

图像边缘提取算法在第三次土地调查中的应用

陈思吉¹, 王晓红^{2*}, 葛义攀¹, 李 闯¹, 李运川¹

(1. 贵州大学 矿业学院, 贵州 贵阳 550025;

2. 贵州大学 林学院, 贵州 贵阳 550025)

摘 要: MATLAB 是美国 MathWorks 公司旗下的商用数学软件, 该软件因其出众的计算能力和便捷的绘图能力在算法开发及数据可视化等领域应用广泛。在第三次全国土地调查的背景下, 针对第三次全国土地调查的部分脱敏统筹影像数据, 通过当前应用比较广泛的五种边缘提取算法: Sobel 算法、Roberts 算法、Laplace 算法、Prewitt 算法和 Canny 算法进行实验对比。分别对所选统筹脱敏实验影像中的指定地物进行严谨、精准、高效的特征边缘检测, 分析不同算法的图像处理效果, 并从算法的复杂程度、噪声敏感度、定位精度、信噪比等方面全面深入地对比五种算法在第三次全国土地调查中呈现的特点进行总结分析, 并对五种常规图像边缘检测算法在第三次全国土地调查及其类似项目中应用的可行性和前景进行探讨与展望。

关键词: MATLAB; 边缘检测; 特征点; 同名点; 喀斯特地区

中图分类号: TP751

文献标识码: A

文章编号: 1673-629X(2020)10-0161-06

doi: 10.3969/j.issn.1673-629X.2020.10.029

Application of Image Edge Extraction Algorithm in Third National Land Survey

CHEN Si-ji¹, WANG Xiao-hong^{2*}, GE Yi-pan¹, LI Chuang¹, LI Yun-chuan¹

(1. School of Mining, Guizhou University, Guiyang 550025, China;

2. School of Forestry, Guizhou University, Guiyang 550025, China)

Abstract: MATLAB is a commercial mathematical software belonging to MathWorks of the United States, which is widely used in fields such as algorithm development and data visualization due to its outstanding computing power and convenient drawing capabilities. Under the background of the third national land survey, we focus on the partial desensitization of the third national land survey to coordinate the image data. The experimental comparison is made between Sobel algorithm, Roberts algorithm, Laplace algorithm, Prewitt algorithm and Canny algorithm. Rigorous, accurate and efficient feature edge detection is carried out for the designated features in the selected coordinated desensitization experimental images, and the image processing effects of different algorithms are analyzed. The characteristics of the five algorithms in the third national land survey are summarized and analyzed comprehensively and deeply from the aspects of complexity, noise sensitivity, positioning accuracy and signal-to-noise ratio. The feasibility and prospect of applying five conventional image edge detection algorithms in the third national land survey and similar projects are discussed and prospected.

Key words: MATLAB; edge detection; feature points; points of the same name; Karst area

0 引 言

土地是人类赖以生存的主要载体, 其可持续利用状态是直接影响一个地区甚至一个国家持续发展潜力的重要因素, 基于土地利用保护的重要性, 国家开展了一系列土地保护性调查及治理行动, 其中全国土地调查就是重要的保护性调查之一。

土地调查是一项举全民之力进行的重要调查, 获

取准确全面的土地使用信息是保证国民经济稳步健康发展、实现国土资源统一化、高效化管理的内在需求^[1]。第一次全国土地调查从 1984 到 1997 年之间进行, 第二次全国土地调查自 2007 年到 2009 年间进行, 再到 2017 年 10 月至今的第三次全国土地调查。土地调查的目的就是摸底全国土地利用目前存量, 全面细化国土利用的基础数据, 对土地资源利用情况进行全

收稿日期: 2019-12-06

修回日期: 2020-04-10

基金项目: 贵州省自然科学基金(黔科合 J 字[2014]2070); 贵州省科技计划课题(黔科合 LH 字[2014]7649)

