

基于道路轨迹预测模型的遥感影像分类方法研究

张名华¹, 张洪军^{2*}, 石建², 赵春丽¹, 郑伟安², 李天鹤²

(1. 龙口市自然资源和规划局, 山东 烟台 265700; 2. 山东省国土测绘院, 山东 济南 250102)

摘要:本文研究了基于道路轨迹预测模型的遥感影像分类方法,回顾遥感图像道路提取的研究背景,分析了影响道路提取的关键因素,包括图像分辨率和算法的自动化程度。文章详细阐述了道路要素的遥感影像提取方法,包括快速道路、主干道和次干道的提取策略。在快速道路提取方面,采用面向对象分类思想和规则集构建技术;在主干道提取中,则利用循环规则集构建和数学形态学处理相结合的方法;对于次干道提取,文章提出了图像预处理和次干道线特征提取的步骤。这些方法为遥感影像中的道路分类和提取提供了有效的技术支撑。

关键词:高分辨率遥感影像;道路提取;道路轨迹预测模型

中图分类号:P208

文献标识码:A

doi:10.12128/j.issn.1672-6979.2024.08.006

引文格式:张名华,张洪军,石建,等.基于道路轨迹预测模型的遥感影像分类方法研究[J].山东国土资源,2024,40(8):37-41.ZHANG Minghua,ZHANG Hongjun,SHI Jian, et al. Study on Remote Sensing Image Classification Method Based on Road Trajectory Prediction Model[J].Shandong Land and Resources,2024,40(8):37-41.

0 引言

城市的发展与经济密切相关,而道路作为重要的地理元素在其中扮演着关键角色。因此,及时更新和准确记录道路信息对有效城市规划至关重要。通过高分辨率遥感影像来识别道路要素具有重要意义^[1-5]。随着时间的推移,高分辨率遥感图像数据的复杂性逐渐提升。这些数据详尽地呈现了道路和其他目标物体,并融合了一系列潜在干扰因素,比如街道两旁的树木、建筑物投射下的阴影、行驶车辆、交通标志以及道路标线等各种信息。在当今社会背景下,借助现代科技手段对高分辨率遥感图像中的道路进行提取具有重要的科学意义。

1 遥感图像道路提取的研究

1.1 遥感图像道路提取特征

高分辨率遥感图像具有以下特征:道路在图像

中呈带状分布,并且在一定长度上,宽度变化不大。通过颜色或灰度差异可观察到明显的边缘信息突出,道路通常具有相对较长的长度,因此可以与非道路目标区分开来^[6]。

1.2 影响道路提取的因素

1.2.1 图像分辨率

地物在图像中的表现形式受分辨率直接影响,增加分辨率可以使各种地物的细节清晰可见,而低分辨率图像则可能导致这些细节模糊或消失。然而,高分辨率图像虽然提供了更多道路细节信息,但也会放大各种地物对道路的干扰,从而对道路提取产生影响^[7-8]。相比之下,在低分辨率图像中,道路呈线状结构,以黑色细线的形式表现出来,并与背景灰度有明显差异,它具有一定的方向和长度,可以简单地将其抽象为线^[9]。

在高分辨率图像中,道路通常呈现为亮度变化明显且被双侧边缘包围的暗长条状区域,同时还存在各种干扰因素,如图像中天然的斑点噪声、道路旁

收稿日期:2024-04-11;修订日期:2024-05-29;编辑:王敏

基金项目:山东省自然资源厅 2024 年省级基础测绘项目(鲁自然资字[2024]32 号)

作者简介:张名华(1974—),女,山东龙口人,高级工程师,主要从事测绘地理信息、土地登记等方面工作;E-mail:119932336@qq.com

* 通讯作者:张洪军(1984—),男,山东济阳人,高级工程师,主要从事基础测绘数据生产与项目管理等工作;E-mail:361852524@qq.com

边树木和建筑物的遮挡,以及道路上车辆、护栏和天桥等金属物体的强反射等。这些干扰因素会破坏道路在图像中的连续性,并增加道路提取的难度^[10]。在高分辨率图像中,道路具有明显且平行的双侧边缘特征,并且其宽度基本保持恒定,这是进行道路提取时可以利用的先验信息之一^[11-12]。

