

基于Sentinel-2数据的郑州市中心城区遥感信息提取

董煜硕, 张莹莹*, 马若冰, 高鑫宇, 杨威, 李格

郑州师范学院地理与旅游学院, 河南 郑州

收稿日期: 2023年2月22日; 录用日期: 2023年4月16日; 发布日期: 2023年4月25日

摘要

随着城市化进程的不断发展, 城市下垫面及自然水体受到了破坏, 与人类居住用地不相协调, 土地的使用方式对洪涝灾害具有放大化的影响, 并逐渐成为城市的隐患问题。本文以郑州市中心城区为例, 采用10 m分辨率的Sentinel-2遥感数据, 对获取的MNDWI指数进行预处理, 然后进行阈值分割提取水体面积分布, 并在此基础上, 分别用支持向量机分类法、决策树分类法、随机森林分类法进行城市土地利用类型信息的提取, 通过Kappa系数和混淆矩阵对比其精度。分别提取城市土地利用和水体面积信息并进行对比, 对郑州市中心城区的土地利用进行研究分析, 为城市的合理规划提供建议。结果显示: 1) 采用阈值分割法提取水体的总体精度百分比为96.98, Kappa系数为0.94, 精度较高; 2) 随机森林分类法、决策树分类、支持向量机分类法的土地利用分类的Kappa系数分别为0.91、0.79、0.76, 总体精度分别为93.38%、84.25%、82.38%, 其中随机森林分类法的土地利用信息提取的Kappa系数及精度水平最高, 准确性最高; 3) 郑州市中心城区的水体面积占城市土地利用总面积的3.79%, 占比较低; 而城市居民用地和其他用地两类面积的占比较高, 超过75%, 居民建设用地和生态用地较为矛盾, 城区的土地规划较不合理。采用Sentinel-2遥感数据提取郑州市中心城区的数据可以有效分析土地利用面积占比, 据此可以为郑州市的土地利用规划提供数据支撑, 协调居住与自然用地的比例, 有效改善下垫面对地表水资源的调节作用, 从而减少城市内涝的发生, 不断推进郑州生态宜居型城市的建设。

关键词

Sentinel-2, 土地利用, 随机森林分类, 决策树分类, 支持向量机分类法

Remote Sensing Information Extraction of Central City of Zhengzhou Based on Sentinel-2 Data

Yushuo Dong, Yingying Zhang*, Ruobing Ma, Xinyu Gao, Wei Yang, Ge Li

*通讯作者。

文章引用: 董煜硕, 张莹莹, 马若冰, 高鑫宇, 杨威, 李格. 基于 Sentinel-2 数据的郑州市中心城区遥感信息提取[J]. 地理科学研究, 2023, 12(2): 241-251. DOI: 10.12677/gser.2023.122022

Abstract

With the continuous development of urbanization, urban underlying surface and natural water have been destroyed, which is not compatible with human residential land. Land use has a large impact on flood disaster, and gradually become a hidden problem in the city. In this paper, the central city of Zhengzhou is taken as an example, 10 m resolution Sentinel-2 remote sensing data is used to pre-process the obtained MNDWI index, and then threshold segmentation is carried out to extract water area distribution. On this basis, support vector machine classification, decision tree classification, and random forest classification are respectively used to extract urban land use type information. The accuracy was compared by the Kappa coefficient and confusion matrix. The information on urban land use and water body area is extracted and compared respectively, and the land use of the central urban area of Zhengzhou is studied and analyzed to provide suggestions for the rational planning of the city. The results showed that: 1) The overall accuracy percentage of water extraction by threshold segmentation method was 96.98 and the Kappa coefficient was 0.94, indicating high accuracy. 2) The Kappa coefficient of land use classification of random forest classification, decision tree classification, and support vector machine classification were 0.91, 0.79, and 0.76 respectively, and the overall accuracy was 93.38%, 84.25%, and 82.38% respectively. Among them, the Kappa coefficient and accuracy level of land use information extraction of random forest classification were the highest, indicating high accuracy. 3) The water body area in the central city of Zhengzhou accounts for 3.79% of the total land use area, which is relatively low; however, urban residential land and other land areas account for a relatively high proportion, more than 75%. Residential construction land and ecological land are contradictory, and urban land planning is not reasonable. Using Sentinel-2 remote sensing data to extract the data of the central urban area of Zhengzhou can effectively analyze the proportion of land use area, which can provide data support for the land use planning of Zhengzhou, coordinate the proportion of residential and natural land, effectively improve the regulation effect of underlying surface water resources, and thus reduce the occurrence of urban waterlogging and continuously promote the construction of an ecologically livable city in Zhengzhou.

Keywords

Sentinel-2, Land Use, Random Forest Classification, Decision Tree Classification, Support Vector Machine Classification

Copyright © 2023 by author(s) and Hans Publishers Inc.

This work is licensed under the Creative Commons Attribution International License (CC BY 4.0).