作者简介: 陈思吉(1993-), 男, 硕士研究生, CCF 学生会会员(G1308G), 研究方向为测绘多源数据融合建模和数字图像算法; 通讯作者: 王晓红(1970-), 男, 博士, 副教授, 研究方向为 3S 技术应用和遥感图像处理。

面细化和变更调查,掌握全国范围内全面的土地利用资源状况。

图像边缘提取一直是计算机视觉领域近年来研究的重点和热点,随着相关领域研究人员对图像边缘提取的深入研究,一些新理论新算法也不断出现,同时也反向助推了边缘提取技术的发展。

在第三次全国土地调查的背景下,该文利用第三次全国土地调查外业统筹准备的部分数据进行图像边缘提取实验及算法实现,图像边缘提取算法应用于第三次全国土地调查图像处理中可有效提取地物边缘特征,有利于地物判别及其轮廓界限识别。

实验的主要思路是:将原始影像利用 MATLAB 工具箱功能,对图像分别采用五种不同经典算法进行处理并实现,对比分析五种经典算法,对 MATLAB 边缘提取算法在第三次全国土地调查中的应用及其前景进行探讨。

1 第三次全国土地调查目标

根据《国务院关于第三次全国土地调查的通知》精神,第三次全国土地调查是以 2019 年 12 月 31 日为标准时间点。第三次全国土地调查的目标是:基于原有成果,进一步补充并细化各类土地利用信息,全面、客观、实时地了解各类土地资源变化动态,调整并优化现有土地调查制度,实现对土地使用情况的及时化、高效化、精准化监控。加强信息管理,致力于生态文明建设,科学规划空间及土地资源,为国家开展宏观调控、生态建设等一系列工作提供翔实、全面、客观的基础数据^[2]。

根据自然资源管理制度改革的总体需求,第三次全国土地调查不单单在严格遵循《土地利用现状分类》^[3-4]的基础上实地明确地类,严禁出现地类遗漏或者重叠等问题,还应标明耕地、草地等各类土地的使用情况、管理性质等。复合经营需要重叠的类型,同时促进相关的自然资源专业调查。

按照国家全面控制与地方详细调查相结合的原则,在各级高分辨率航空航天遥感图像采集的基础上,利用现有的资源调查成果和行业管理数据,采用图像解释、信息提取和“3S”综合实地调查相结合的方法。调查了国内城乡土地利用类型、面积、权属和分布情况。利用“互联网+”技术验证测量数据真实性,结合大数据、云计算、互联网等新技术建立土地测量数据库。经县、市、省、国家三级逐级质量检查合格后,统一各级土地测量数据库和各类专用数据库。在此基础上,开展了测量成果汇总分析、标准时间点统一变更、测量成果后评价等工作^[5]。

2 五种图像边缘检测算子及其原理

在数字图像处理的理论中,图像边缘是图像的基本特征之一,图像边缘检测不仅仅是边界的检测,更是两个区域发生属性突变的地方。图像边缘检测从根本上来讲是通过科学合理的算法对图像中某类特定对象及其背景的分界线进行准确、高效的检测,其主要步骤可分为图像分析、图像识别、边界重构和提取。目前,数字图像的图像边缘检测方法主要可以分为三类:一类是基于某种固定的局部运算方法,这类方法主要基于局部简单化数学基础及其原理产生,如微分积分法和拟合法,这类方法属于经典的边缘检测方法;第二类是基于能量最小化准则下的全局提取方法,其基本思路为运用严密数学理论方法对问题进行合理、准确分析,给出其一维代价函数最为最优化检测依据,从全局最优的观点来进行图像的边缘检测,这类方法从数学逻辑上来讲较为严密,如神经网络分析法和主成分分析法等;第三类方法是类似于小波变换、数学形态学等近年来迅速发展起来的高新技术为支撑的新型图像边缘检测方法,这类算法可以将传统的简单的图像边缘检测理论和最新的理论方法相结合,再融入最新的发展的深度学习技术,最终可为图像边缘检测理论方法在人工智能学习方面的基础方法提供参考依据。