1.2.2 算法的自动化程度

道路提取可以根据算法的自动化程度分为半自动道路提取和自动道路提取两类^[13]。半自动算法主要基于图像中线状地物的形状特征和灰度特征进行整体优化设计。道路的自动定位提取是通过局部或全局方法对图像中道路特征进行分析实现的^[14-16]。国内外许多专家和学者在自动道路提取算法上进行了大量研究和探索,并取得了一定成果,例如 HeiPte 提出的分级式多分辨率方法^[17]、Barozhar 和 Cooper 提出的结合最大后验估计和动态规划的提取算法,以及基于窗口模型特征的提取算法等^[18]。

2 道路要素的遥感影像提取方法

城市道路分 4 个等级,快速路(城市快速路)、主干道、次干道、支路,主要的区别是速度,以及涉及的车速和断面的布置。设计车速:快速路 60 km/h 到 100 km/h,城市主干道 60 km/h 到 80 km/h,次干道 40 km/h^[19]。不同道路的遥感影像表现也不相同,快速路、主干道、次干道在图像上规律性更加明显。

本文主要对快速路、主干道、次干道展开研究。

2.1 快速道路提取方法

2.1.1 面向对象分类思想

在分类影像时,面向对象的方法与传统的影像分析方式明显不同。它通过详细划分图像、将噪声区域整合到特定图像对象中,并利用目标物体独特特征消除这些干扰。典型的面向对象影像分类流程包括 2 个关键步骤:对象生成和要素提取^[20]。

利用异质性最小的区域合并算法,多尺度影像分割方法对影像进行有效切割。分割尺度直接影响多边形对象的大小,根据具体情况灵活选择不同的分割尺度数值来完成多尺度影像分割任务,这些值直接决定了生成对象层内多边形面积和数量^[21],决定其质量的均值性因子包括颜色因子和形状因子 2

个属性因子。

隶属度函数是一种模糊函数,用于准确定义影像对象与特定类别之间的归属程度。通过利用逻辑运算符的简单组合,可以计算隶属度值,实现类变量分配。隶属度函数的引入使得处理不同向量空间和取值范围的特征变得可能;进而,它们将更容易地组织和编辑每个特定类别中的特征^[22]。利用隶属度函数的方法可以有效地组合不同特征范围之间的信息,为分类任务提供有益的辅助工具。

2.1.2 规则集构建

在易康环境中,运用基于面向对象的分类理念结合多尺度分割技术来处理快速路所在区域影像。由于快速路与周边地物在光谱方面具有显著差异,利用这种差异性能够有效地进行道路分割。观察和分析快速路的长宽比、长度以及光谱特征等属性,并建立起知识库,从而更全面地提取出快速路信息。考虑到快速路与其周围环境具有规则形状和明显光谱对比的特点,在图像分割过程中,能够更准确地将快速路与其他区域加以区别。

通过分割技术,可以根据道路的几何特征,如长宽比和长度,进行识别,并借助光谱特征来区分道路与其他地物对象。除了考虑长度、宽长比、NDVI 指数等基本参数之外,在结合相似性特征设定适当阈值的基础上,建立高效快速的道路元素提取解译专库,实现更精确的道路信息提取和解译。

2.2 主干道提取方法

2.2.1 循环规则集构建

在遥感影像中,元素物体的内部同质性常导致边界不连续。为解决这一问题,通常将整个影像划分为多个特定含义的子区域,有助于影像分割。在进行道路要素分类提取之前,必须确定适用的分割参数用于处理选定的影像,以确保最终分割结果中道路要素各自独立,这样可有效促进后续道路提取工作的准确性和高效性。

在易康环境下,运用整合相邻要素和标准化植被指数等重要因素的方法来建立一个循环式知识储备体系。该体系的目标是实现道路起点和终点之间的无缝连接,并推动道路地区提取任务的有序进行。