<http://creativecommons.org/licenses/by/4.0/>



Open Access

1. 引言

土地利用/覆被变化是表征人类活动对地球表层系统影响的最直接的表现形式, 在全球环境变化过程中扮演着非常重要的角色[1]。因此, 掌握精确的土地利用/土地覆被数据对区域土地规划、城镇化建设以及生态环境保护等方面均具有重要的意义[2]。地表水是陆地生命的重要水源, 是维持生态系统稳定和保持经济社会可持续发展的关键性因素[3]。城市的形成、建设和发展都依托着河流开展[4], 但是城市化发

展改变了区域下垫面条件、城市流域产汇流特性和城市排水格局,进而对区域水循环过程和水量分配造成影响,在一定程度上增加了城市洪涝灾害风险[5]。因此,对城市进行土地和水体监测成为必要。

传统的土地利用和水体分布信息提取主要依赖于人工,不仅提取速度慢,所花费的人力、物力、财力也比较大。经济水平和科技质量等的全面提高,使得遥感技术被有效研发出来[6],遥感技术具有覆盖面广、时效性强、信息量大,以及不受地理环境影响等优势[7]。随着其越来越被广泛应用于信息提取,近几十年来,遥感信息提取技术逐步从人工目视解译发展为机器学习、深度学习等自动化提取技术[8]。21世纪,随着遥感技术的蓬勃发展,高空间、高时间和高光谱分辨率的遥感数据不断丰富[9],越来越多的遥感影像也突破了波段数量、空间分辨率以及重访周期的限制[10],尤其是 Sentinel-2 卫星影像。Sentinel-2 数据具备较高的时间分辨率(5 d)和空间分辨率(10 m) [11],光谱信息丰富,获取成本低廉,将直接为全球的陆地监测、应急响应以及安全服务等方面做出重要贡献[12]。此前,已有一些国内外学者对遥感信息提取做了研究,袁静文等[13]用高分五号数据对城市土地利用格局进行分析; Xu 等[14]提出一种基于区域划分的时序遥感影像融合与 LISP 估算方法估算了亚洲其他年份不透水表面的百分比; Arreola-Esquivel 等[15]利用 Landsat 5 TM、Landsat 8 和 Sentinel-2A 卫星数据在不同时间场景下评估了改进的归一化差异水体指数(MNDWI)和自动水体提取指数(AWEI);李志红等[16]基于 Landsat 8 OLI 影像数据选择常规方法提取精度较低的区域进行水体提取,并且与两种常用的水体指数法(NDWI、MNDWI)进行了对比与验证;周鹏等[17]用阈值分割法、分类器模型法、基于“全域—局部”的提取法和光谱混合分析法对水体提取进行研究;冯婉玲等[18]以高分一号为数据源,采用分类与回归树(CART)分类法进行地物分类,提取湿地信息;李明洁等[19]利用 Sentinel-2 影像,基于遥感光谱、光谱指数和图像纹理等多种特征信息,构建了多特征随机森林城市土地利用分类模型;俞浩艺[20]基于高分辨率无人机遥感影像特征,对基于面向对象的两阶段分类法、决策树分类法、支持向量机分类法以及随机森林分类法的土地利用分类情况进行对比分析;徐宗学等[21]阐述了基于遥感的城市洪涝模拟基础信息提取框架,将使城市洪涝模拟与管理更加方便有效。

郑州市属于全国特大城市,地处中华腹地,连贯南北、承东启西,拥有独特的区位优势,铁路、公路、航空构成了便捷立体的交通体系。2021年7月20日,郑州发生了特大暴雨,引发了严重的城市内涝、流域洪水等灾害,造成了重大人员伤亡和财产损失[22]。本文基于 Sentinel-2 数据,利用基于 MNDWI 指数法的阈值分割法对水体进行提取,得到郑州市中心城区的水体面积;在此基础上,利用支持向量机分类法、分类与回归树(CART)分类法、随机森林分类法对郑州市中心城区城市土地利用面积进行提取,对三种不同的分类方法提取结果进行精度验证和对比,找到适合城市土地利用提取精度较高的分类方法;最后根据土地利用的结果,探究不同类型的土地利用方式与水体分布面积的关系,分析郑州市洪涝灾害产生的原因,为郑州市城市化发展规划提供建议和数据方法的参考。

2. 研究区概况与方法

2.1. 研究区概况

河南省郑州市(34°16'~34°58'N, 112°42'~114°14'E)位于中原腹地、天下之中,地处豫东平原与西部伏牛山地之间的过渡地带,总体地形呈西南高东北低阶梯状分布。郑州市属于典型的温带大陆型季风气候,四季分明、雨热同期、干冷同季[23]。郑州市地跨黄河和淮河两大流域,市境内大小河流总共 124 条,河流多为西南东北流向。郑州市全市总面积 7567 km²,其中中心城区(中心城区包括金水区、二七区、中原区、管城回族区和惠济区)面积为 744.15 km²,郑州市地理信息来源于《郑州市情概览(2022)》(<https://www.zhengzhou.gov.cn/>)。郑州市凭借着优异的地理区位优势和国家中心城市的战略地位,经济发

展迅速，是河南乃至中原地区的经济发展引擎。郑州市中心城区的经济贡献和人口数量在全市占较大比重，其城市化率也为全市最高水平，是郑州市的经济、人口、文化和政治中心[24]。但由于过快的城市化，郑州市中心城区的土地利用规划出现了不合理的现象，加之城市下垫面的复杂布局，导致近些年郑州极端天气频发，特别是以7·20特大暴雨事件影响最为严重[25]，因此本研究的范围为郑州市中心城区(图1)。

