

Research on Spatio-temporal Analysis and Prediction of Ecological Environment Evolution Based on Geographic Information Big Data

Mingzhu Chen¹ Ming Cheng²

1. Nanjing Jucheng Geographic Information Technology Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 210041, China

2. Nanjing Jiangdi Surveying and Mapping Co., Ltd., Nanjing, Jiangsu, 211102, China

Abstract

The evolution of the ecological environment exhibits significant spatiotemporal complexity. Traditional monitoring and analysis methods are difficult to handle the integration and processing of multi-source and massive data as well as the analysis of dynamic patterns, which restricts the precise grasp of its evolution mechanism. Based on geographic information big data, this paper integrates multi-source spatio-temporal data such as remote sensing and the Internet of Things. Through GIS technology, it conducts spatio-temporal pattern identification of ecological environment elements, analysis of natural and humanistic driving mechanisms, and multi-scale correlation analysis. It constructs traditional statistical, machine learning, and coupled prediction models. After accuracy verification and optimization, dynamic visual prediction is achieved. With the aim of providing references for decision-making on ecological and environmental protection.

Keywords

Geographic information, big data Ecological environment evolution Spatio-temporal analysis Prediction

基于地理信息大数据的生态环境演变时空分析与预测研究

陈明珠¹ 程名²

1. 南京聚城地理信息科技有限公司, 中国·江苏 南京 210041

2. 南京江地勘测有限公司, 中国·江苏 南京 211102

摘要

生态环境演变呈现显著时空复杂性, 传统监测与分析方法难以应对多源海量数据的整合处理及动态规律解析, 制约了对其演变机制的精准把握。本文基于地理信息大数据, 整合遥感、物联网等多源时空数据, 通过GIS技术开展生态环境要素时空格局识别、自然与人文驱动机制解析及多尺度关联分析, 构建传统统计、机器学习及耦合预测模型, 经精度验证与优化后实现动态可视化预测, 以期为生态环境保护决策提供参考。

关键词

地理信息大数据; 生态环境演变; 时空分析; 预测

1 引言

生态环境演变的时空复杂性已成为全球可持续发展面临的关键挑战, 其涉及土地覆盖变化、水资源动态、气候变化响应等多维过程, 需依托精准的时空信息解析机制。地理信息系统 (Geographic Information System, GIS) 凭借空间数据处理、分析及可视化能力, 为生态环境监测与管理提供了基础支撑, 其整合多源数据的能力, 已在生态评估、土地利用规划等领域展现出技术优势。伴随时空大数据时代到来, 生态环境数据呈现海量性、多源性、时空关联性特征,

卫星遥感、无人机测绘、物联网传感等技术的发展, 进一步拓宽了数据获取渠道, 使长时间序列、多尺度生态信息的捕捉成为可能。因此, 进行基于地理信息大数据的生态环境演变时空分析与预测研究具有十分重要的现实意义。

2 基于地理信息大数据的生态环境演变概述

2.1 地理信息大数据的内涵与特征

地理信息大数据是整合遥感影像、GPS 观测、物联网传感等多源时空信息的数据集, 其内涵体现为通过卫星遥感、无人机航测、地面激光雷达扫描及各类传感器等技术手段, 采集涵盖地理坐标、地形高程、土地覆盖、环境参数等多维度信息, 形成兼具空间属性与时间标记的复合型数据集。其特征表现为数据规模从 GB 级扩展至 TB 甚至 PB 级, 呈现海量性; 来源涵盖卫星、航空、地面等多种技术手段,

【作者简介】陈明珠 (1997-), 女, 中国江苏连云港人, 助理工程师, 从事测绘研究。

数据格式涉及 GeoTIFF、Shapefile、LAS 等多种类型，呈现多源性；数据间存在空间坐标关联与时间序列耦合，能反映地理要素在不同时空尺度下的动态变化，呈现时空关联性；可支撑生态环境监测、资源管理等多领域精准决策，具有显著应用价值，呈现高价值性^[1]。

2.2 生态环境演变的理论框架

生态系统动态平衡理论聚焦生态系统在内外干扰下通过组分间物质循环、能量流动及信息传递实现结构与功能的相对稳定，当干扰强度未超出自我调节阈值时，系统可通过反馈机制恢复平衡，反之则发生退化。时空异质性原理体现为生态环境要素在空间上呈现区域分异，如不同地貌单元的植被覆盖差异，同时随时间呈现动态变化，如季节更替引发的植被生长节律，二者耦合形成生态演变的时空格局。人地系统耦合理论关注自然因素与人文因素的交互作用，自然因素中的气候波动、地形特征与人文因素中的土地利用变化、资源开发活动相互影响，共同驱动生态环境的演变过程。

