

基于遥感与 GIS 的 AI 驱动型区域碳中和评估系统设计

杨丹¹ 邹新宁² 常熙月³

1 自然资源部第二地理信息制图院, 黑龙江哈尔滨, 150080;

2 黑龙江省创图土地测绘有限公司, 黑龙江哈尔滨, 150096;

3 广西嘉元土地规划服务有限公司, 广西南宁, 530200;

摘要:要达成碳中和目的,这是当下全球气候治理的关键话题,文章给出一种融合遥感技术,地理信息系统(GIS),人工智能(AI)办法的区域碳中和评判体系设计想法,目的在于改进碳排放和碳汇识别,量化,预测的精确度和速度,系统架构包含数据收集,碳通量建模,空间分析和AI改良等关键部分,着重探讨多源遥感数据融合,AI模型训练,时空特性提取等核心技术,经过对典型区域的实例模仿,证实了这个系统在碳源识别,碳汇监测,碳中和路线模仿等方面可行且有用,研究成果给地方政府科学规划碳中和战略赋予了重要的技术支持。

关键词:碳中和;遥感技术;地理信息系统(GIS);人工智能(AI)

DOI: 10.69979/3029-2727.25.06.066

全球气候变化问题日益严峻,碳中和成为我国生态文明建设与绿色发展的重要目标,但当前区域碳评估存在数据源分散、评估粒度粗、预测能力弱等缺陷,难以给决策提供精准支撑,遥感和GIS技术可以做到大范围、连续动态地监测环境要素,AI在多维数据融合和模型构建方面有巨大潜力,鉴于此,本文构建起一套以AI为驱动力的区域碳中和评估系统,把遥感观测、空间分析和机器学习方法整合起来,目的就是精确刻画碳排放和碳汇分布情况,有效地预测碳排放动态变化,智能优化减碳路径。

1 系统构架设计与总体流程

1.1 系统架构概述

本系统围绕区域碳中和评估的核心需求,构建起包含数据采集与预处理、碳排放与碳汇识别、空间分析与动态模拟、碳中和路径优化这四大模块的集成架构,系统整体采用模块化与服务化相结合的设计理念,使得各个功能模块既可以独立部署,又可以组合使用,提升了平台的灵活度和可扩展性。在底层技术架构里,遥感和GIS技术负责地理背景以及地物识别的任务,给AI建模给予优质的空间数据支撑,中间层整合了机器学习和深度学习模型,应对复杂的碳排放和碳汇特征分析,上层是数据管理和可视化的平台,面向决策部门的交互式分析和策略制订。该系统既可应用于大尺度的省域评估,又可在城市或者某个特定的功能区落地,做到区域化、定制化部署,工程适配性高,具备较好的实践推广价值。

1.2 多源遥感数据集成方法

区域碳评估非常依赖高时效、高分辨率、多维度的遥感数据,系统整合了MODIS、Sentinel-2、Landsat8等多源遥感平台的数据,并结合低空无人机影像,可以做到从30米分辨率到0.2米高分辨率的地表监测,数据预处理包含辐射校正、大气校正、几何配准、波段融合等环节,保证不同时间、不同传感器之间的数据具有可比性。利用植被指数(NDVI、EVI)、地表温度(LST)、净初级生产力(NPP)等参数反演得到反映碳交换能力的基础指标,再在此基础上建立区域动态生态特征数据库,用于后续碳排放估算及碳汇评估。遥感数据的集成和自动处理能力大大提高了评估系统对数据的响应速度和空间覆盖范围,为区域碳中和分析提供了坚实的数据基础。

1.3 GIS 空间建模与碳因子库构建

系统依托GIS创建起多维空间数据库,针对区域内的土地利用类型,生态系统类型,工业分布以及交通走廊等展开网格化创建并加以编码,从而给碳通量的空间化表达赋予地理容器,通过空间叠加分析加上权重设置,系统可以自动识别不同功能区的碳排放或者碳汇潜力,而且,创建起以地理单元和行业门类为依托的碳因子库,包含能源使用系数,煤炭,天然气的碳排放系数,农业作物吸碳系数,林草碳密度系数等重要参数,并且按照行政层级和生态类型实施动态更新,系统可以灵活调用多尺度(市县级,功能区,生态单元)的碳因子,在做到碳排与碳汇精确计算的同时,也给碳中和方案的模拟与调整供应了权威的参数支撑,加强了系统在科学性和政策适应性方面的保证。

1.4 数据平台与可视化接口设计

为了方便操作，更好的进行成果传播，开发了面向政府、科研和公众3类用户的数据管理与展示平台。平台以WebGIS为基座，利用三维地图、交互图层、图表组件等实时展示各个地区的碳排放强度分布，碳汇变化趋势以及碳通量的演进路线等主要成果，用户可以依据行政区域、生态功能区、自定义的空间范围等多个视角展开多维剖析，并且能够结合AI模拟出来的信息来做碳中和情形的对比分析和未来走向的预判，平台上还包括数据导入导出功能，不同层级的访问权也做了设置，有助于各个地方的碳中和行动计划对接，便于实施管控。该平台还可以与主流监管平台对接API数据接口，做到对碳评估数据进行监管并与政策相关联以及碳交易系统相结合，从而推进碳治理过程的智能化系统化。

