGCHAI SURATKRUL C. An object recognition and identification system using the hough transform method[J]. International Journal of Information & Electronics Engineering, 2013, 3(1):292-295.
- [11] 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.
- [12] 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.
- [13] 徐宙,杨会民,刘连照,等. 基于图像处理的指针式温湿度计读数识别方法[J]. 国外电子测量技术,2019,38(7):32-36.
- [14] YAN Z, XU D, TAN M. A fast and robust method for line detection based on image pyramid and Hough transform[J]. Transactions-Institute of Measurement and Control, 2011,33(8):971-984.
- [15] 张礼,魏宇星,张建林,等. 基于 Harris 角点与广义霍夫变换的扩展目标稳定跟踪算法[J]. 国外电子测量技术,2019,38(9):34-39.
- [16] LI W CH, TSAI D M, et al. Defect inspection in low-contrast LCD images using hough transform-based nonstationary line detection[J]. Industrial Informatics, IEEE Transactions on, 2011, 7(1):136-147.
- [17] 王宏健,王晶,曲丽萍,等. 基于模糊自适应 Hough 变换的海洋环境特征提取[J]. 仪器仪表学报,2013,34(1):32-37.
- [18] 吕侃徽,张大兴. 基于改进 Hough 变换耦合密度空间聚类的车道线检测算法[J]. 电子测量与仪器学报,2020,34(12):172-180.
- [19] 傅兴玉,尤红建,付琨,等. 利用多尺度 Hough 变换提取高分辨率 SAR 图像建筑物 L 型结构[J]. 武汉大学学报(信息科学版),2012,37(4):394-398,506.
- [20] 刁燕,吴晨柯,罗华,等. 基于改进的概率 Hough 变换的直线检测优化算法[J]. 光学学报,2018,38(8):170-178.
- [21] 吴定泽,任彬,赵增旭. 基于视觉识别的无线通信物流机器人设计[J]. 电子测量技术,2021,44(5):46-50.
- [22] 乐翔,程建,李民. 一种改进的基于 Radon 变换的运动模糊图像参数估计方法[J]. 红外与激光工程,2011,40(5):963-969.
- [23] 吴丽丽,余春艳. 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.
- [24] CHEN Y, LI Y, ZHANG H, et al. Automatic power line extraction from high resolution remote sensing imagery based on an improved Radon transform[J]. Pattern Recognition, 2016,49(C):174-186.
- [25] ZHAO K, HAN Q, ZHANG C B, et al. Deep Hough transform for semantic line detection [J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2021:249-265.
- [26] BARINOVA O, LEMPITSKY V, KHOLI P. On detection of multiple object instances using Hough transforms[J]. IEEE transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2012,34(9):1773-84.
- [27] XING W. An automatic identifying method of the squall line based on Hough transform[J]. Multimedia Tools and Applications, 2021:1-17.
- [28] 张云鹏. 基于 Hough 变换的点云数据直线特征提取研究[J]. 矿山测量,2019,47(5):62-66,85.
- [29] 贾思棋,李军辉,杜冬梅,等. 基于随机 Hough 变换的线路覆冰厚度图像识别技术[J]. 中国电力,2019,52(12):39-45,53.
- [30] 乔寅骥,肖健华,黄银和,等. 基于最小二乘修正的随机 Hough 变换直线检测[J]. 计算机应用,2015,35(11):3312-3315,3320.
- [31] 倪志鹏,李晓明. 复杂环境中楼梯检测问题研究[J]. 电子测量技术,2019,42(23):158-163.
- [32] ELAKSHER A F. Potential of using automatically extracted straight lines in rectifying high-resolution satellite images[J]. International Journal of Remote Sensing, 2012,33(1):1-12.
- [33] 娄安颖,宋伟东,刘薇. 基于单应矩阵的直线匹配[J]. 遥感信息,2011(3):9-13.
- [34] FERNANDES V, POZ A. A markov-random-field approach for extracting straight-line segments of roofs from high-resolution aerial images[J]. IEEE Journal of Selected Topics in Applied Earth Observations & Remote Sensing, 2016(12):1-13.
- [35] 张宁,王竞雪. EDLines 和 LSD 直线提取算法性能探究[J]. 测绘科学,2020,45(12):116-125.
- [36] TOPAL C, AKINLAR C, GENÇ Y. Edge drawing: A heuristic approach to robust real-time edge detection[C]. International Conference on Pattern Recognition, IEEE, 2010:2424-2427.

- [37] AINI N A, DEWI N, FAKHRUL S O. Biometric signature verification system based on freeman chain code and k-nearest neighbor[J]. Multimedia Tools and Applications, 2017, 76(14): 15341-15355.
- [38] 王竞雪, 宋伟东, 赵丽科, 等. 改进的 Freeman 链码在边缘跟踪及直线提取中的应用研究[J]. 信号处理, 2014, 30(4): 422-430.

- [39] 赵丽科, 宋伟东, 王竞雪. Freeman 链码优先级直线提取算法研究[J]. 武汉大学学报(信息科学版), 2014, 39(1): 42-46, 122.

#### 作者简介

张卓彤, 工学硕士, 讲师, 主要研究方向为 GPS 测量、大地测量、工程测量等。

E-mail: zhang2200191@163.com