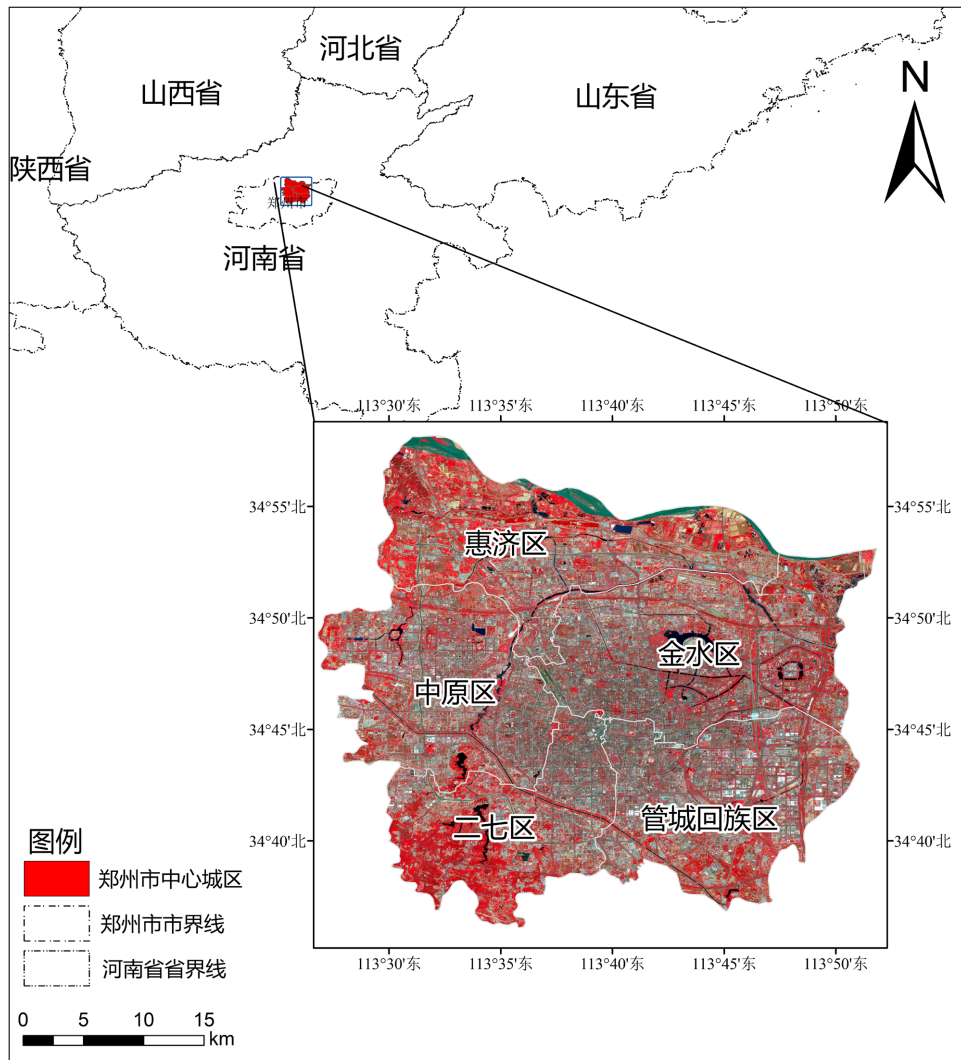


Figure 1. Location map of central city of Zhengzhou

图1. 郑州市中心城区的区位图

2.2. 数据来源及预处理

主要的影像数据 Sentinel-2 卫星是欧空局的光学遥感卫星，其包含两颗极地轨道卫星：Sentinel-2A (2015年6月23发射)、Sentinel-2B (2017年3月7发射)，双星时间分辨率为5天[26]。Sentinel-2卫星搭载了具有13个波段的MSI成像传感器，由可见光波段覆盖至短波红外波段，空间分辨率分别为10 m、20 m、60 m，数据具有空间分辨率和时间分辨率高、重复周期短、覆盖波长范围广等特点[27]。本文所采用的Sentinel-2数据来源于美国地质勘探局USGS的网站(<https://earthexplorer.usgs.gov/>)。利用Sen2Cor v2.9插件对Sentinel-2A影像进行辐射校正、大气校正处理，把Sentinel-2的L1C级数据大气校正为L2A

产品,再用 SNAP 软件进行多光谱影像双线性重采样为 10m 的空间分辨率,并导入到 ENVI 5.3 软件。在 ENVI 5.3 中对经过预处理的数据,叠加郑州市中心城区的矢量边界进行裁剪,同时根据 Sentinel-2 卫星影像数据的波段信息进行波段合成,最终生成研究区影像。对于生成的研究区影像,采取以下遥感信息提取步骤:依据城市水体信息进行波段合成计算,多次实验取得最佳阈值,建立监督分类模型和最后的精度验证与结果分析。

为保证数据信息提取的精度,本文的训练数据和验证数据均采用 Bigemap 高分辨率影像数据,对水体、植被、居民用地和其他类型用地分别采样 400 个、400 个、401 个和 398 个样本点。利用 ENVI Classic 里 Basic Tools-Statistics-Generate Random Sample-Using Ground Truth ROIs,该随机分类工具将总样本点数按分层抽样法和随机抽样法两种方法进行分类采样,其中采用分层抽样法(Stratified Random)按总样本点比例的 50% 获取训练样本点,采用随机抽样法(Random)按总样本点的 50% 获取验证样本点。

