

基于大疆精灵4可见光的惠州大亚湾红树林分类提取

杨峰, 阮奇锋, 黄颖, 彭樱子, 韩念龙*
惠州学院地理与旅游学院, 广东 惠州 516007
DOI:10.61369/EAE.2026040007

摘 要 : 本文提出利用无人机获取高空间分辨率的可见光影像, 结合随机森林、K-最近邻两种机器学习算法, 对惠州市红树林湿地公园5种优势红树林树种进行分类识别。实验表明, 随机森林总体精度94.8972%、Kappa系数0.8845, K-最近邻总体精度94.2155%、Kappa系数0.8690。其中, 随机森林算法对分类结果的稳定性更好。但对小面积易混淆的物种识别效果存在一定的限制。本研究为滨海湿地遥感监测和红树林生态系统保护修复提供技术参考。

关 键 词 : 无人机; 遥感; 红树林; 随机森林分类; K-最近邻法

Classification and Extraction of Mangrove Forests in DayaBay,Huizhou Based on Visible Light from DJI Phantom 4

Yang Feng, Ruan Qifeng, Huang Ying, Peng Yingzi, Han Nianlong*
School of Geography and Tourism, Huizhou University, Huizhou, Guangdong 516007

Abstract : This paper proposes to acquire visible light images with high spatial resolution using unmanned aerial vehicles (UAVs). Combined with two machine learning algorithms, namely Random Forest and K-Nearest Neighbor (KNN), classification and identification of five dominant mangrove species in Huizhou Mangrove Wetland Park are carried out. Experimental results demonstrate that the Random Forest algorithm achieves an overall accuracy of 94.8972% and a Kappa coefficient of 0.8845, while the K-Nearest Neighbor algorithm yields an overall accuracy of 94.2155% and a Kappa coefficient of 0.8690. Among the two algorithms, Random Forest presents better stability in classification outputs. Nevertheless, it has certain limitations in identifying small-area species with confusing spectral features. This study can provide technical references for remote sensing monitoring of coastal wetlands as well as the protection and restoration of mangrove ecosystems.

Keywords : Unmanned Aerial Vehicle (UAV); remote sensing; mangrove forests; random forest classification; K-nearest neighbours

引言

红树林作为重要的滨海湿地生态系统, 在维护海岸带生态平衡, 净化环境, 缓解气候变暖等方面都具有重要作用和研究意义^[1,2]。对红树林树种的精准分类对其生态功能的研究以及科学管理规划都具有重要作用^[3]。

无人机具有作业灵活, 成本低, 影像精度高等诸多优势, 成为开展红树林精细监测的重要手段^[4,5]。本研究使用精灵4无人机在可见光波段对惠州市红树林湿地公园进行数据采集。通过机器学习算法对数据进行分析, 最终达到对红树林进行有效分类的目的。

一、研究区和数据

(一) 研究区

惠州市红树林湿地公园地处亚热带季风区, 南邻大亚湾, 总面积176公顷(图1)。该区域, 气候温暖湿润, 降雨量充沛, 平

均海拔低于30米, 最大的高差小于20米, 为红树林生长营造了优越的环境^[6-8]。区域内红树林资源丰富, 包括真红树种和半红树在内的木榄、秋茄、桐花树、黑桐、金蕨等多种树种^[9-11]。

基金项目: 广东省创新训练项目(S202410577083)

作者简介: 杨峰(1978-), 男, 讲师, 研究方向: 地理大数据空间分析。

通讯作者: 韩念龙。

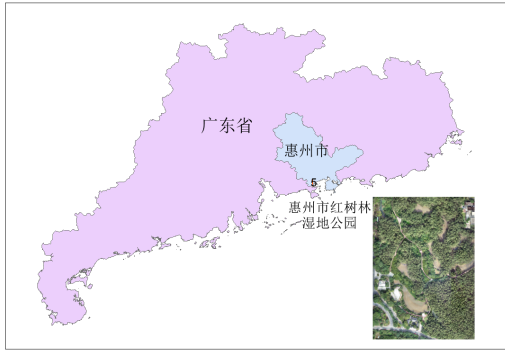


图1 研究区域

Fig.1 Research area

(二) 研究数据

研究使用精灵4无人机在可见光波段进行数据采集。数据采集在当天上午10点30分到12点整进行。该时间段太阳高度角较大,能减少地物阴影,避开涨潮时段,防止影像中大面积水域的出现。无人机飞行高度设定为100米,地面采样距离约2.74cm/像素。

二、研究方法

(一) 技术路线

无人机获取数据后,得到有效影像共计498张。通过空三加密生成密集点云,构建数字表面模型,开展正射校正以及影像匀色拼接等相关工作,最终获得研究区的数字正射影像图。通过室内作业同室外工作相结合的方式选择样本点。利用k-最近邻以及随机森林这两种模型分别展开训练。利用训练模型对红树林群落进行提取,最终得到区域内包含无瓣海桑、桐花树等在内的5种优势树种的分类结果。技术路线如图2所示。