由图像边缘的概念能够了解到图像边缘即为图像灰度出现显著变化的位置^[6]。基于图像边缘的特征和梯度理论的算法原理如下:

设:

$$\nabla f(x, y) = \frac{\partial f}{\partial x}i + \frac{\partial f}{\partial y}j = f_x(x, y)i + f_y(x, y)j$$

同时:

$$E(x, y) = \sqrt{f_x^2(x, y) + f_y^2(x, y)}$$

为梯度 $\nabla f(x, y)$ 的幅值, $E(x, y)$ 可以作为边缘提取算子。为方便理解记忆,可简化计算将 $E(x, y)$ 定义为两者绝对值之和,即:

$$E(x, y) = |f_x(x, y)| + |f_y(x, y)|$$

依据上述理论,衍生出众多图像边缘提取算法。关于图像灰度的变化动态,可通过图像灰度函数的梯度进行精准、客观地表述^[7],所以,图像的边缘提取算法能够通过操作便捷、实用性良好且当前应用比较广泛的图像局部微分技术进行获取。要想实现图像匹配,首先需要图像边缘进行科学合理地提取,其原因在于作为位置的具体反映,图像边缘无法灵敏、准确地感应灰度变化,所以,可将其看作是匹配的特征点^[8]。

2.1 Sobel 边缘检测算子

Sobel 边缘检测算子是当前应用比较广泛的一种离散微分算子,多被应用于求解图像灰度函数的近似梯度,利用图像像素点计算出相应梯度向量及其范数,

基于卷积实现水平方向和垂直方向上的边缘进行检测^[9]。Sobel 算子的模板如 G_x 和 G_y 所示,其中两模板中的前者可以检测出数字图像中水平方向的边缘,后者则可以检测出数字图像中垂直方向的边缘。在实际的应用当中,每个像素点取两个模板卷积的最大值作为该像素点的输出值,运算结果是一幅边缘检测图像。其原理如下:

根据 Sobel 边缘检测算子的计算方法,可设 dx 、 dy 分别表示 Sobel 水平方向边缘的水平核及垂直方向边缘的垂直核,那么则有:

$$S = \sqrt{(dx^2 + dy^2)}$$

根据上式,即可得到其 3×3 型 Sobel 算子规算模板:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

其中,一个核对 (dx) 通常的水平边缘响应最大,而另外一个核对 (dy) 通常的垂直边缘响应最大,两卷积的最大值作为该点的输出值。Sobel 边缘检测算子实际就是通过权重不同的差异化特征来扩大差异。

2.2 Roberts 边缘检测算子

Roberts 边缘检测算子是经典的边缘检测算子之一,属于一种一阶的梯度算子,运用交叉的差分来对梯度进行表示标定,是一种采用局部差分算子检测边缘的常规算子,检测出图像发生突变的边界,对具有陡峭的低噪声的图像效果尤为显著。Roberts 边缘检测算子的作用机制简单来讲是通过局部差分完成边缘检测,将对角线方向邻近的两像素之差定义为梯度幅度,以此为基础进行边缘检测^[10],进而实现数字图像高精度的图像边缘检测。其基本的原理及理论方法如下:

对于一幅原始图像 $f(x, y)$, 设定 Roberts 边缘检测输出目标图像为 $g(x)$, 则:

$$g(x, y) = \{ [f(x, y) - f(x+1, y+1)]^2 + [f(x+1, y) - f(x, y+1)]^2 \}^{\frac{1}{2}}$$

其中, $f(x, y)$ 、 $f(x+1, y)$ 、 $f(x, y+1)$ 和 $f(x+1, y+1)$ 分别为具有整数像素基本单元的输入图像的四维坐标。

根据上式,即可得到其 2×2 型 Roberts 算子模板:

$$G_1 = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & -1 \end{bmatrix}$$

$$G_2 = \begin{bmatrix} 0 & -1 \\ -1 & 0 \end{bmatrix}$$

2.3 Laplace 边缘检测算子

Laplace 边缘检测算子属于 n 维欧几里德空间中的一个二阶微分算子。Laplace 边缘变换实质就是对于原始图像进行锐化,使得图像效果增强和灰度反差增强,通过增强差异化的手段来辨别数字图像属性差异的界限,进而使图像变得清晰^[11]。