2.3. 水体提取方法

改进的归一化差异水体指数 MNDWI (Modified Normalized Difference Water Index)是绿光波段和中红外波段的数学计算,能够有效去除建筑物阴影对水体提取的影像,可以快速、简便、高效地提取城市水体信息[28]。公式为 $MNDWI = \frac{Green - Swir}{Green + Swir}$,其中 Green 和 Swir 波段对应的 Sentinel-2 数据分别为 Band 3 和 Band 11 [29]。

利用改进后的水体指数 MNDWI 进行波段数学计算,获取了突出城市水体和其他地物类别差异的光谱影像图。多波段增强图阈值法进行水体提取的重点是确定水体和非水体的阈值下限,为防止细小水体临近阈值而未被提取,以及其他临地物近阈值被错误提取,需要多次研究分析水体和非水体之间的分割阈值[30]。

2.4. 土地利用分类和精度验证方法

依据《土地利用现状分类》(GB/T 21010-2017)和中国科学院资源环境科学和数据中心土地利用类型,结合郑州市具体土地利用分类情况,本研究关于郑州市主城区的土地利用分为四类,分别是水体、植被、居民用地和其他。

2.4.1. 支持向量机分类

支持向量机分类(Support Vector Machines, SVM)是建立在统计学习理论上的机器学习方法,能够在高维特征空间中寻找能将不同类别训练样本分开的最优化超平面,以此解决数据特征复杂的分类问题[31]。SVM 作为监督分类方法的一种,在小尺度范围内能够快速准确进行样本训练分类。

2.4.2. CART 决策树分类

决策树分类(Classification and Regression Tree, CART)是由 Breiman 等提出的决策树构建算法(Huete, 1988),其基本原理是通过分析样本的属性特征,设定分类规则,将数据集往下细分,形成二叉树形式的决策树结构[32]。决策树分类法通过光谱波段分类的机械学习,归纳出简洁有效的分类规则,并且自身受外部因素影响较小,分类阈值由训练样本确定,使得土地利用分类成果易得、解译精度高[33]。

2.4.3. 随机森林分类

随机森林分类法(Random Forest)是以 CART 决策树分类法为基础的,由多个决策树组成的,基于监督分类机械学习算法而构成的分类算法。随机森林分类法通过集成学习的思想,能够处理大量训练样本,并且在不失精度的情况下高速快捷生成学习算法,目前被广泛用于遥感影像地表覆盖领域[34]。与传统的基于数理统计的分类方法相比较,随机森林在分类精度、分类速度及稳定性上表现良好。

2.4.4. 精度评价

本文主要通过混淆矩阵进行精度验证和精度评价,使用随机分类法获得的验证样本点,通过遥感软件 ENVI 5.3 进行混淆矩阵的计算,以此进行分类结果的精度对比,以及现实地物类型与机械学习分类地物类型的精度评估。计算混淆矩阵,获得用户精度、生产者精度、总体精度以及 Kappa 系数,对土地利用分类结果进行精度对比。

3. 结果与分析

3.1. 水体提取

本文通过改进的归一化水体差异指数(MNDWI)对所获取的遥感影像进行计算,对处理过的影像进行阈值分割,经过多次校正计算和目视解译,选取最佳阈值 0.110387 以区分水体和非水体的边界,其中操作影像的阈值取值范围为: $-0.999743 \sim 0.781366$ 。郑州市中心城区北部集中分布黄河和大型水体,水体提取结果明显清晰,以及市区东部龙子湖和西部大型水体提取结果在图上表现清楚。但中心区域由于楼房建筑过多,多数水体为人工蓄水池或人工湖泊,水体布局分散且面积较小,图上显示提取结果不理想。阈值分割法水体提取对于大型水体有着较好的提取效果,但面对细小破碎分散的水体,有着较大的分类误差,提取稳定性较差。图 2 为使用阈值分割法生成的郑州市中心城区的水体面积,提取的水体总面积为 39.064 km^2 。

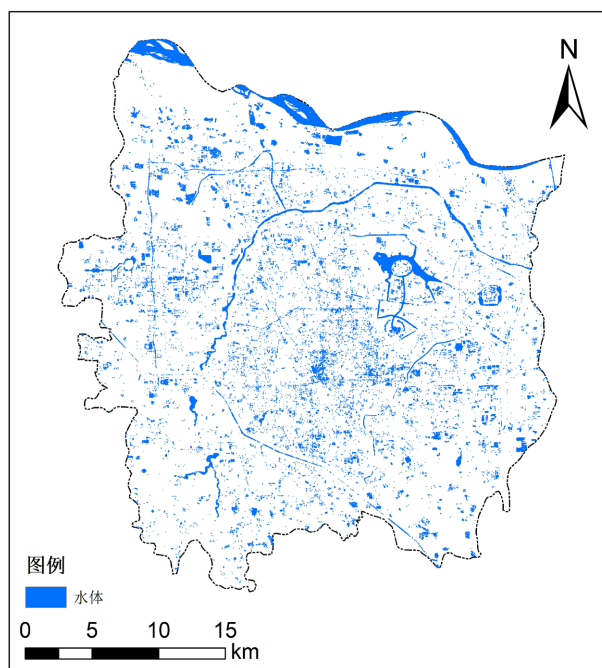


Figure 2. Water extraction result map of threshold segmentation method

图 2. 阈值分割法水体提取结果图

将样本点内的非水体组成部分进行整合,包括植被、居民用地和其他统一概括为非水体,利用随机抽样法选取占比相同的水体和非水体训练样本点,再利用分层抽样法选取占比相同的水体和非水体的验证样本点。最后创立混淆矩阵计算水体提取图的精度,由表 1 可知,阈值分割法提取水体的总体精度较高,对于下垫面复杂的城镇区域,MNDWI 具有较强的适用性。结果如表 1 所示。

