引文格式：孙立娥,李金玺,徐可,等. 基于MobileNet的自然保护区人类活动遥感监测[J]. 地理空间信息, 2025, 23(9): 85-88. doi:10. 3969/j.issn. 1672-4623.2025.09.018

基于MobileNet的自然保护区人类活动遥感监测

孙立娥[1]，李金玺[2]，徐　可[3]，汪进生[1*]
（1. 山东省青岛生态环境监测中心，山东 青岛 266003；2. 平度市自然资源局，山东 平度 266700；
3. 中国石油大学（华东），山东 青岛 266580）

摘　要：以2023年高分辨率遥感影像为数据源，首先利用7种分类方法提取某省级自然保护区的土地利用分类信息，并进行精度评估；再结合人工目视解译识别各种人类活动，并进行人类活动影响评价。结果表明，7种分类方法中MobileNet模型的分类准确率高达98.44%，明显高于传统方法；该省级自然保护区的主要人类活动类型为居民点，其次为农田、交通设施、其他人工设施和旅游用地；保护区总体受人类活动影响轻微，各功能分区中核心区、缓冲区和实验区受人类活动影响程度分别为轻微、一般和较明显。

关键词：遥感监测；MobileNet模型；人类活动；自然保护区
中图分类号：P237　　**文献标志码：**B　　**文章编号：**1672-4623（2025）09-0085-04

Remote Sensing Monitoring of Human Activities in Nature Reserve Based on MobileNet

SUN Li'e[1], LI Jinxi[2], XU Ke[3], WANG Jinsheng[1]
(1. Qingdao Eco-environmental Monitoring Center of Shandong Province, Qingdao 266003, China;
2. Pingdu Bureau of Natural Resources, Pingdu 266700, China;
3. China University of Petroleum (East China), Qingdao 266580, China)

Abstract: Taking the high-resolution remote sensing images in 2023 as the data source, we used seven classification methods to extract the classification information of a provincial nature reserve, and evaluated their accuracy at first. Then, combined with manual visual interpretation, we identified human activities and evaluated the impacts of human activities. The results indicate that the classification accuracy of MobileNet model is as high as 98.44%, which is much higher than other comparative models. The main type of human activity in this provincial nature reserve is residential areas, followed by farmland, transportation facilities, other artificial facilities and tourism development. Overall, the reserve experiences a minor impact from human activities. Among its functional zones, the core area, buffer zone, and experimental zone are affected to a minor, moderate, and relatively noticeable degree, respectively.

Key words: remote sensing monitoring, MobileNet model, human activity, nature reserve

自然保护区作为生态环境保护与可持续发展的重要组成部分，在维护自然生态系统稳定性和保护生物多样性等方面发挥着重要作用。随着经济社会发展和旅游业的扩张，保护区内人类活动强度明显增加，由此引发的非法侵占、生态破坏等问题日趋严峻，已成为保护区保护利用面临的主要制约因素之一。因此，对自然保护区内的人类活动进行监测和评估，并分析其对保护区的影响程度，对于保护区管理和调整保护重点具有重要意义[1]。遥感技术为保护区全域监测提供了不可替代的技术支撑，在自然保护区监控和评估方面得到了广泛应用[2-9]。遥感影像地物分类方法主要包括监督分类和非监督分类，因非监督分类易受“同谱异物”和“同物异谱”现象影响，精度难以满足要求，因此相关研究仍以监督分类为主[10]。随着人工智能技术的发展，深度学习在图像分类领域取得了显著成效，为解决传统监督分类方法在特征提取和分类精度等方面的局限提供了新的技术路径[11]。采用计算机视觉语义分割模型进行高分辨率遥感影像分类的研究日益增多[12]。作为一种典型的深度学习算法，卷积神经网络具备卓越的特征学习和表示能力，在图像处理领域展现出了显著优势[13-19]。本文通过对比传统监督分类、机器学习算法和卷积神经网络深度学习算法在自然保护区土地利用分类应用上的精度，实现保护区遥感影像的快速、准确分类，并通过分析评价人类活动的分布特征及其对保护区的生态影响，为制定保护措施提供科学依据。