Laplace 边缘检测的变换函数是各向同性的二阶导数,根据其基本原理可定义为:

$$F(x) = \frac{\partial^2 f}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 f}{\partial y^2}$$

利用 Laplace 边缘检测变换函数在一阶导数存在极值的位置,二阶导数为 0 的特性对数字图像的边缘进行科学、合理的检测。但是,因其函数在二阶导数为 0 时不一定是边缘位置的情况,可以将 Laplace 边缘检测算子分为模板和变形模板,分别定义为 G_1 模板和 G_2 变形模板,如下所示:

$$G_1 = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & -4 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$G_2 = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & -8 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

通过对上述的数字图像进行 Laplace 边缘检测变换,将最初原始图像 $f(x, y)$ 进行数字图像的锐化处理,然后进行微分运算,再把处理之后图像和和原始图像进行叠加,得到最终的 Laplace 边缘检测算子检测结果,其 Laplace 变换可表示为:

$$L(x, y) = \begin{cases} f(x, y) - \nabla^2 f(x, y), & t \leq 0 \\ f(x, y) + \nabla^2 f(x, y), & t > 0 \end{cases}$$

其中, t 为邻域中心比较系数,一般而言,邻域中心比较系数根据经验值和实际图像质量而定,一般经验取值建议 0 到 1 之间。

2.4 Prewitt 边缘检测算子

Prewitt 算子是一种一阶微分算子,在水平和垂直方向分别进行检测边缘,利用上下左右四个维度邻近像素的灰度差值,进行极值边缘检测并去掉部分伪边缘^[12]。Prewitt 算子的基本原理是就图像空间而言,利用双向模板和图像进行邻域卷积来完成的,其中双向检测模板分别为水平边缘检测模板和垂直边缘检测模板,它们分别作用于水平边缘方向和垂直边缘方向。

根据 Prewitt 算子定义,可以设定其原始图像为 $f(x, y)$, 那么 Prewitt 算子表示为:

$$G(i) = | [f(i-1, j-1) + f(i-1, j) + f(i-1, j+1)] - [f(i+1, j-1) + f(i+1, j) + f(i+1, j+1)] |$$

$$G(j) = [f(i-1, j+1) + f(i, j+1)] -$$

$$[f(i+1, j+1) + f(i-1, j-1) + f(i, j-1) + f(i+1, j-1)]$$

则,

$$P(i, j) = \begin{cases} \max[G(i), G(j)] \\ G(i) + G(j) \end{cases}$$

其中水平检测和垂直检测模板分别为:

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$G_y = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 0 & 0 & 0 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

Prewitt 梯度算子法的计算顺序就是先求其梯度的平均,再求差分来求梯度,最终达到极值检测边缘的目的。

2.5 Canny 边缘检测算子

Canny 算子是 John Canny 于 1986 年在 PAMI 顶级期刊《A Computational Approach to Edge Detection》一文中最早提出的图像边缘检测算法,目前已经成为数字图像处理领域经典算法之一。

Canny 边缘检测算子是一种多级检测算子,其基本原理和基本处理流程为:对原始图像进行高斯平滑滤波,以平滑图像,滤除噪声;然后分别计算每个像素点的梯度强度和方向,再采用非极值(non-maximum suppression)抑制技术消除杂散边缘影响,再利用双阈值(double-threshold)检测来确定真实的和潜在的边缘,最后通过抑制孤立的弱边缘最终完成边缘检测,得到 Canny 边缘检测处理图像^[13-15]。