Table 1. Confusion matrix of threshold segmentation method for water extraction
表 1. 阈值分割水体提取方法的混淆矩阵

项目	非水体	水体	总计	用户精度
背景值	0	0	0	94.49
非水体	120	7	127	100
水体	0	105	105	
总计	120	112	232	
生产者精度	100	93.75		

总体精度为 96.98, Kappa 系数 0.94

3.2. 土地利用结果分类

3.2.1. 分类结果

基于上述 SVM、Random Forest 和 CART 决策树三种监督分类方法, 采用获取的训练样本点, 得到研究区的植被、水体、居民用地和其他四种类型地物分类图, 如图 3 所示。从图 3(a)观察可得居民用地和其他、植被和其他之间存在着明显的错分现象, 在图 3(c)中也能明显观察到居民用地和其他两种分类结果之间有着错分现象。三种监督分类方法对于水体的提取结果都较为准确, 但 SVM 和 CART 决策树两类方法对于居民用地和其他的分类效果并不理想, 主要体现在图中心位置, 由于居民用地和其他用地两类的光谱反射率差距较小, 并且两类用地之间分布混杂, 故在图 3(a)与图 3(c)上有明显的错分体现。在 2.4.1.节中介绍了 SVM 分类法, 该方法常用于小尺度的监督分类, 在本实验中居民用地和其他两类的间隔区具有较多难以区分的训练样本点, 因此 SVM 分类法很难区分间隔较小的支持向量。CART 决策树分类法运用二叉决策树, 收集训练样本的特征变量进而进行机械学习分类。但由于人为目视选择样本点时, 很难区分相似的混合像元, 尤其是居民用地和其他用地, 导致决策树的生成并非最优, 分类结果与 Random Forest 相比缺少稳定性和泛用性。如图 3(b)所示, Random Forest 分类法的结果图 and 实际最为贴切, 能够有效区分居民用地和其他的混分, 以及植被和其他的混分。

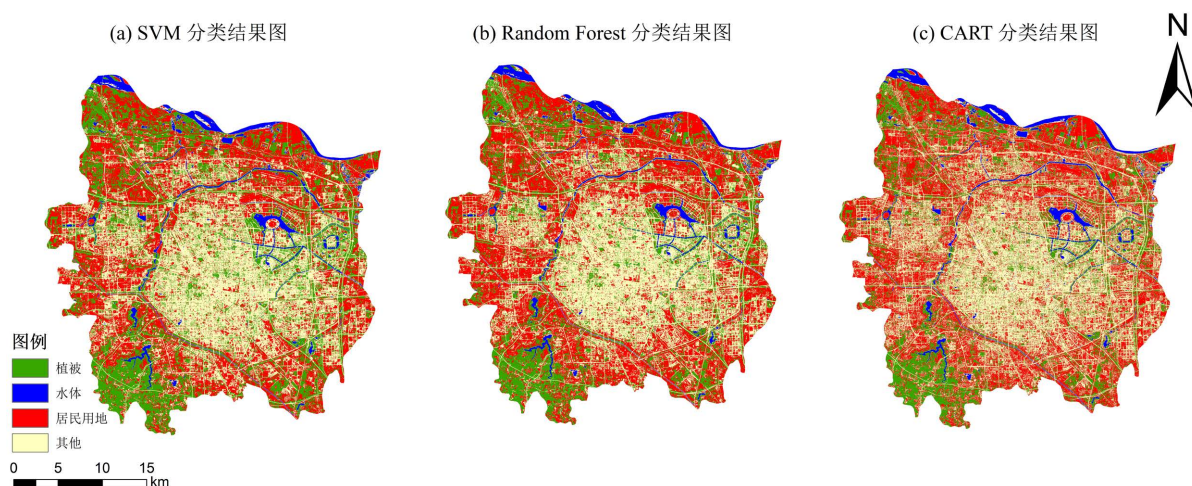


Figure 3. Land classification results map
图 3. 土地分类结果图

3.2.2. 精度对比

基于郑州市中心城区的土地利用面积调查结果和 Bigemap 高分辨率遥感影像, 在研究区随机选择验证样本点, 水体、植被、居民用地和其他四种样本点选取 200 个左右, 并确保该样本点均匀分布, 应用混淆矩阵对三种不同的分类结果进行精度评价, 各方法的分类精度指标如表 2 所示。

Table 2. Precision comparison of different classification methods

表 2. 不同分类方法的精度对比

项目类别	SVM		CART		Random Forest	
	生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%	生产者精度/%	用户精度/%
水体	99.04	98.57	99.52	97.65	99.52	99.52
植被	81.77	80.98	75.86	90.06	89.16	96.28
居民用地	78.5	80.93	80	80.81	91.5	93.85
其他	68.62	67.54	80.85	69.72	93.09	84.13
Kappa 系数	0.76		0.79		0.91	
总体精度/%	82.38		84.25		93.38	