在图 1 中呈现的是初步提取出的道路。在这一阶段,识别道路面临着周围高楼建筑物投射出的影子以及边界凸显部分干扰等光谱异质物体的挑战,利用形态学膨胀腐蚀运算对初步提取的道路进行毛

刺去除及填补缺失部分,在 ArcGIS 中利用编辑工具对剩余的凸出进行处理,达到道路边界的平滑效果,最终完成道路要素的提取。



图 1 初步提取的道路要素

2.2.2 数学形态学处理

图像的质量可通过形态学操作进行预处理来提升,这一过程包括消除小黑色间隙、平滑边界毛刺以及清除白色亮点噪声等方法。此外,还能对图像特征和几何参数进行详细描述和定义,例如周长、面积、方向和骨架结构等内容进行完善分析。

A 是待处理的原图像, B 是定义的结构元素, Z 是膨胀操作后新图像中的像素点。则 B 对 A 进行的膨胀运算定义为:

$$A \oplus B = \{Z \mid (\hat{B})_z \cap A \neq \emptyset\} \quad (1)$$

在对 A 进行 B 的扩展过程中,首先需要将 B 的坐标原点旋转 90 度以得到 $-B$,然后再将图像平移 X 。根据这个背景设定,可以描述 A 和 B 之间的图像联系是存在非零集合。换言之,通过基本结构的 4 个元素 B 快速展开逻辑运算所显示出来的图像 A 集合,在满足以下条件时成立:当 A 、 B 的位移与至少一个非交点相交时,可以获得一个非零四元素集合,在其中 B 的坐标原点包含着重要意义。

2.2.3 数学形态学处理腐蚀运算

A 为待处理图像, B 为结构元素, Z 为腐蚀操作后新图像中的像素点。 A 被 B 腐蚀,定义为:

$$A \ominus B = \{Z \mid (B)_x \cap A^c \neq \emptyset\} \quad (2)$$

在公式 2 中, $(B)_x$ 指的是将模板 B 进行 X 距离的平移。腐蚀运算的终点是关于线性距离 X 所有可能平行移动操作的集合。必须确保通过对模板 B 进行平行移动后,依然能够让 B 完全包含在 A 内部。如果模板 B 是用户自定义的,则集合 $A \ominus B$ 包含了在模板移动过程中可以填充到 A 外部各个模板坐标原点的位置信息。

在道路要素的初步提取过程中,面临着多方面挑战。这些挑战包括选择分割参数、周围行道树和建筑物阴影的干扰等因素,导致了初步提取的道路要素边界显示出不够平滑的情况(图 1)。为了解决这一问题,借鉴了形态学领域中膨胀和腐蚀运算原理,并采用了膨胀运算来将区域外部边界转换为实体对象,并对边界进行向外拓展处理。透过综合利用膨胀和腐蚀操作,成功地消除了道路要素边缘毛刺并填补了缺失部分,在处理上取得显著效果。最后,在 ArcGIS 软件中手动编辑,进一步消除了道路要素边缘的突出部分,实现对道路边界的平滑处理以达到更精确的结果。

首先,处理原始道路要素时,采用了一个尺寸为 5×5 的全 1 矩阵作为结构元素进行循环膨胀操作(图 2)。然后,利用半径为 3 的圆形结构元素对象对膨胀后的结果进行循环腐蚀操作(图 3)。总体而言,腐蚀是一个逐步进行的过程,它通过消除边界点并使边界逐渐向内部收缩来实现改善,在 ArcGIS 中人工编辑去除这些凸出部分,使道路边界达到平滑的效果。



图 2 膨胀运算结果图



图 3 腐蚀运算结果图

在 ArcGIS 编辑器中,有多种方法可以调整要

素的形状。除了添加折点和全面编辑外,还可以利用功能如内部分割、镜像、延伸、切割线要素、移动以及复制线要素来处理多边形要素。另外,使用裁剪面功能可以消除道路要素边界的突出部分,达到使边界更加平滑的效果。