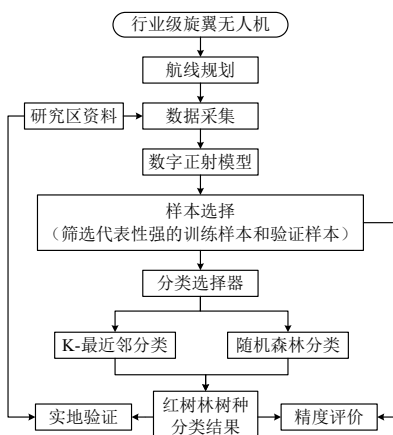


图2技术路线图

Fig2. Technology roadmap

(二) 样本选取

依据相关调查,该区域的真红树林树种共有8种之多,而半红树林树种则有5种^[9]。综合实地踏勘与影像数据的目视解译结果,确定无瓣海桑、桐花树、白骨壤、秋茄、木榄等五种树种为该区域

优势树种,并作为本分类研究对象,建立解译标志(表1)。

表1红树林物种解译标志
Table 1. Mangrove species interpretation sign

树种	无人机影像	拍摄树种照片	树种特征
木榄			墨绿色、团簇、树冠位于中层、边界清晰
无瓣海桑			高度最高、集中连片、绒状质感
白骨壤			浅绿色、斑驳纹理、叶子较小、分布在栈道两边
桐花			绿色、多分布于路两边、纹理清晰
秋茄			色泽偏浅、叶片形态细碎、分布较散

(三) 分类方法

1. 随机森林分类

随机森林属于一种基于决策树所形成的整合手段。它通过构建多棵决策树并进行组合预测,以提高模型的泛化能力和预测精度^[12]。其核心公式如下:

$$\hat{y}(x) = \arg \max_{c \in C} \sum_{k=1}^K I(h_k(x) = c) \quad (1)$$

其中, $\hat{y}(x)$ 为样本 x 的最终分类结果, C 是所有类别集合, K 为决策树数量; $h_k(x)$ 是单棵决策树输出, $I(\cdot)$ 统计单棵树投票, $\sum_{k=1}^K I(h_k(x) = c)$ 为类别 c 总票数。

2. k 近邻分类

K 近邻核心原理在于“相似对象归属于同一类别”^[13]。通过计算待分类对象和训练样本之间的距离,识别出与之最为临近的 K 个样本,找出出现次数最多的邻居,将其划分到相应的类别中。

$$(x_i, y_i) = \sqrt{\sum_{k=1}^n (x_{ik} - x_{jk})^2} \quad (2)$$

x_i, y_i 代表不同样本点的特征向量, n 则表征特征数量。

3. 精度评价

Kappa 系数属于衡量分类结果一致性的一项关键指标。其核心公式如下:

$$\hat{K} = \frac{P \sum_{i=1}^n P_{ii} - \sum_{i=1}^n (P_{i+} P_{+i})}{P^2 - \sum_{i=1}^n (P_{i+} P_{+i})} \quad (3)$$

Kappa 系数取值区间 [-1, 1], 分五个等级。值在 0.61 至 0.80

表示分类结果和实际吻合程度较高；0.81至1.00表示分类的结果和实际基本保持一致^[14]。

三、结果与讨论

（一）分类结果

对研究区域内的5种核心优势红树林树种展开分类提取。共选择训练样本点50余个。结果如图2所示。两种算法的分类效果基本一致。研究区内红树林树种分布密集。无瓣海桑分布最为广泛。秋茄与白骨壤在区域的上部，中部，下部成分片分布。秋茄树种的分布区域相对较小，主要集中在研究区中部和中上部的道路两旁。桐华树在研究区的下部呈较多的密集分布的状态，在研究区中部的道路附近也有一片集中分布的区域。木榄多被无瓣海桑遮挡，其分类结果较少，以小群落的形式零星分布。