从表 2 可以看出, SVM 分类法、CART 决策树分类法和 Random Forest 分类法的总体精度和 Kappa 系数随阶梯状上升。Random Forest 分类法对于土地利用分类的准确性最高, 其总体精度为 93.38%, Kappa 系数达到 0.91, 而 SVM 分类法和 CART 决策树分类法获得的分类结果精度均低于 Random Forest 分类法。将 Random Forest 分类法和 CART 决策树分类法进行对比发现, 除水体外各类地物的生产者精度和用户精度都大幅提高。同时对比发现, 三种监督分类方法对于水体的生产者精度和用户精度都得到较好的结果, 但 SVM 分类法和 CART 决策树分类法对于其他地物的分类精度还都比较低。从研究结果来看, Random Forest 分类法对于城市混杂像元的区分度更高, 适用性更广, 能够有效消除城市复杂下垫面对分类精度的影响, 分辨出复杂背景的特征值。

3.2.3. 面积分布

使用 SVM 分类法、CART 决策树分类法和 Random Forest 分类法所获得的分类结果影像, 将其中的分类结果进行信息提取, 结合郑州市中心城区的实际土地利用面积, 获得水体、植被、居民用地和其他四类面积分类结果图, 如图 4 所示。土地利用分类结果在总面积为 1028 km² 总量不变的情况下, 得到三种不同监督分类方案所计算获得的分类面积, 其中水体面积趋于一致, 都约占总面积的 3.7%, 实际面积约为 38 km²。这说明在设置监督分类的训练样本点时, 水体的边界相对于其他三类有明显的特征值, 因此水体提取面积较为统一, 而另外三类分类的面积, 三种方法都具有较大差异。

3.3. 水体面积分析讨论

依据精度验证结果, 在 SVM 分类法、CART 决策树分类法和 Random Forest 分类法三种方法中, 选取各项分类精度指标均较高的 Random Forest 分类法, 经该方法所获得的郑州市中心城区的土地利用结果图, 可用于分类结果原因分析。仅以水体提取结果作为对比, 阈值分割法提取的水体总体精度达到 96.98%, 较 Random Forest 分类法的总体精度值还要高。但由于阈值分割法的分类指标较为单一, 只有水体和非水体两类划分方案, 因此在这里使用 Random Forest 分类法的水体提取结果。如图 4 所示, 研究区的水体面

积仅有 39 km²，占城市土地利用总面积的 3.79%。依据黄晓东等的研究，不透水面比例与城镇降水强度呈正相关关系，不透水面比例与降水特征变化具有显著相关性[35]，水体面积占比过低即城市不透水面占比过高，下垫面对于短时强降雨的削弱作用降低。随着郑州市城市化进程的加快，人为建设的水体并未与其他用地规模相匹配，同时原有的自然水体也在城市化进程中不断被挤压和改建，这就导致郑州市中心城区的水体面积占比低，与各城市平均水体面积占比有较大的差距。据图 4 所示，城市居民用地和其他用地两类占比超过 75%，水体和植被面积被不断挤压变小，表明郑州市中心城区的城市化不断扩张，改变了地表覆被的类型占比，同时改变了自然下垫面对于雨洪的削弱作用。水体面积的缩减，导致日常蒸发量降低，城市热岛效应更加明显，对于降水的蓄存能力也明显降低，较大程度上降低了对于极端天气情况的防范能力。

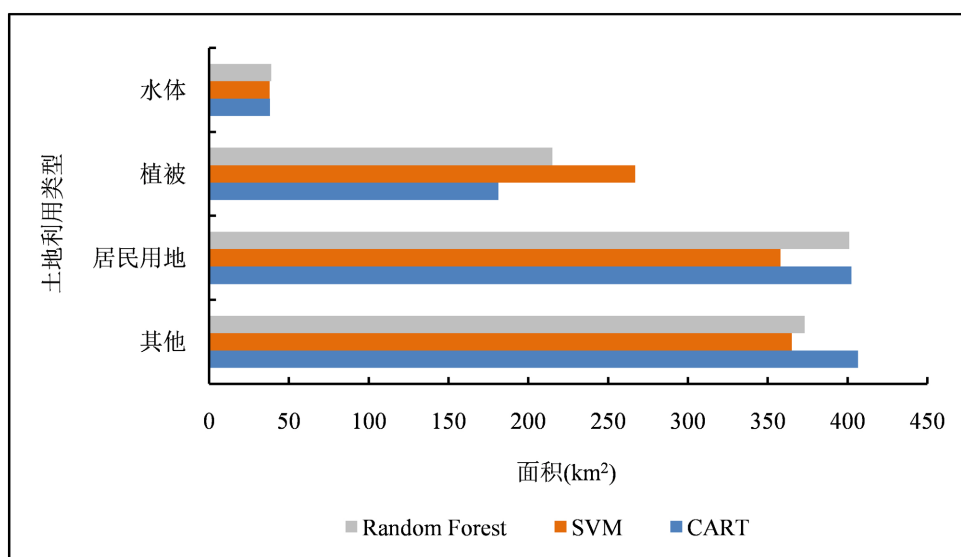


Figure 4. Comparison map of land use type area extracted by each classification method
图 4. 各分类方法提取的土地利用类型面积对比图