道路提取效果的最终呈现如图 4 所示。采用面向对象分类、形态学膨胀与腐蚀运算,加上后续的 ArcGIS 编辑处理,成功改善了路面要素的识别准确率。尽管如此,在某些区域仍有一些遗漏情况存在,主要源自建筑物阴影造成的影响。此外,在道路上部分位置可能出现边界错分问题,因为其光谱特征与周围环境相似导致错判。

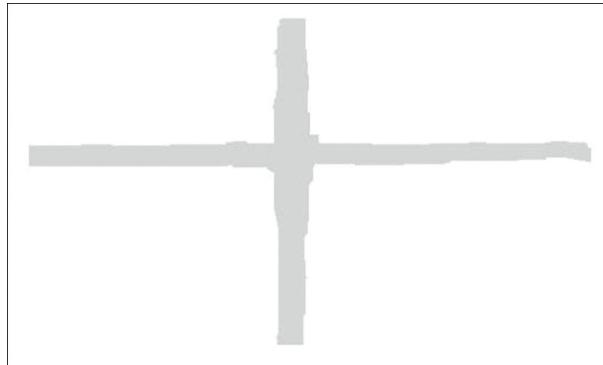


图 4 道路的最终提取结果图

2.3 次干道提取方法

2.3.1 图像预处理

增强影像对比度实际上是在增加原始图像各部分之间反差的程度。在实际应用中要突出显示某些地物时,可以采用扩大原始图像中某两个灰度级之间的范围来进行优化来实现这一目标。

对于包含此类尺度表现形态的道路影像,进行形态学预处理的目的是突出道路轮廓,增强其清晰度和显著性。这样识别道路起点和方向时会更加方便,为进一步捕捉该类道路线特征奠定了牢固基础^[23]。

2.3.2 次干道线特征提取

根据直线型道路曲率变化较小的特性,在道路起点开始,利用道路曲率保持稳定属性的特点来建立一条连续性增长规则,以此作为搜索符合要求像素点的依据。逐步按照这一生长规则寻找符合条件的像素点,并将它们融入目标道路点中。沿着道路曲率方向重复这一过程,直到覆盖其他端点位置的像素。最后,连接所有目标道路点以构建提取出的

直线型道路轮廓线。

为了计算道路曲率,需要明确定义图像区域内 3 个种子点的坐标位置。首先,选择道路的一个端点作为起始种子点,并利用道路曲率作为增长规则执行区域生长算法。在生长过程中,根据这一准则不断合并符合条件的像素点来生成目标道路点集。当达到另一个端点时停止生长,并连接所有目标点以完成道路线特征提取过程(图 5)。



图 5 道路走向线特征的提取

3 结语

本研究在遥感影像道路分类领域取得了显著的进展。分析遥感图像道路提取的特征和影响因素,以及详细阐述不同道路类型的提取方法,为遥感影像的道路自动分类和提取提供了实用的技术路线。特别是,面向对象分类思想、规则集构建技术、数学形态学处理以及图像预处理等方法的综合运用,有效提高了道路提取的自动化程度和精度。未来,随着遥感技术的不断发展和算法的不断优化,相信遥感影像在道路分类和提取方面的应用将更加广泛和深入。

参考文献:

- [1] 张现峰,刘乾忠,宫昌华.基于历史卫星遥感影像对城区空间形态演变的研究[J].山东国土资源,2023,39(7):39-45.
- [2] 李阳,关纯安,刘浩.基于高分遥感影像和矢量数据的海域使用现状调查与分析[J].山东国土资源,2023,39(6):52-59.
- [3] 程忠,黄明辉.基于 MobileViT 轻量化网络的遥感图像分类方法研究[J].南方农机,2023,54(16):81-83.
- [4] 顾旭璐,郭中华,同梓旭,等.基于 YOLOv5s 6.0 的飞机遥感图