3 实验及结果分析

3.1 实验数据介绍

实验在第三次全国土地调查的背景下进行,利用第三次全国土地调查统筹中“不一致图斑”举证阶段的部分脱敏影像数据进行图像边缘检测提取实验及算法实现。该实验结合第三次全国土地调查及实验的实际情况,选取局部影像进行,数据已进行脱敏处理,数据中包含线状河流及道路、农村居民建筑物、耕地和其他植被等众多基础地理信息,实验区域为第三次全国土地调查中贵州省区域内常见喀斯特地形地貌区域。

3.2 实验技术路线

实验所选取实验区已脱敏局部影像,如图 1 所示,先对原始图像分别进行图像降噪和中值滤波处理以得到预处理图像,再分别对预处理图像进行 Sobel、Roberts、Laplace、Prewitt 和 Canny 算子边缘检测。该实验的技术路线如图 2 所示。

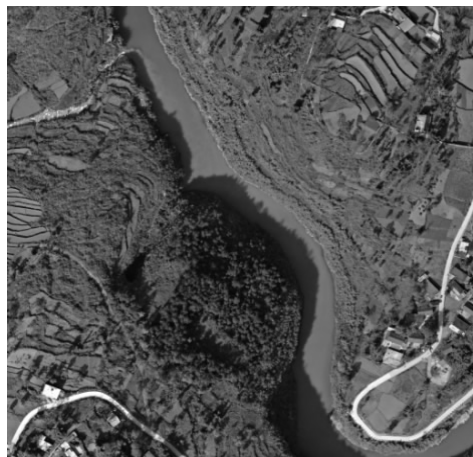


图 1 已脱敏实验原始图像

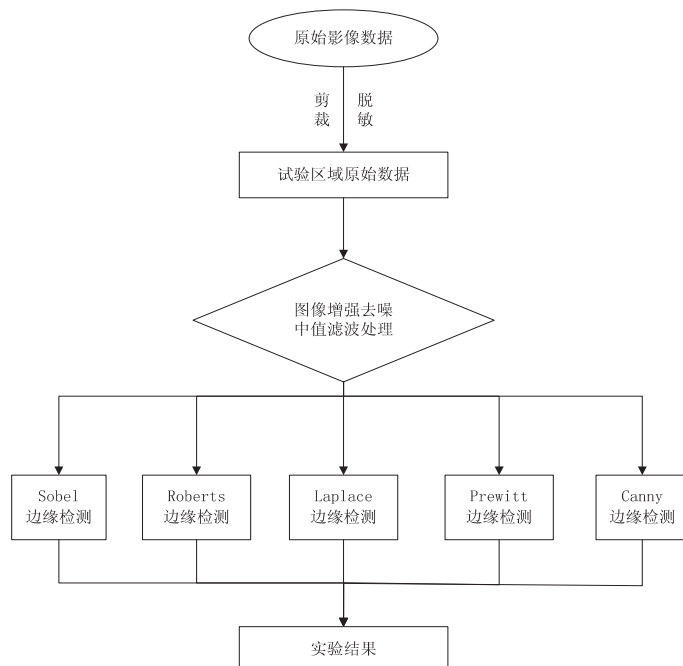


图 2 实验技术路线

实验数据经过上述实验技术路线处理之后,得到 的实验结果如图 3 所示。

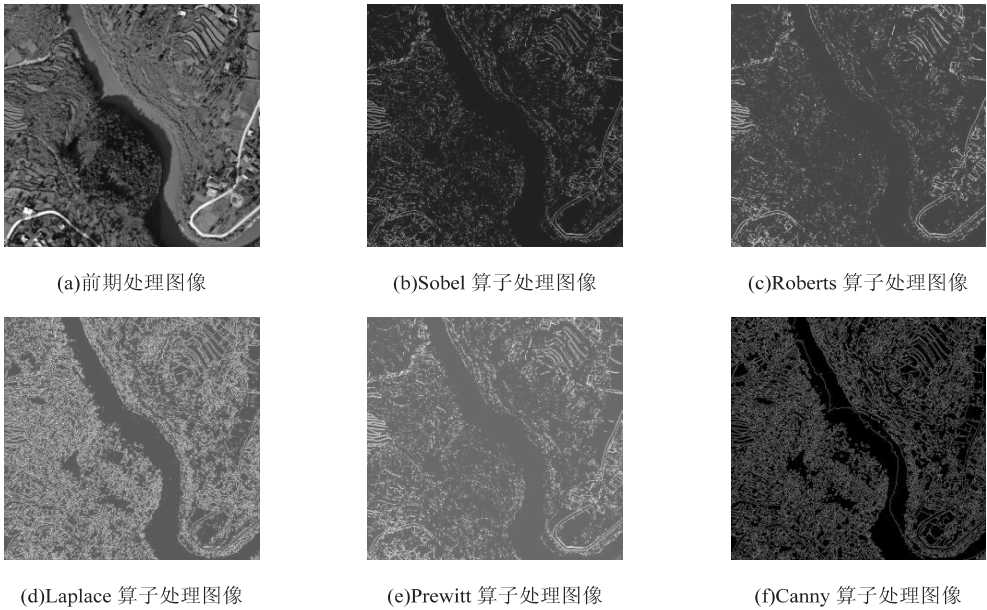


图 3 实验结果

3.3 实验结果分析

通过对图像进行 Sobel、Roberts、Laplace、Prewitt

和 Canny 算子图像边缘检测,五种检测算子对比实验结果评价汇总情况如表 1 所示,可以作如下总结:

表 1 五种检测算子评价汇总

序号	算子名称	阶数	噪声敏感度	定位精度	信噪比
1	Sobel 算子	一阶	较高	低	低
2	Roberts 算子	一阶	较高	较高	高
3	Laplace 算子	二阶	高	高	低
4	Prewitt 算子	一阶	较高	低	高
5	Canny 算子	一阶	高	较高	较高