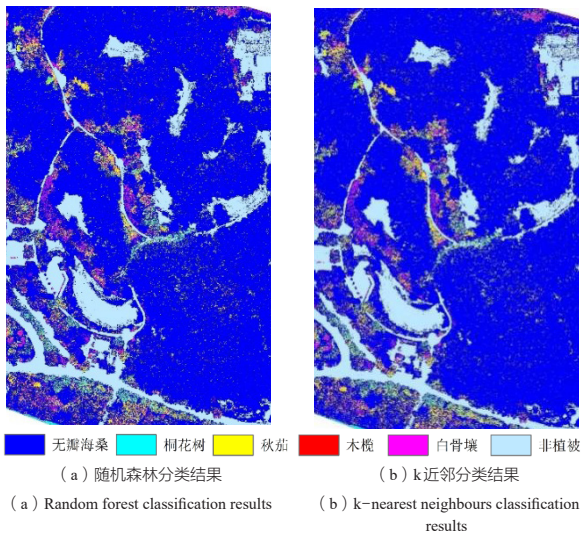


图2红树林分类结果

Fig2. Mangrove classification results

基于混淆矩阵对分类精度进行评价（表2）。两种方法的Kappa系数值都处在0.81至1.00区间，说明两种方法分类效果都较好。随机森林的Kappa系数更高一些。

表2. 总体精度对比

Table2. Overall accuracy comparison

	总体精度（%）	Kappa系数
随机森林	94.8972	0.8845
K近邻	94.2155	0.8690

（二）实地验证

在研究区设置93个验证点（如图3）。对每一个实地点进行对比，结果表明随机森林算法的精度达到了92.47%，分类结果质量较好。

（三）讨论

根据对研究区5种优势树种的分类提取及精度验证，随机森林和K近邻两种算法都得到了较高的分类精度，总精度为94.8972%和94.2155%，Kappa系数分别为0.8845和0.8690，都处在0.81到1.00，说明无人机可见光遥感结合传统的机器学习算法对于红树林精细分类有很好的可行性和实用性。

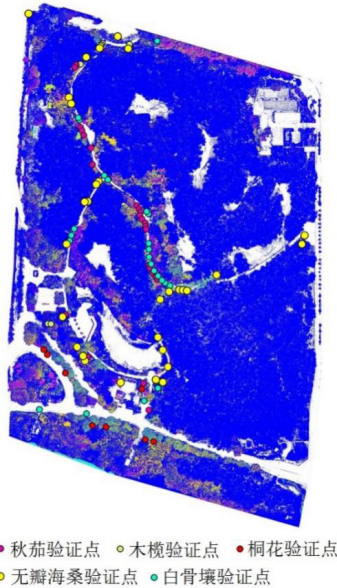


图3 验证点分布

Fig3. Validation Point Distribution

四、结论

本文利用精灵4无人机所获取的可见光数据，对惠州大亚湾红树林湿地公园5种优势红树林树种进行分类。实验表明，随机森林算法与k近邻算法对红树林树种的分类结果具有较好的一致性，都能得到较高的分类精度。相比较而言随机森林算法分类更为稳定。

参考文献

- [1] 张书蝶,付波霖,高二涛,等.联合 UAV-LiDAR点云和 SSAFormer的红树林群落精细分类[J].遥感学报,2025,29(05):1140-1163.
- [2] 闻馨,贾明明,李晓燕,等.基于无人机可见光影像的红树林冠层群落识别[J].森林与环境学报,2020,40(05):486-496.DOI:10.13324/j.cnki.jfcf.2020.05.005.
- [3] 刘凯,龚辉,曹晶晶,等.基于多类型无人机数据的红树林遥感分类对比[J].热带地理,2019,39(04):492-501.
- [4] 冯家莉,刘凯,朱远辉,等.无人机遥感在红树林资源调查中的应用[J].热带地理,2015,35(01):35-42.
- [5] 胡健波,张健.无人机遥感在生态学中的应用进展[J].生态学报,2018,38(01):20-30.
- [6] 林石卿,邱敏婷,于法钦.大亚湾红树林国家级城市湿地公园的红树林资源[J].广东园林,2018,40(02):84-87.
- [7] 陈学梅,缪绅裕,罗志荣,等.大亚湾红树林研究Ⅰ. 澳头港的红树植物群落[J].植物学通报,1998(4):57-60.
- [8] 缪绅裕,林海波,陈学梅.大亚湾红树林研究Ⅱ. 澳头港部分红树植物的生态生理[J].植物研究,1997(3):99-104.
- [9] 曾宪光.惠州红树林湿地资源现状及保护对策[J].惠州学院学报(自然科学版),2008(6):55-57.
- [10] 柯东胜,彭晓娟,吴玲铃,等.大亚湾典型生态系统状况调查与分析[J].海洋环境科学,2009(4):421-425.
- [11] 盛大勇,陈东明,卢永辉,等.广东大亚湾水产资源省级自然保护区红树林资源空间分布研究[J].惠州学院学报,2022,42(03):37-43.
- [12] Catani F, Lagomarsino D, Segoni S, et al. Landslide susceptibility estimation by random forests technique:sensitivity and scaling issues[J]. Natural Hazards and Earth System Sciences, 2013, 13 (11): 2815-2831.
- [13] T.M. Cover, P.E. Hart, Nearest neighbor pattern classification, IEEE Trans. Inf. Theory 13 (1) (1967) 21 - 27.
- [14] 王凤霞,李屹,夏卓异,等.基于 Sentinel-2A的红树林提取机器学习方法比较[J].测绘地理信息,2023,48(03):79-81.