- 像分类研究[J].宁夏工程技术,2023,22(2):187-192.
- [5] 李蕾.一种改进的 SVM 遥感图像分类方法[J].北京测绘,2023,37(6):903-907.
- [6] 梁锦涛,陈超,张自力,等.一种融合指数与主成分分量的随机森林遥感图像分类方法[J].自然资源遥感,2023,35(3):35-42.
- [7] 杨星,宋玲玲,王时绘.基于改进的 ResNeXt 网络结构的遥感图像分类[J].计算机科学,2023,50(增刊 1):282-287.
- [8] 张立亭,夏文生,罗亦泳,等.改进双重注意力机制结合 ResNet50 的遥感图像分类[J].测绘科学,2023,48(4):98-105.
- [9] 张雷雨,曾毅,李胜辉,等.加权的判别性协同表示方法用于高光谱遥感图像分类[J].无线电工程,2023,53(6):1359-1367.
- [10] 冯甜甜,唐斌.基于面向对象遥感图像分类的城市绿地提取及动态分析[J].测绘,2023,46(1):27-31.
- [11] 范迎迎,张姗姗.基于深度主动学习的高光谱遥感图像分类方法[J].东北师大学报(自然科学版),2022,54(4):64-70.
- [12] 蒋正锋,何韬,施艳玲,等.融合卷积注意力机制与深度残差网络的遥感图像分类[J].激光杂志,2022,43(4):76-81.
- [13] 车思韬,郭荣佐,李卓阳,等.注意力机制结合残差收缩网络对遥感图像分类[J].计算机应用研究,2022,39(8):2532-2537.
- [14] 周子涵,倪欢,马林飞.面向高光谱遥感图像分类的连续空间依赖增强型空一谱卷积神经网络[J].地理与地理信息科学,2021,37(6):32-40.
- [15] 刘春容,宁芊,雷印杰,等.改进残差神经网络在遥感图像分类中的应用[J].科学技术与工程,2021,21(31):13421-13429.
- [16] 李彦甫,范习健,杨绪兵,等.基于自注意力卷积网络的遥感图像分类[J].北京林业大学学报,2021,43(10):81-88.
- [17] 姜亚楠,张欣,张春雷,等.基于多尺度 LBP 特征融合的遥感图像分类[J].自然资源遥感,2021,33(3):36-44.
- [18] 杨敏航,陈龙,刘慧,等.基于图卷积网络的多标签遥感图像分类[J].计算机应用研究,2021,38(11):3439-3445.
- [19] 关伟,何蜀燕.基于统计特性的城市快速路交通流状态划分[J].交通运输系统工程与信息,2007,7(5):42-49.
- [20] 葛振强.基于改进 DeepLabv3+ 的道路分割算法[J].现代信息科技,2024,8(4):132-135.
- [21] 侯建行,陈颖,李翔,等.融合卷积和上下文变压器的遥感图像配准[J].计算机工程与设计,2024,45(2):500-507.
- [22] 张银胜,单梦姣,钟思远,等.基于改进 DeeplabV3+ 的遥感图像道路分割模型[J].国外电子测量技术,2024,43(1):189-198.
- [23] 陈国军,朱燕宁,耿润田,等.基于 iHDODC-LinkNet 网络的遥感图像道路提取方法[J].光电子·激光,2024,35(1):51-58.

Study on Remote Sensing Image Classification Method Based on Road Trajectory Prediction Model

ZHANG Minghua¹, ZHANG Hongjun², SHI Jian², ZHAO Chunli¹, ZHENG Weian², LI Tianhe²

(1. Longkou Bureau of Natural Resources and Planning, Shandong Yantai 265700, China; 2. Shandong Provincial Institute of Land Surveying and Mapping, Shandong Jinan 250102, China)

Abstract: In this paper, remote sensing image classification method has been studied based on road trajectory prediction model, research background of remote sensing image road extraction has been reviewed, and key factors affecting road extraction have been analyzed, including image resolution and algorithm automation degree. Remote sensing image extraction methods of road elements, including the extraction strategies of fast road, main road and secondary road. In the aspect of fast path extraction, object-oriented classification and rule set construction technology are adopted. In main road extraction, the method combining the construction of cyclic rule set and mathematical morphology processing has been used. For sub-trunk extraction, the steps of image preprocessing and sub-trunk feature extraction have been proposed. These methods will provide effective technical support for road classification and extraction in remote sensing images.

Key words: High-resolution remote sensing image; road extraction; road trajectory prediction model