第一作者简介：孙立娥（1986—），硕士，高级工程师，从事海洋与生态遥感研究工作，E-mail：sle_903@163.com。
通信作者：汪进生（1975—），本科，高级工程师，从事海洋与生态监测工作，E-mail：qdjdwjs@163.com。

1 研究区概况与数据处理

1.1 研究区概况

该省级自然保护区于2002年12月经山东省政府批准成立，既承担着生态保护的主责主业，又承担着港产城岛融合发展的重要使命，范围包括海域和陆域海岛两部分，总面积为3 283.2 hm^2，其中核心区面积为922.6 hm^2，缓冲区面积为231.2 hm^2，实验区面积为2 129.4 hm^2。该海岛是中国北方第一高岛，2021年经中国质量认证中心认证，成为全国首个“负碳海岛”；2022年10月成为青岛市唯一的生态产品价值实现机制省级试点；先后荣获全国森林康养基地、中国地质文化岛、全国林草科普基地等国家级荣誉称号。

1.2 数据来源与处理

本文采用2023-04-17的高分二号卫星遥感影像，图像质量良好，且在研究区域无云遮挡。高分二号卫星搭载全色多光谱相机，全色波段为450~900 nm，蓝光、绿光、红光、近红外波段分别为450~520、520~590、630~690和770~890 nm。对影像进行正射校正、几何精校正和融合处理，用于分类信息提取。

2 自然保护区人类活动信息提取分类方法

2.1 分类方法

基于2023年高分二号卫星遥感影像数据，获取研究区森林、灌木、裸岩、农田、道路、建筑、海域等地物的空间分布信息，用于创建样本数据集。数据集按照3∶1∶1的比例划分训练集、验证集和测试集。本文对比分析了监督分类中的最大似然法[20]，机器学习中的支持向量机[21]、随机森林[22]以及深度学习卷积神经网络（LeNet[23]、ResNet[24]、DenseNet[25]、MobileNet[26]）的分类性能，采用迁移学习的策略进行提取分类，并根据提取精度确定最优分类模型。

2.2 精度分析

本文采用准确度（Accuracy）、精度（Precision）、召回率（Recall）和F1-score等指标来衡量各类方法的分析性能。

$$\text{Accuracy}=\frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \tag{1}$$

$$\text{Precision}=\frac{TP}{TP+FP} \tag{2}$$

$$\text{Recall}=\frac{TP}{TP+FN} \tag{3}$$

$$\text{F1}-\text{score}=\frac{2\times\text{Precision}\times\text{Recall}}{\text{Precision}+\text{Recall}} \tag{4}$$

真正例（*TP*）、正反例（*TN*）、假正例（*FP*）、假反例（*FN*）的定义见图1，混淆矩阵的4个象限展示了分类结果与真实标签的对应关系。

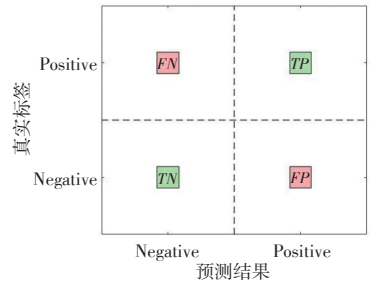


图1 混淆矩阵四象限图

本文采用相同的测试集对各分类方法进行对比实验，结果见表1，可以看出，MobileNet模型的精度最高，在预训练模型中的Accuracy为78.69%，迁移学习后的Accuracy为98.44%，Precision为98.48%，Recall为98.38%，F1-score为0.984 3。MobileNet模型的基本单元为深度可分离卷积，这种分离式卷积策略使得网络参数规模得到有效控制，在大大缩短耗时的同时显著提高了精度。因此，本文基于MobileNet模型的分类结果，结合人工目视解译对人类活动进行精细化分类，开展进一步的自然保护区人类活动影响评价。