2 AI 算法在碳评估中的应用逻辑与模型构建

2.1 碳排放估算的回归预测模型研究

碳排放的估算要在能源消耗、交通流量、产业结构等多因子数据之上创建预测联系，本系统用随机森林回归（RandomForestRegression），梯度加强树（GBDT）等集成学习算法，依靠历史碳排放统计，空间土地利用改变数据来创建碳排放量预测模型，该模型在训练时会自动选取重要特性，而且可以处理非线性联系，从而优化模型的推广能力，应对不同区域的差异性特点。

2.2 面向碳汇评估的深度学习模型设计与构建

植被碳汇评估依托对植被种类、健康状况、生物量等要素的识别与估量，系统凭借卷积神经网络（CNN）模型提取遥感图像中的地表纹理及光谱特征，达成精准的森林与草地识别，再融合LSTM长短期记忆网络，预测不同时间序列下的植被生长变化趋向，深度模型在应对遥感图像的繁杂改变时表现较为突出，给碳汇估算给予动态、细致的基础。

2.3 碳中和路径推演的强化学习方法研究

制定碳中和路径时要顾及经济发展、产业替换、土地转型这些因素的演化进程，系统采用强化学习（ReinforcementLearning）策略，创建起“区域状态-碳排放改变-政策动作”三元组，在不断反馈当中改善碳中和路径，该模型通过模仿“决策-环境反馈-迭代更新”的流程，找到最佳的减排路线和土地利用调整方案，具备动态适应能力。

2.4 AI 模型融合与误差校正机制

为了防止单一模型可能出现的预测误差，系统采取了多模型融合策略，把线性加权平均、堆叠回归（Stacking）、贝叶斯优化等方法结合起来，创建起集成评价体系，而且，系统还设置了残差分析和自适应误差修正机制，自动针对误差较大的地区或者时段给予加权处理，从而提升总体评价的准确度和稳定程度。

3 区域碳通量时空演化与动态模拟分析

3.1 区域碳源汇空间分布特征分析

借助融合遥感数据反演和AI模型输出结果，系统达成对区域碳源与碳汇的空间显性化识别，在地理信息系统当中塑造空间网格化碳通量图层，剖析各地块每单面积的净碳排放情形，拿城市群来说，交通干线，工业园区有明显的碳源特征，周围林地，湿地，水体之类则为碳汇地带，这种精细的空间表达有益于政府合理规划绿色隔离带和生态修复区。

3.2 多时序遥感驱动的碳通量演变监测

系统接入历史遥感数据（2000年至今），利用时序N DVI/EVI、地表温度（LST）、NPP反演结果，结合地表分类变化、AI预测模型重建碳通量历史演变序列，结果显示，快速城市化区域碳排放增加趋势明显，部分生态工程区域（退耕还林、湿地恢复）碳汇能力增强，该监测结果为碳中和路径时间分布设计提供数据支持。

3.3 土地利用变化对碳通量的情景模拟分析

创建土地利用改变带动的“碳通量转移矩阵”，按照典型发展情况（城市扩展，生态退化，产业更新），设定不同的土地改变路线，模仿各类改变对区域碳排放和碳吸取能力产生的影响，模拟结果显示，农田变成林地或者草地时，碳汇能力大幅改善，水体变成建设用地则会使碳排放飞速增长，这类情形分析给土地空间规划和碳预算经营给予科学支撑。

3.4 多尺度碳动态模型及其时空异质性表达

区域碳通量在空间上具有明显的异质性，不同尺度下碳收支特征存在很大差异，要准确揭示这种时空变异特征，本系统搭建了多尺度碳动态模型框架，在网格尺度（1km×1km）、行政尺度（县市级）和生态功能区尺度（林区、湿地区）上，同步开展碳通量核算和动态模拟，从数据建模角度，系统综合运用遥感反演结果和地面观测数据开展时间序列分析，采用Kalman滤波、多元时间回归等方法增强对碳变化趋势的捕捉能力，在空间分析方面，借助Moran's I、Getis-OrdGi*等空间统计方法，描绘碳排放和碳汇的聚集情况、冷热点分布及空间演变路径。结果表明城市边缘区、产业过渡带往往出现碳通量高变区域，成为政策干预重点，系统通过热力图、动态迁移轨迹图、三维地形叠加图等途径，把

