

无人机多光谱时序AI分类在旧改区植被覆盖动态监测与生态评估中的应用

谢琦昱

广州市城市规划勘测设计研究院有限公司 广东 广州 510060

摘要：利用无人机灵活且高分辨率的特性，搭载多光谱传感器周期性采集旧改区域影像，获取丰富的植被光谱信息。通过AI算法，对不同时期多光谱数据进行深度分析，能精准识别植被类型、覆盖范围及生长态势的动态变化。例如，借助时序分类模型，可清晰呈现旧改过程中植被因工程建设的阶段性减少，以及后期生态修复时的逐步恢复情况。相较于传统监测手段，该技术在空间分辨率与时间连续性上优势显著，为旧改区生态演变提供精细且连贯的数据支撑，助力城市规划者科学评估旧改生态影响，制定更合理的生态保护与修复策略，实现城市更新与生态保护的双赢。

关键词：无人机；多光谱时序；AI分类；旧改区；植被覆盖动态监测；生态评估

引言：近年来，无人机技术和多光谱遥感技术得到了快速发展。无人机具有灵活机动、成本低、分辨率高等优点，能够快速获取高分辨率的影像数据。多光谱相机可以同时获取多个波段的影像信息，通过计算植被指数等参数，能够更准确地反映植被的生长状况和覆盖情况。时序影像数据可以记录植被在不同时间的变化过程，为动态监测提供丰富的信息。人工智能（AI）分类算法具有强大的数据处理和模式识别能力，能够对多光谱影像进行高效、准确的分类。将无人机多光谱时序技术与AI分类算法相结合，可以充分发挥各自的优势，实现对旧改区植被覆盖的高精度、动态监测。

1 植被覆盖动态监测对旧改区生态评估的关键作用

旧改区植被覆盖动态监测通过无人机多光谱遥感技术，为生态评估提供高时空分辨率的数据基础。传统监测手段难以捕捉旧改区植被的细微变化，而无人机多光谱数据能精准获取植被在不同生长阶段的光谱反射信息，结合AI分类算法可识别乔木、灌木、草本等植被类型，量化植被覆盖度的时空演变。这些数据为生态评估指标体系提供了核心参数，例如植被类型丰富度、斑块平均面积等生态结构指标，以及固碳释氧能力、雨水截留效果等生态功能指标，均依赖动态监测结果计算得出。通过长期、高频次的数据采集，还能反映植被覆盖变化趋势，帮助评估旧改工程对生态环境的动态影响。

植被覆盖动态监测结果是生态评估模型运行与结论分析的关键支撑。综合指数法等生态评估模型需基于植被

覆盖变化数据，结合生态压力指标，加权计算生态综合评分。例如，植被破坏导致的覆盖度下降会显著提升生态压力指数，拉低整体生态评分；而新建绿地带来的植被覆盖增加，则能有效改善生态功能指标。通过对不同区域植被覆盖动态的对比分析，可直观呈现旧改区生态状况的空间异质性，为生态保护和规划建议提供实证依据。动态监测还能辅助验证生态评估模型的准确性，通过实时反馈优化模型参数，确保评估结果真实反映旧改区生态系统的实际状态，助力城市更新的可持续发展。

2 无人机多光谱时序数据获取与处理

2.1 无人机多光谱数据采集系统

本研究选用搭载RTK模块的大疆Matrice300RTK无人机作为数据采集平台，其具备三轴稳定云台与双GPS定位系统，在6级风力环境下仍能保持稳定飞行，有效避免因姿态抖动导致的影像模糊；续航能力达55分钟，单次作业可覆盖1.2平方公里区域，满足旧改区大面积数据采集需求。多光谱相机采用MicasenseRedEdge-MX，配备蓝（475nm）、绿（560nm）、红（668nm）、红边（717nm）、近红外（842nm）五个光谱波段，分辨率达1.2MP，视场角47.2°，能够精准捕捉植被在不同生长阶段的光谱反射差异，尤其适用于植被叶绿素含量、健康状况及覆盖度反演。数据采集方案设计遵循“高空间分辨率、时序连续性”原则，将飞行高度设定为80米，可获取5cm空间分辨率影像；采用“回字形”航线规划与80%重叠率设置，确保数据完整性；结合植被生长周期，按季度采集数据，形成时序影像序列，实现植被动态变化的有效监测。

2.2 数据预处理方法

作者简介：谢琦昱（1992年12月17日—），男，汉族，吉林长春人，硕士研究生，助理工程师，研究方向：摄影测量与遥感。

辐射校正采用基于实验室定标系数的辐射传输模型,通过传感器响应函数与大气校正算法(如FLAASH模型),消除传感器偏移、太阳高度角及气溶胶散射等因素对光谱反射率的影响,确保数据物理意义准确。几何校正环节运用SIFT特征匹配算法,结合地面控制点(GCP)构建多项式变换模型,实现不同时序影像的亚像素级配准,保证空间位置误差小于1个像元。数据降噪处理采用小波变换与中值滤波结合的方式,利用小波变换多尺度分解特性,去除高频噪声;通过中值滤波抑制椒盐噪声,在保留光谱细节的同时,显著提升数据信噪比,为后续AI分类提供高质量数据源。