表1 各分类方法精度对比

分类方法	Pre-accuracy/%	Accuracy/%	Precision/%	Recall/%	F1-score
最大似然法	65.32	80.48	99.00	98.51	0.987 5
支持向量机	70.21	82.38	99.02	100.00	0.995 1
随机森林	73.43	91.90	99.02	100.00	0.995 1
LeNet5	61.90	80.48	99.00	98.51	0.987 4
ResNet50	71.43	86.67	100.00	97.02	0.984 9
DenseNet121	75.76	95.42	97.49	93.32	0.953 6
MobileNet	78.69	98.44	98.48	98.38	0.984 3

3 人类活动遥感监测与评价结果

3.1 评价方法

为量化评估各种人类活动对自然保护区的影响程度，本文依据原环境保护部发布的《自然保护区人类活动遥感监测技术指南（试行）》[27]，采用人类活动影响指数（NRHI）对该省级自然保护区的人类活动影响情况进行评价。

$$NRHI=\frac{1}{S}\sum_{i=1}^{n}a_i b_i x_i \quad (5)$$

式中，a_i 为保护区各功能区的影响权重，核心区为0.6，缓冲区为0.3，实验区为0.1；b_i 为各种人类活动对保护区的干扰权重（表2）；x_i 为人类活动面积；S 为保护区总面积。

表2　各种人类活动对自然保护区的影响权重

类型	对自然保护区的影响程度	影响权重
工矿用地	100	0.21
采石场	90	0.19
能源设施	90	0.19
旅游用地	80	0.17
交通设施	50	0.11
其他人工设施	30	0.07
养殖场	10	0.02
农田	10	0.02
居民点	10	0.02

3.2　结果分析

3.2.1　人类活动类型与分布特征

基于最优分类模型分类结果，结合人工目视解译，本文提取该省级自然保护区中各种人类活动信息，并对人类活动类型面积进行分析。结果表明，该省级自然保护区内共监测到5种人类活动，总面积为78.92 hm^2，占保护区总面积的2.40%；在保护区内的主要人类活动为居民点，占保护区内全部人类活动的42.15%，其次为农田（29.18%）、交通设施（18.60%）、其他人工设施（9.21%）和旅游用地（0.86%），未监测到工矿用地、采石场和能源设施等开发建设活动。

通过GIS空间叠加技术，将人类活动图层与保护区功能区划图层进行叠置分析，从而提取不同功能分区内各种人类活动的空间分布特征。由图2可知，保护区内人类活动强度呈现明显的空间分异特征，实验区内人类活动最密集，缓冲区和核心区内人类活动较少；实验区内人类活动总面积为76.52 hm^2，占该区总面积的3.59%，主要人类活动为居民点；缓冲区内人类活动总面积为1.52 hm^2，占该区总面积的0.66%，主要人类活动为交通设施，有少量其他人工设施；核心区内人类活动总面积为0.88 hm^2，占该区总面积的0.10%，只有少量交通设施和其他人工设施。

3.2.2　人类活动影响指数评价结果

利用人类活动评价模型，对该省级自然保护区NRHI进行量化分析，并参照山东省省级自然保护区的研究结果[5]确定分级范围，即轻微0<NRHI≤0.000 50、一般0.000 50<NRHI≤0.001 00、较明显0.001 00<NRHI≤0.003 00、明显0.003 00<NRHI≤0.008 00、剧烈NRHI>0.008 00。评价结果显示，该省级自然保护区NRHI为0.000 12，人类活动影响程度等级为轻微；进一步计算各功能分区的人类活动影响指数，结果见表3，可以看出，核心区内人类活动非常少；缓冲区内基本无开发建设活动，仅有少量交通设施和其他人工设施；实验区内有少量开发建设活动，主要为居民点、农田和交通设施。