4. 结论

本文以水体提取和土地分类利用入手，以郑州市中心城区为研究区域，基于 Sentinel-2 卫星数据进行对应的遥感信息提取，采用 MNDWI 指数法、阈值分割法进行水体提取，采用 SVM 分类法、CART 决策树分类法、Random Forest 分类法进行城市土地利用面积的提取，本文主要进行了以下几方面的研究：

1) 相较于其他遥感卫星数据，Sentinel-2 卫星数据具有较高的时空分辨率，并且更易获得使用，通过对应的遥感算法计算，能够快速准确地提取出城市土地利用面积。相较于 Landsat 的 30 m 空间分辨率，Sentinel-2 数据的 10 m 分辨率显然在提取结果上更加精准。

2) MNDWI 指数法进行水体提取能够准确地提取城市范围内的水体信息，有效消除城市高大建筑的阴影噪声对于水体提取结果的影响。

3) 本文通过三种不同的监督分类方法进行城市土地利用面积的提取，发现 Random Forest 分类法在分类精度和错分误差等方面优于 SVM 分类法和 CART 决策树分类法，三种方法在水体分类方面的精度差异不大，但在居民用地和其他两类结果区分上，Random Forest 分类法依然能够保持较高的分类精度。通过目视解译三种方法的分类图，可以明显看出，Random Forest 分类法的结果图错分现象较少，能够消除居民用地和其他两类之间的混合像元的影响，在整体的四种分类上具有更好的稳定性和准确性。

4) 通过 MNDWI 计算后的影像进行阈值分割处理所得到的水体提取结果精度, 明显高于 Random Forest 分类法水体提取结果, 对于城市内细小破碎水体的提取, MNDWI 指数法更具优势。

5) 郑州市中心城区土地利用结构占比较为不合理, 居民用地和其他两类用地占比过高, 导致水体和植被两类占比被过分挤压, 仅占到总面积的 25%。郑州市城市化过程中, 居民建设用地和生态用地之间存在显著矛盾, 在城市扩张规模和水平的不断快速发展的同时, 应依据科学的城市发展规律, 基于郑州市独特的地理空间条件和过渡性质的气候状况, 制定因地制宜的城市发展规划。提高城市生态用地占比, 提高城市应急抗险能力, 保障人民生活舒适感和幸福感。

基金项目

郑州师范学院大学生创新性实验计划项目建设专项经费(DCZ2021006)、郑州师范学院科研启动专项经费资助。

参考文献

- [1] 刘纪远, 宁佳, 匡文慧, 徐新良, 张树文, 颜长珍, 李仁东, 吴世新, 胡云锋, 杜国明, 迟文峰, 潘涛, 宁静. 2010-2015 年中国土地利用变化的时空格局与新特征[J]. 地理学报, 2018, 73(5): 789-802.
- [2] 汤敏. 基于面向对象和随机森林方法的 SPOT6 湟水流域土地利用/土地覆被信息提取[D]: [硕士学位论文]. 西宁: 青海师范大学, 2020.
- [3] 李崇巍, 王志慧, 汤秋鸿, 胡青峰, 肖培青, 吕锡芝, 刘杨. 1986-2019 年黄河流域地表水体动态变化及其影响因素[J]. 地理学报, 2022, 77(5): 1153-1168.
- [4] 汪梦涵. 雄安新区城市河流的水系构建研究[D]: [硕士学位论文]. 郑州: 郑州大学, 2021.
- [5] 宋晓猛, 张建云, 贺瑞敏, 邹贤菊, 张春桦. 北京城市洪涝问题与成因分析[J]. 水科学进展, 2019, 30(2): 153-165.
- [6] 喻春华, 王宁. 遥感技术在农业中的应用[J]. 工会博览, 2010(6): 138-139.
- [7] 周岩, 董金玮. 陆表水体遥感监测研究进展[J]. 地球信息科学学报, 2019, 21(11): 1768-1778.
- [8] 赖积保, 康旭东, 鲁续坤, 李树涛. 新一代人工智能驱动的陆地观测卫星遥感应用技术综述[J]. 遥感学报, 2022, 26(8): 1530-1546.
- [9] 王航, 秦奋. 遥感影像水体提取研究综述[J]. 测绘科学, 2018, 43(5): 23-32.
- [10] 张磊, 宫兆宁, 王启为, 金点点, 汪星. Sentinel-2 影像多特征优选的黄河三角洲湿地信息提取[J]. 遥感学报, 2019, 23(2): 313-326.
- [11] 刘瑞清, 李加林, 孙超, 孙伟伟, 曹罗丹, 田鹏. 基于 Sentinel-2 遥感时间序列植被物候特征的盐城滨海湿地植被分类[J]. 地理学报, 2021, 76(7): 1680-1692.
- [12] 黄敏敏. 基于 Seminel-1/2 数据的寿光市洪涝灾害监测与预测研究[D]: [博士学位论文]. 南京: 南京信息工程大学, 2022.
- [13] 袁静文, 武辰, 杜博, 张良培, 王树根. 高分五号高光谱遥感影像的城市土地利用景观格局分析[J]. 遥感学报, 2020, 24(4): 465-478.
- [14] Xu, T.Y., Li, E.Z., Samat, A., Li, Z.Q., Liu, W. and Zhang, L.P. (2022) Estimating Large-Scale Interannual Dynamic Impervious Surface Percentages Based on Regional Divisions. *Remote Sensing*, **14**, Article No. 3786. <https://doi.org/10.3390/rs14153786>
- [15] Arreola-Esquivel, M., Delgadillo-Herrera, M., Toxqui-Quitl, C. and Padilla-Vivanco, A. (2019) Index-Based Methods for Water Body Extraction in Satellite Data. In: Tescher, A.G. and Ebrahim, T., Eds., *Proceedings of the SPIE—Applications of Digital Image Processing XLII*, Vol. 11137, San Diego, CA, 6 September 2019, 1-8. <https://doi.org/10.1117/12.2529756>
- [16] 李志红, 李旺平, 王玉, 陈璐, 郁林, 周兆叶, 郝君明, 吴晓东, 李传华. 基于离散粒子群算法的 2 种新型水体提取方法的对比与验证[J]. 地球信息科学学报, 2021, 23(6): 1106-1117.
- [17] 周鹏, 谢元礼, 蒋广鑫, 胡李发. 遥感影像水体信息提取研究进展[J]. 遥感信息, 2020, 35(5): 9-18.
- [18] 冯婉玲, 何立恒, 杨强. 基于 CART 决策树分类的江苏省湿地提取[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(3): 35-43.
- [19] 李明洁, 王明常, 王凤艳, 陈学业, 丁文. 基于多特征随机森林算法的深圳市土地利用分类[J]. 世界地质, 2022,