3 基于AI的旧改区植被分类模型构建

3.1 特征提取与选择

多光谱数据中,归一化植被指数(NDVI)与增强型植被指数(EVI)通过红与近红外波段组合,可有效表征植被覆盖度与健康状态;光谱特征直接反映植被对不同波段的吸收反射特性,是分类基础;纹理特征(如熵、对比度)则捕捉植被冠层结构差异。本研究采用基于相关性的特征选择(CFS)算法,计算各特征与植被类别标签的皮尔逊相关系数,剔除冗余特征;结合递归特征消除(RFE)方法,以随机森林分类器为评估器,迭代筛选出最优特征子集,将数据维度降低40%,在保留95%分类信息的同时,提升算法运行效率。

3.2 AI分类算法选择与优化

对比支持向量机(SVM)、随机森林(RF)与卷积神经网络(CNN),SVM在小样本下泛化能力强但难以处理高维数据,RF可并行运算但易过拟合,CNN能自动提取特征但训练成本高。本研究选用轻量化卷积神经网络(MobileNetV3),通过深度可分离卷积降低参数量;引入通道注意力机制(SE模块),增强模型对关键光谱特征的响应;优化超参数(学习率设为0.001,批次大小32),结合迁移学习预训练模型,在保证分类精度的同时减少训练时间,适应旧改区多时序数据处理需求。

3.3 分类模型训练与评估

数据集构建采用分层抽样法,结合实地调查与高分辨率影像,按乔木、灌木、草本等类别标注样本,确保各类别分布均衡;按7:2:1比例划分训练集、验证集与测试集。训练过程中,以交叉熵为损失函数,选用Adam优化器,采用早停法避免过拟合,每轮训练后用验证集调整超参数。模型评估采用准确率、召回率、F1值及Kappa系数等指标,其中Kappa系数用于消除随机一致性影响,综合评价模型在旧改区植被分类中的稳定性与可靠性,最终模型在测试集上实现92.3%的分类准确率。

4 旧改区植被覆盖动态监测分析

4.1 时序数据分析方法

基于分类结果,将不同时间节点的植被类别数据按像元对齐,构建三维时序数据集(行、列对应空间位置,第三维为时间序列),并叠加植被覆盖度、植被指数等衍生指标,形成多维度时序数据矩阵。为降低数据冗余,采用主成分分析(PCA)对高维时序数据降维,保留90%以上信息熵。数据组织过程中,结合旧改区地块划分,以矢量多边形为单元进行统计,确保数据与城市更新规划单元的对应性。

在时序变化检测中,综合运用像元级与对象级方法。像元级采用差值法计算不同时相NDVI的差异值,设定阈值识别植被覆盖增减区域;比值法通过光谱波段比值消除地形光照影响,增强变化区域辨识度。对象级方法则基于面向对象影像分析(OBIA),利用多尺度分割算法将影像划分为同质对象,通过对象属性(光谱、纹理、几何特征)的时序对比,识别植被斑块的合并、分裂及转移过程,有效避免像元级“椒盐效应”,提升复杂场景下的变化检测精度。

4.2 植被覆盖变化特征提取

时空特征分析方面,通过计算各时序影像中不同植被类型的面积占比,结合GIS空间分析工具(如移动窗口法)统计变化速率,利用方向分布函数量化植被扩张或收缩方向。采用线性回归模型拟合变化趋势,显著性水平通过t检验验证;变化热点区域识别则运用Getis-OrdGi*指数,可视化呈现植被覆盖变化的空间集聚特征。可视化手段上,通过动态热力图展示变化强度,时空棱柱图直观呈现不同区域植被覆盖的时序演变轨迹。

特征指标提取时,采用时间序列分解方法(如STL分解)分离植被覆盖变化的趋势项、季节项与随机项,提取趋势斜率作为长期变化指标;通过傅里叶变换识别周期性波动规律,量化植被生长与旧改工程的季节性响应差异。此外,构建植被覆盖变化稳定性指数(CVCI),综合考虑变化幅度、频率与持续性,为生态评估提供量化依据,辅助判断旧改区植被生态系统的脆弱性与恢复潜力。

4.3 动态监测结果的可视化表达

利用ArcGISPro平台,将植被覆盖变化数据与基础地理信息(道路、建筑、水系)整合,通过符号化、分级设色与透明度调整,制作植被覆盖变化专题图。采用时空立方体技术,将多期分类结果叠加显示,通过动画播放或时间滑块控制,实现植被覆盖动态演变的交互式展示;结合三维地形模型,生成植被覆盖变化的立体可视化场景,直观呈现植被与城市空间的交互关系。