3 基于地理信息大数据的生态环境演变时空分析

3.1 时空格局识别

3.1.1 空间分布特征

基于 GIS 的生态环境要素空间分异分析，依托其空间数据管理与分析功能，整合卫星遥感影像、地面监测数据等多源信息，对植被覆盖、土壤侵蚀等要素的空间分布规律展开系统解析。热点识别通过空间聚类算法，对要素值进行密度分析，定位高值或低值集中区域，明晰生态问题突出或生态质量优良的核心范围，如生态敏感区或植被密集区的空间集聚特征。梯度分析则沿地形梯度、城乡梯度等特定地理方向，量化要素值的变化速率与幅度，揭示不同地理单元间的过渡特征，如从山区到平原的土壤侵蚀强度变化或从城市到乡村的植被覆盖差异，为精准把握生态环境空间异质性提供技术支持。

3.1.2 时间动态特征

时间动态特征分析依托地理信息大数据中的长时间序列数据，涵盖遥感影像时序数据、地面监测站连续记录等多源信息，通过趋势分析与突变点检测解析生态环境要素随时间的演化规律。Mann-Kendall 检验等方法可对植被覆盖度、水质参数等要素的年度或季节性变化趋势进行量化分析，判断其整体上升、下降或稳定态势，反映生态系统在自然与人为因素作用下的长期响应。突变点检测则通过识别序列中趋势发生显著改变的时间节点，捕捉生态环境受突发干扰或累积效应影响的关键转折，为理解演变过程中的阶段性特征提供时间标尺，支撑对生态环境动态变化的精准把握^[2]。

3.2 驱动机制解析

3.2.1 自然驱动因素

自然驱动因素中气候因子的空间关联分析，依托地理信息大数据整合气象站观测数据、卫星遥感反演的温度与降水数据，通过 GIS 空间分析技术构建关联模型。先对多源

数据进行坐标统一与精度校准，消除不同观测手段带来的格式与分辨率差异，再运用空间回归分析量化降水、温度与生态环境要素的空间耦合关系，通过缓冲区分析识别气候因子影响的空间范围与梯度变化，叠加分析则可呈现不同气候分区下生态环境要素的响应特征，以此明晰降水格局变化对区域干湿状况的驱动、温度波动对植被生长节律的影响在空间上的分异规律，为解析自然因素主导的生态环境演变机制提供定量空间依据。

3.2.2 交互作用分析

基于地理探测器的因子协同效应识别，依托地理信息大数据整合自然因子与人文因子的多源数据，通过 GIS 技术进行空间匹配与标准化处理，将各类因子量化为空间图层。运用地理探测器的交互探测模块，对不同因子组合进行分层统计与显著性检验，计算因子交互作用强度值，识别自然与人文因子共同作用时对生态环境演变的影响程度。通过对比单一因子与组合因子的解释力差异，明晰气候波动与土地利用变化叠加、地形特征与城市化进程耦合等协同模式对植被退化、土壤侵蚀等生态现象的驱动强度，以此揭示多因子交互作用在生态环境演变中的非线性关联，为解析复合驱动机制提供量化空间证据，支撑对生态环境变化内在规律的系统认知^[3]。

3.3 多尺度关联分析

3.3.1 微观尺度与宏观尺度的生态过程关联

微观尺度与宏观尺度的生态过程关联分析，依托地理信息大数据整合样地实测数据与区域尺度遥感数据，通过 GIS 技术进行空间匹配与尺度转换。样地数据提供生态过程细节，如植物群落动态、养分循环强度，区域数据呈现大范围生态格局，如植被覆盖变化、气候梯度分布。通过数据标准化处理消除尺度差异，运用空间插值技术将样地数据扩展至区域层面，结合叠加分析呈现微观过程对宏观格局的支撑作用。

3.3.2 跨尺度数据整合方法

从点监测到面模拟的尺度转换技术，依托地理信息大数据整合地面监测站点的点状数据与遥感影像、无人机航测等面状数据，通过 GIS 技术进行数据标准化处理，统一坐标系与分辨率。采用地统计方法对离散点数据进行空间扩展，结合遥感反演的面状信息校准插值结果，减少点数据空间代表性不足的局限。借助多源数据融合技术，将点监测的高精度信息与面数据的大范围覆盖特性结合，通过过程模型模拟不同尺度下生态要素的空间关联，实现从单点观测到区域面状模拟的尺度衔接。

4 基于地理信息大数据的生态环境演变预测

4.1 预测模型构建

4.1.1 传统统计模型

时空自回归模型 (Smooth Transition Autoregression, STAR) 构建依托地理信息大数据中的多源时空数据，整合遥感影像时序数据、地面监测站连续记录及空间属性信息，

通过融合时间序列分析与空间自相关理论,量化生态环境要素在时空维度的关联特征。模型构建中,先对数据进行时空对齐与标准化处理,统一坐标系统与时间尺度,将生态要素值与对应的空间位置、时间节点关联,引入空间权重矩阵表征不同区域单元的地理邻近性,同时纳入时间滞后项反映要素的动态延续性。通过参数估计捕捉空间单元间的相互影响及时间维度的趋势传递,实现对生态环境演变过程中空间依赖性与时间关联性的联合建模,以此模拟植被覆盖变化、污染物扩散等生态现象的时空动态,为基于历史数据推断未来趋势提供统计建模支撑。