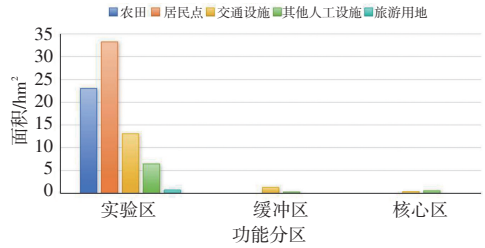


图2　各功能分区内各种类型人类活动面积

表3　各功能分区人类活动影响评价结果

功能区	NRHI	等级	活动特征
核心区	0.000 08	轻微	人类活动非常少
缓冲区	0.000 67	一般	基本无开发建设活动
实验区	0.001 47	较明显	有少量开发建设活动

3.3　人类活动监测建议

1）建议加强对保护区内农业活动的监管，并制定相应的管理措施，减少农药和化肥的使用，保护土壤和水资源，最大程度地减少农业活动对保护区生态环境的负面影响。

2）交通路网规划应尽量避开鸟类栖息地和动物迁徙通道，减少交通对自然景观的破坏，并采取相应的环保措施来减少交通活动对生态环境的不利影响。

3）根据保护区的承载力控制旅游规模，划定游客开放区域，在重点区域设置生态教育展板，并制定相关规范和措施，确保旅游活动与自然环境的协调发展，建成可持续发展的生态旅游体系。

4）虽然未监测到矿产资源开发和工业等建设活动，但相关管理部门仍要加强对保护区内潜在的非法开发行为的定期排查，可采用遥感与地面巡查相结合的方式，发现有疑似生态破坏情况及时核实整改。

综上所述，本文研究结果为省级自然保护区的管理和保护提供了重要的参考依据，但仍需进一步开展保护区保护成效动态评估等相关研究工作，实现对保护区人类活动的科学高效监测管理，确保自然资源的长效利用与生态系统的有效维护。

4　结　语

1）本文利用监督分类、机器学习和深度学习7种

分类方法提取了某省级自然保护区的土地利用分类信息，并进行了精度评估。结果表明，采用MobileNet模型的Accuracy为98.44%，Recall为98.38%，F1-score为0.984 3，明显优于其他方法；但传统人机交互目视解译在检验和修正误差等方面仍具有不可替代的优势。

2）保护区内的人类活动主要为居民点，其次为农田、交通设施、其他人工设施和旅游用地。从功能分区来看，人类活动对保护区的影响主要在实验区，对缓冲区和核心区的影响很小。

3）采用NRHI评价人类活动对该省级自然保护区的影响，结果表明保护区总体受人类活动影响轻微。根据各功能分区的评价结果，核心区、缓冲区和实验区受人类活动影响程度分别为轻微、一般和较明显。

基于深度学习的MobileNet模型基本可有效监测自然保护区的人类活动，但仍存在一些问题需要深入研究。首先，需要进一步提升遥感影像语义分割算法的准确性和鲁棒性，可通过分析对比不同分类算法对工矿企业、采砂采石等重点人类活动的识别能力，探索更先进的深度学习模型结构，以提高遥感影像语义分割的精度和泛化能力；其次，受限于遥感影像分辨率，监测到的人类活动面积尤其是耕地面积可能大于实际面积，在下一步监测中，可结合现场核查和相关资料调研，更准确地摸清保护区人类活动现状，为保护区动态监管和保护提供科学依据；最后，还需加强保护区的监测与监管体系建设，通过建立完善的遥感监测网络和信息平台，实现对人类活动的实时监测和评估。