(1)Sobel 算子进行边缘检测是求一阶导数,其对于数字图像每个像素,都分别考虑它的上、下、左、右相邻点的灰度的加权差值,与之接近的像素点的权大,一般来说,距离越远,产生的影响越小。Sobel 算子处理图像实验发现其产生的边缘有强弱,抗噪性好。

(2)Roberts 算子用于边缘检测时,其作用机制是按照任意一对互相垂直方向的差分计算梯度,通过对角线方向相邻两像素之差进行处理^[16],进而进行图像边缘检测。Roberts 算子最突出的优势是定位精准,不过由于其处理边缘相对较为粗糙,所以,对噪声更为敏感一些,适用于边缘明显且噪声较少的图像边缘提取,它边缘定位的精度不是很高。Roberts 算子处理图像实验发现其处理结果对于边缘检测时边缘定位准确,可用于边缘检测的精确定位。

(3)Laplace 算子是 n 维欧几里德空间中的一个二阶微分算子,因其检测通道阈很窄,故对边缘敏感,其检测部分边缘可能为噪声的边缘。拥有高精度的边缘提取的同时,丢失了边缘的方向信息,且加倍了噪声对于检测的影响。Laplace 算子处理图像实验结果表明,

其对于边缘的细节检测效果显著。

(4)Prewitt 算子进行边缘检测原理是利用 Prewitt 算子作为边缘样本算子,算子由理想边缘子图像构成,分别依次进行图像检测,是通过取像素平均实现其对噪声的抑制作用,因为其自身原因,所以 Prewitt 算子对边缘定位性能上有所欠缺。Prewitt 算子处理图像实验结果表明,其算子是良好的噪声抑制算子,可利用其机理对提取边缘噪声进行抑制。

(5)Canny 算子进行边缘检测其原理近似于用高斯函数求梯度^[17-18],接近于四个指数函数线性组合求解最佳边缘算子,处理之后产生的边缘很细。Canny 算子处理图像实验结果表明,它具有良好的信噪比,定位精度和单边缘响应也较好,是一阶微分检测中效果最佳的算子之一。