4.1.2 耦合模型

过程模型与大数据驱动模型的融合依托地理信息大数据整合生态系统动力学模型所需的机理参数与多源观测数据,通过GIS技术实现空间参数与数据的匹配校准。过程模型基于生态过程内在机理构建数学方程,描述能量流动、物质循环等核心机制;大数据驱动模型通过挖掘海量数据中的关联模式,捕捉复杂非线性关系。融合过程中,利用数据同化技术将观测数据注入过程模型以优化初始参数,同时以过程模型约束大数据驱动模型的输出范围,避免脱离生态机理的过度拟合,借助空间分析技术实现模型结果的区域尺度映射,既保留机理模型对生态过程的解释力,又发挥数据驱动模型对多源信息的整合能力,形成兼具机理支撑与数据适应性的耦合框架。

4.2 模型验证与优化

4.2.1 精度评估指标

RMSE通过计算预测值与实测值偏差的平方均值开方,量化整体误差幅度,反映模型预测结果与地理信息大数据中实测数据的偏离程度;MAE取预测值与实测值绝对偏差的均值,直观呈现平均误差大小,避免极端值对整体误差评估的过度影响。空间一致性检验则通过对比预测结果与实际观测的空间分布模式,借助GIS空间分析技术评估二者在空间聚类特征、梯度变化趋势上的吻合程度,如验证预测的植被退化区域是否与遥感影像识别的退化斑块在空间位置和范围上匹配,结合多源数据融合后的高精度基准,通过三者协同应用,从数值误差与空间分布两个维度衡量模型输出可靠性,为模型参数调整与结构优化提供量化依据^[4]。

4.2.2 模型优化

基于贝叶斯方法的参数调优依托地理信息大数据中的多源先验信息,构建参数后验概率分布模型,通过迭代更新将观测数据融入参数估计过程,修正模型初始参数偏差,使参数取值更贴合生态环境演变的时空特征。迁移学习则针对小样本区域,利用同类型生态系统的海量数据训练基础模型,提取通用特征后迁移至目标区域,结合少量本地样本微调模型参数,减少小样本数据对预测精度的限制,两种方法均通过整合地理信息大数据的多源时空特性,提升模型对生态环境演变复杂过程的适应能力,优化预测结果的稳定性与可靠性。

4.3 动态可视化预测

4.3.1 未来情景模拟

不同气候政策/人类活动情景下的生态环境演变趋势模拟,依托地理信息大数据整合气象数据、土地利用规划数据、政策文本转化的量化参数及多源遥感时序数据,通过GIS空间建模技术构建情景参数体系。针对气候政策情景,纳入温室气体排放控制强度、可再生能源占比等量化指标;针对人类活动情景,涵盖城市化速率、耕地扩张规模、生态保护工程覆盖度等参数。将参数与生态过程模型耦合,通过空间叠加分析生成不同情景下植被覆盖、土壤侵蚀、水质变化等要素的时空动态序列,借助三维建模与动态地图技术呈现演变趋势的空间分布与时间梯度,直观展示不同情景对生态系统结构与功能的影响差异,为政策制定提供可视化的未来生态环境演变参考。

4.3.2 可视化呈现

GIS三维建模依托多源地理信息数据,整合遥感影像、激光雷达点云及地形高程数据,通过空间建模技术构建生态环境要素的立体空间结构,呈现植被分布、地形起伏、水体形态等三维特征,还原生态系统的空间格局与垂直分层。动态地图则结合长时间序列遥感数据与地面监测时序记录,通过图层动态叠加与时序动画技术,展示生态环境要素随时间的变化过程,如植被覆盖季相更替、土地利用类型年度变迁、污染物扩散时空轨迹。二者结合将生态环境演变的空间形态与时间动态融合,通过直观的视觉呈现,将复杂的时空数据转化为可感知的三维场景与动态序列,实现生态环境预测结果的具象化表达,支撑对演变趋势的空间分布与时间进程的综合把握^[5]。

5 结论

综上所述,基于地理信息大数据,通过整合遥感、物联网等多源数据,利用GIS空间分析技术,能够厘清生态环境演变的时空格局及自然与人文因子的驱动机制,构建的耦合模型有助于提升演变预测精度。未来需进一步推进跨部门数据共享与标准化,深化GIS与人工智能、物联网的技术整合,优化长时序预测模型,以提升生态环境管理的精准性与前瞻性,为可持续发展提供更有力的技术支撑。

参考文献

- [1] 刘成,田攀.地理信息系统在环境保护中的应用研究[J].电脑乐园,2021(05):493-495.
- [2] 佟会.地理信息系统(GIS)在生态环境保护中的应用[J].中国科技期刊数据库 工业A,2023(07):45-47.
- [3] 周芬,张亚楠,唐海燕.生态环境领域中地理信息系统(GIS)的应用[J].中文科技期刊数据库(全文版)工程技术,2021(05):85-87.
- [4] 杜丽萍,姚翠翠.地理信息系统在环境保护中的应用[J].中国资源综合利用,2020,38(09):168-170.
- [5] 田川,胡艳红,向浩.浅议生态环境监测在生态环境保护中的作用[J].广东化工,2021,48(15):174-175.