这种异质性直观地可视化出来，给科学拟定空间差异化减排策略给予可靠依据，改进了碳中和路径规划的区域精准度与执行可行性。

4 区域碳中和战略支持与政策集成设计

4.1 多层级碳中和决策的指标体系构建研究

要让区域碳中和评定成果切实服务政策制定，就设计出一套能适应不同管理层级的碳指标体系，包含国家、省、市、区县等多尺度的应用场景，这套体系分成三类，基础指标像单位 GDP 碳排放，人均碳排放，碳汇面积占比这些，适合做横向比较和时间追踪，过程指标有碳排放年增速，达峰年估值，碳中和潜力等级之类，可辅助判断碳中和路径推进到哪一步，结果指标包含碳中和目标达成率，区域碳净排放值这些，用来综合评判治理效果，系统可按用户目的定制指标组合，输出图表和评定报告，给政府制订“碳达峰路线图”，“碳中和任务书”给予数量上的支撑，指标体系还能当作城市绿色转型的评定手段，应用到绩效考核，碳配额制定等情形里，改善政策执行的科学性和精确性。

4.2 服务生态空间管控与资源优化配置

系统的碳评估成果同国土空间规划有着极高的兼容度，在生态保护红线、永久基本农田、城镇开发边界这“三区三线”的基础上，可以更细致地划分碳资源的管理单元，通过叠加碳排放热点图和碳汇高潜图，找出碳环境脆弱区、关键修复区以及碳储调控优先区，从而助力于“多规合一”框架下的土地用途再规划，而且，系统能够模拟不同土地利用调整情况（农田复绿、退建还湿、生态补绿）对碳通量带来的影响，给生态用地优先保护和高碳区产业疏解给予数据支撑，实际应用时，此模块还能帮忙指定碳补偿的空间，划定碳交易的权属边界，改良生态资源的调配状况，提升区域生态系统的碳汇能力，把生态价值有效地转变为碳资产。

4.3 推动区域产业结构转型与绿色政策制定

本系统借助 AI 模型针对不同行业的碳排强度、能源结构和技术路径展开模拟预测，找出各产业在碳减排过程中所遇到的弹性与压力，从而给区域产业政策的绿色转型给予支撑，系统依照碳强度和减排成本评价的结果，可以给出高碳产业退出途径和替代产业的建议，像从高耗能制造转向数字制造或者新能源装备制造之类，还能帮助地方政府按照分行业碳达峰时间表和中和路线图来执行“碳预算制”，系统融合了绿色金融模块，可以对绿色产业的发展潜力和投资回报率进行量化，进而辅助碳减排项目评估和财政补贴发放，凭借上述手段，该系统既能服务环保政策，又能促使区域产业实现高质

量发展，在生态优先的前提下探寻经济增长和碳约束的并行路径。

4.4 促进系统成果与政策平台深度整合

要达成把评估成果转化成管理工具的目的，系统预先设置了和多种政策平台兼容的接口，可以对接生态环境管理系统，碳排放权交易系统，自然资源一张图平台等等，在实际操作里，碳评估的结果可以融入到城市双碳行动计划，能源项目审批程序，重点排放单位监管清单当中去，当作准入门槛或者评估参照，从而改进政策执行的及时性与精确性，而且，系统开放了 API 接口，供科研机构，企事业单位调用相关的模块，自己展开分析或者开发新的场景，像碳足迹追踪，碳资产评估，气候投融资之类的东西，以后这个系统可以变成面向区域绿色治理的统一技术底座，打通从评估，规划，执行到监督的全部环节，帮助地方政府塑造出有前瞻性和智能化特点的碳中和治理体系。

5 结束语

本研究形成了一套依靠遥感与 GIS 技术的 AI 推动型区域碳中和评判体系，该体系融合了诸多数据搜集，AI 塑造，空间剖析，可视表现等单元，可以有效地辨别碳源和碳汇，及时监测碳流量变动，并给碳中和战略规划赋予量化支撑，通过大量尺度，多种情形的模仿剖析，证实了该系统在复杂区域碳评判中的实用性和前瞻性，以后，可进一步扩大此系统在城市更新，生态改良，碳买卖以及气候融资等情形下的应用范围，创建起服务于生态文明创建和“双碳”目的达成的综合管理平台，从而给我国区域绿色转型供应强有力的科技扶持与决策工具。

参考文献

- [1] 葛浩泉, 郑淑莹. 碳中和导向下的装配式乡村 GI 设施设计研究——以梅州市联丰村为例 [J]. 居舍, 2023, (30) : 102-105.
- [2] 杭天. 碳中和背景下基于土地利用的武汉市碳汇格局研究 (2000-2035 年) [D]. 华中科技大学, 2022.
- [3] 陈军华, 李乔楚, 何京. 碳中和目标下四川省低碳效率区域差异性 [J]. 天然气工业, 2021, 41(06) : 162-170.
- [4] 西门子 blueGIS 气体绝缘开关设备：拥抱未来绿色配电，助力中国实现碳中和 [J]. 电气技术, 2020, 21(12) : 9.
- [5] 丁雨莲. 碳中和视角下乡村旅游地净碳排放估算与碳补偿研究 [D]. 南京师范大学, 2015.