41(3): 632-640.

- [20] 俞浩艺. 基于高分辨率无人机遥感影像特征的不同土地利用分类方法对比研究[J]. 江西测绘, 2022(1): 25-28.
- [21] 徐宗学, 程涛, 洪思扬, 王林霞. 遥感技术在城市洪涝模拟中的应用进展[J]. 科学通报, 2018, 63(21): 2156-2166.
- [22] 姚远, 曲伟, 柴福鑫, 吕娟, 刘昌军, 徐卫红. 2021 年郑州“7·20”特大暴雨洪水模拟与分析[J]. 中国防汛抗旱, 2022, 32(5): 1-4+10.
- [23] 徐怡宁, 朱莹莹, 田国行, 李华威, 董娜琳. 郑州市景观格局演变对地表径流的影响[J]. 河南农业大学学报, 2023, 57(1): 96-108.
- [24] 贺军亮, 关子琼, 张振冉, 李仁杰. 郑州市主城区空间形态信息提取与特征分析[J]. 测绘科学, 2022, 47(12): 105-111+164.
- [25] 崔慧慧, 李荣, 郜彦娜, 李娜, 王森彪. “7·20”郑州极端特大暴雨降水细节特征和成灾过程研究[EB/OL]. 灾害学: 1-10. <https://kns.cnki.net/kcms/detail/61.1097.P.20230202.0956.001.html>, 2023-02-02.
- [26] 汪政辉, 辛存林, 孙喆, 罗菊花, 马荣华. Sentinel-2 数据的小型湖泊水生植被类群自动提取方法——以翠屏湖为例[J]. 遥感信息, 2019, 34(5): 132-141.
- [27] 任源鑫, 林青, 李明洁, 周旗. 基于哨兵 2 号的复杂地域水体提取研究[J]. 地理空间信息, 2020, 18(12): 5-9+149.
- [28] 徐涵秋. 利用改进的归一化差异水体指数(MNDWI)提取水体信息的研究[J]. 遥感学报, 2005, 9(5): 589-595.
- [29] 吴庆双, 汪明秀, 申茜, 姚月, 李俊生, 张方方, 周亚明. Sentinel-2 遥感图像的细小水体提取[J]. 遥感学报, 2022, 26(4): 781-794.
- [30] 杨莹, 阮仁宗. 基于 TM 影像的平原湖泊水体信息提取的研究[J]. 遥感信息, 2010(3): 60-64.
- [31] 陈伟, 刘湘媛, 曾圣, 张华平, 毛志芳. 基于 GEE 的地表覆盖与气候状态关联研究[J]. 测绘通报, 2021(12): 99-104. <https://doi.org/10.13474/j.cnki.11-2246.2021.381>
- [32] 冯婉玲, 何立恒, 杨强. 基于 CART 决策树分类的江苏省湿地提取[J]. 水生态学杂志, 2022, 43(3): 35-43. <https://doi.org/10.15928/j.1674-3075.202003090055>
- [33] 璩路路, 李裕瑞, 董世杰, 曹智, 刘继来, 王光东. 黄土高原沟道耕作转型时空特征及启示——以延安黄土丘陵沟壑区为例[J]. 资源科学, 2022, 44(5): 955-967.
- [34] 张磊, 宫兆宁, 王启为, 金点点, 汪星. Sentinel-2 影像多特征优选的黄河三角洲湿地信息提取[J]. 遥感学报, 2019, 23(2): 313-326.
- [35] 黄晓东, 刘文锴, 曹润祥, 韩宇平. 不透水面扩张对郑州主城区降水特征的影响[J]. 水资源保护, 2022, 38(6): 22-30.