4 结束语

通过基于第三次全国土地调查局部影像进行上述算子处理,不难发现,Roberts 算子定位比较精确,但不包括平滑,噪声敏感性强;Sobel 算子和 Prewitt 算子均

为一阶微分算子,不过,值得注意一点是前者属于加权平均滤波,而后者则属于典型的平均滤波,对于灰度差值低的噪声,这两种算子检测效果明显,但是不适用于混合多复杂类型的噪声;Laplace 算子则为二阶微分算子,对图像边缘细节的检测效果显著;Canny 算子是最佳一阶微分检测算子,对于边缘定位精度和边缘提取细节均具有良好效果。

在第三次全国土地调查工作开展过程中,为实现对线状地物以及边界线等各类明显地块的高效化、便捷化、精准化、自动化的提取,可以对原始影像进行预处理,之后再分别进行几种算子的边缘检测,从而检测出相应边缘,减少人为干预所产生的边界判别错误情况,提高地物辨别的准确率。

通过对第三次全国土地调查局部图像边缘提取算法研究,一方面对第三次全国土地调查工作进行总结,并结合其特点进行技术历程和方法上的创新,通过科研和生产实践相结合的方式提出新方法;另一方面,尝试将边缘提取算法用于第三次全国土地调查生产过程之中,为今后此类工作的开展提供较好的技术思路借鉴。

参考文献:

- [1] 高权忠,赵境境,汪学琴.第三次全国土地调查中线状地物面化方法研究[J].地理信息世界,2018,25(6):117-122.
- [2] 国务院第三次全国国土调查领导小组办公室.第三次全国国土调查实施方案:TD/T 1056-2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [3] 全国国土资源标准化技术委员会.土地利用现状分类:GB/T 21010-2017[S].北京:中国标准出版社,2017.
- [4] 全国国土资源标准化技术委员会.第三次全国国土调查技术规程:TD/T 1055-2019[S].北京:中国标准出版社,2019.
- [5] 全国国土资源标准化技术委员会.第三次全国土地调查总体方案:TD/T 1055-2018[S].北京:中国标准出版社,2018.
- [6] 连静.图像边缘特征提取算法研究及应用[D].长春:吉林大学,2008.
- [7] 刘文振,傅惠南,何金彬.结合RPCA和自适应Mean-shift的图像边缘检测[J].计算机技术与发展,2019,29(11):27-31.
- [8] 何小虎.基于优化的蚁群图像边缘检测算法研究[J].计算机技术与发展,2017,27(2):60-63.
- [9] 王红雨.基于模糊集理论的高鲁棒性图像边缘提取算法研究[C]//中国自动化大会(CAC2018)论文集.西安:中国自动化学会,2018:7.
- [10] 叶铂.基于统计学方法的水面目标特征提取与识别方法的研究[D].哈尔滨:哈尔滨工程大学,2010.
- [11] 段振云,单紫薇,赵文辉,等.数字图像边缘的快速提取算法研究[J].组合机床与自动化加工技术,2017(12):12-14.
- [12] 张博,王敏刚,马忠强,等.基于Matlab的改进边缘提取算法[J].无线电通信技术,2017,43(4):26-29.
- [13] CANNY J. A computational approach to edge detection[J]. IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence,2009,8(6):679-698.
- [14] 肖瑞莹,杨帆,董正宏.用于Canny算子边缘检测的广度优先算法研究[J].计算机技术与发展,2018,28(6):39-42.
- [15] 张心言,赵冉阳.基于Canny的自适应边缘检测算法及性能评估[J].计算机技术与发展,2015,25(11):32-37.
- [16] 李婷姣.基于CNN奶牛数字图像边缘提取的研究与应用[D].保定:河北农业大学,2011.
- [17] 范晔,费胜巍,储有兵.基于Canny算子的改进型图像边缘提取算法[J].自动化与仪表,2019,34(1):41-44.
- [18] 肖瑞莹,杨帆,董正宏.用于Canny算子边缘检测的广度优先算法研究[J].计算机技术与发展,2018,28(6):39-42,48.