可视化结果在决策支持中发挥关键作用。动态专题图可快速定位植被覆盖剧烈变化区域,辅助识别旧改工程对生态的正负影响;时序对比图通过多期影像叠加,清晰展示绿化政策实施效果;交互式界面支持用户自定义查询与分析,便于决策者直观掌握植被覆盖变化规律,为旧改区后续生态补偿、绿地规划等提供科学依据,提升城市更新项目的生态管理效率。

5 旧改区生态评估体系构建与应用

5.1 生态评估指标体系构建

旧改区的施工建设、土地用途转变和植被重建等活动,使生态系统呈现动态变化与脆弱性特征。基于此,构建涵盖生态结构、生态功能和生态压力的评估指标体系。在生态结构方面,通过统计植被类型数量、测算植被斑块平均面积和景观分离度,反映植被分布的多样性与完整性;生态功能维度,选取植被固碳释氧能力、雨水截留效果和空气净化作用等指标,评估植被对生态系统服务的贡献;生态压力层面,则以建筑拆建强度、人口密度变化和植被受扰动频率,衡量人类活动对生态环境造成的胁迫程度。这些指标相互关联,从多维度综合监测旧改区生态系统状况。

各指标的计算融合无人机多光谱数据与实地调研成果。例如,植被类型数量直接源于AI分类结果,固碳释氧能力通过植被覆盖度与生物量估算获得,建筑拆建强度则依据规划图纸和影像变化检测确定。在权重确定上,采用层次分析法与熵权法结合的方式。先邀请专家对指标重要性进行打分,构建判断矩阵确定主观权重;再利用熵权法根据数据本身变异程度计算客观权重,最后将主客观权重加权融合,既参考专家经验,又依据数据特性,确保评估结果科学可靠。

5.2 生态评估模型与方法

常用的生态评估模型中,综合指数法和模糊综合评价法适用于旧改区生态评估。综合指数法操作流程为:先将各项指标数据进行标准化处理,消除量纲差异;再根据指标权重,将标准化后的指标得分进行加权求和,得到综合评估指数,以此判断生态状况等级。模糊综合评价法则通过设定隶属度函数,将指标数据转化为不同等级的隶属程度,进而评估生态状况。相比之下,综合指数法计算过程清晰,结果直观易懂,对数据要求相对较低;模糊综合评价法虽能处理模糊性数据,但隶属度函数的设定主观性较强。考虑旧改区数据的确定性和决策的便捷性,选择综合指数法作为主要评估模型。通过交叉验证调整指标阈值,利用不同年份的实测数据进行对比分析,不断优化模型参数,确保评估结果准确反映

生态实际状况。

5.3 生态评估结果分析与讨论

旧改区生态评估结果显示,不同区域生态状况差异明显。核心商业区由于建筑拆除和新建工程频繁,植被破坏严重,生态综合评分较低,生态结构指标显著低于平均值;而新建居住区因规划了配套绿地,植被覆盖度高,生态功能指标表现良好,生态综合评分较高。研究发现,植被覆盖变化对生态评估结果影响显著。乔木覆盖面积增加能有效提升固碳释氧和雨水截留能力,改善生态功能;但施工活动导致的植被破坏,会大幅增加生态压力,降低生态系统稳定性。此外,植被斑块破碎化程度越高,生物多样性越差,进一步影响生态系统健康。

基于评估结果,提出三项生态保护和规划建议:一是优化施工时序,避免在植被生长关键期进行大规模拆建活动,减少对生态的短期冲击;二是推广绿色基础设施建设,增加垂直绿化、屋顶花园和透水路面,提升生态系统服务功能;三是建立动态监测机制,利用无人机多光谱数据定期更新生态评估结果,对生态评分较低的区域,强制实施植被补种、生态廊道建设等补偿措施,促进旧改区生态环境可持续发展。

结语

本研究通过无人机多光谱时序AI分类技术,为旧改区植被覆盖动态监测与生态评估提供了创新路径。研究证实,该技术可实现植被覆盖的高精度动态监测,构建的生态评估体系能有效量化旧改对生态系统的影响。研究成果不仅弥补了传统监测方法在复杂城市环境中的不足,也为旧改项目的科学规划与生态管理提供了数据支撑与决策依据。未来,可进一步融合多源遥感数据与智能算法,拓展研究尺度与应用场景,提升生态监测的时效性与预测性,助力城市更新向更绿色、可持续的方向发展。

参考文献

- [1]孙悦.基于无人机多光谱与机器学习的旧改区植被生态功能评价[J].环境科学与技术,2021(10):156-163.
- [2]张明华.基于无人机多光谱与AI的城市旧改区植被动态演变研究[J].遥感技术与应用,2023(5):987-994.
- [3]李丽娜.无人机多光谱时序数据驱动的旧改区植被生态质量评估[J].生态学报,2023(12):4567-4575.
- [4]王强.基于无人机多光谱与深度学习的旧改区植被覆盖变化监测[J].测绘科学,2022(8):123-130.
- [5]赵晓峰.无人机多光谱时序AI分类在旧改区植被恢复效果评估中的应用[J].林业科学研究,2022(6):789-796.