参考文献

[1] 徐网谷,秦卫华,刘晓曼,等. 中国国家级自然保护区人类活动分布现状[J]. 生态与农村环境学报,2015,31(6):802-807

[2] 刘晓曼,李静,刘玉平,等. 自然保护区人类活动天地一体化监管与评价技术体系[J]. 中国环境科学,2016,36(10):3 135-3 142

[3] 曹巍,黄麟,肖桐,等. 人类活动对中国国家级自然保护区生态系统的影响[J]. 生态学报,2019,39(4):1 338-1 350

[4] 宋拥军,吴静,王慧敏,等. 基于地理国情的自然保护区人类活动监测研究[J]. 地理空间信息,2020,18(10):5-9

[5] 孔梅,孟祥亮,高洁,等. 山东省省级自然保护区人类活动遥感监测与评价[J]. 环境监控与预警,2020,12(1):16-19

[6] 林涛,彭鹏,李煜. 安徽省大方寺省级自然保护区人类活动遥感监测[J]. 安徽地质,2022(增刊1):71-75

[7] 王娟,王志红,张建国,等. 河南省国家级自然保护区人类活动遥感监测及其影响强度评价[J]. 自然资源遥感,2022,34(4):235-242

[8] 杨志刚,黎颖卿,秦琳,等. 广东国家级和省级自然保护区人类活动遥感动态监测与评价[J]. 自然保护地,2022,2(3):120-128

[9] 孙立娥,汪进生,王明丽. 崂山省级自然保护区人类活动遥感监测与评价[J]. 河北环境工程学院学报,2022,32(5):81-85

[10] 李道纪. 基于深度学习的高分辨率光学遥感影像典型地物智能分类技术研究[D]. 郑州:战略支援部队信息工程大学,2020

[11] 李慧慧. 基于深度学习的高分辨率遥感影像典型地物要素分类研究[D]. 西安:长安大学,2022

[12] 朱叶飞,秦小麟,詹雅婷,等. 卷积神经网络和视觉注意力语义分割模型在高分辨率遥感影像分类中的性能分析[J]. 地质学刊,2023,47(3):271-281

[13] He K M, Zhang X Y, Ren S Q, et al. Deep Residual Learning for Image Recognition[C]//Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition. Los Alamitos, USA,2016:770-778

[14] 王协. 融合多尺度学习与深度卷积神经网络的高分辨率遥感图像土地利用信息提取方法[D]. 杭州:浙江大学,2018

[15] 门计林. 基于卷积神经网络的高分辨率遥感影像土地利用分类[D]. 武汉:中国地质大学,2019

[16] 马永建. 基于CNN的高分辨率遥感影像典型农作物分类方法研究[D]. 石河子:石河子大学,2020

[17] 龙丽红. 基于深度学习的土地场景分类应用研究[D]. 汕头:汕头大学,2022

[18] 田智慧,常蓬,赫晓慧,等. 一种基于CNN-GCN的高分辨率遥感影像土地覆盖分类[J]. 测绘科学,2023,48(6):59-72

[19] 陈秋影. 基于深度学习的中分辨率影像分类与应用:以雄安新区为例[D]. 淮南:安徽理工大学,2023

[20] 李帅,张梦华,郭力娜. 不同监督分类器对土地利用分类精度的影响[J]. 华北理工大学学报(自然科学版),2018,40(2):42-48

[21] 高晗. 基于SVM的图像分类算法[D]. 长春:吉林大学,2016

[22] 姚明煌. 随机森林及其在遥感图像分类中的应用[D]. 泉州:华侨大学,2014

[23] 舒军,杨露,陈义红,等. 基于小数据集的改进LeNet图像分类模型研究[J]. 中南民族大学学报(自然科学版),2019,38(4):605-612

[24] 石灵杰. 基于深度学习ResNet模型的遥感图像森林分类研究[D]. 长沙:中南林业科技大学,2022

[25] 孙炳靖. 基于改进DenseNet的遥感图像分类算法研究[D]. 哈尔滨:哈尔滨理工大学,2022

[26] Howard A G, Zhu M L, Chen B, et al. MobileNets: Efficient Convolutional Neural Networks for Mobile Vision Applications[J]. arXiv:1704. 04861,2017:362-371

[27] 环境保护部. 自然保护区人类活动遥感监测技术指南(试行)[Z].