

Model construction and verification of 3d UAV in forest carbon storage estimation

Fangxiang Li

Guangxi Institute of Land Surveying and Mapping, Nanning, Guangxi, 530023, China

Abstract

As the issue of global climate change becomes increasingly prominent, accurately estimating forest carbon storage has become a critical component of ecological and environmental monitoring. Drones, with their efficiency, flexibility, and high precision, are gradually becoming a new tool for monitoring forest resources. This paper focuses on the application of drone real-scene 3D technology in estimating forest carbon storage, constructing a model based on drone 3D point cloud data, and validating the model's accuracy through field data. Additionally, the paper analyzes the issues present in the application of drone real-scene 3D technology and proposes practical improvements and specific measures to address these challenges.

Keywords

Unmanned aerial vehicle; real-world 3D; forest carbon stock; model construction; point cloud data

森林碳储量估算中的模型构建与验证研究

李芳祥

广西壮族自治区国土测绘院, 中国 · 广西 南宁 530023

摘要

随着全球气候变化问题的日益突出, 森林碳储量的准确估算成为生态环境监测的重要内容。无人机实景三维技术因其高效、灵活和高精度的特点, 逐渐成为森林资源监测的新手段。本文围绕无人机实景三维技术在森林碳储量估算中的应用, 重点构建了基于无人机三维点云数据的森林碳储量估算模型, 并通过实地数据验证模型的准确性。另外, 文章重点分析了无人机实景三维技术应用中存在的问题, 并针对问题提出了行之有效的改进方向及具体举措。

关键词

无人机; 实景三维; 森林碳储量; 模型构建; 点云数据

1 引言

森林作为重要的碳汇系统, 在全球碳循环和气候调节中发挥着关键作用。准确测量和监控森林碳储量对评估碳排放、制定生态保护政策具有重要意义。本文聚焦无人机实景三维技术, 构建基于点云数据的森林碳储量估算模型, 结合实地数据进行验证, 旨在提升碳储量估算的效率和准确性, 推动生态环境监测的技术进步。

2 无人机实景三维技术在森林监测中的数据采集与处理

2.1 无人机数据采集技术特点

无人机数据采集技术凭借其机动灵活、操作简便及成本相对低廉的优势, 迅速成为森林遥感领域中获取高质量数据的重要手段。传统的航空遥感虽具备较大覆盖面积, 但在

复杂地形、密林深处及人迹罕至区域的监测中常受限于飞行高度和设备灵活性, 无人机平台则有效弥补了这一不足^[1]。无人机搭载的多光谱相机和激光雷达 (LiDAR) 设备, 能够同步采集高分辨率的二维影像和三维空间信息, 实现对森林资源的全方位精确监测。

多光谱相机可以捕捉不同波段的光谱数据, 帮助识别植物健康状况和物种类型, 而激光雷达则通过激光脉冲获取地形和植被的精确三维结构信息。无人机飞行的高度和路径设计对采集数据的质量有重要影响。合理规划飞行参数, 如飞行高度、速度、航线重叠率等, 不仅能提升数据的空间分辨率和覆盖效率, 还能保证数据的完整性和准确性^[2]。在多变的森林环境中, 灵活调整无人机飞行方案, 能够有效避开遮挡和环境干扰, 确保采集数据的高质量。

无人机数据采集技术的优势还体现在其快速响应能力和多样化的应用场景中。它适用于地形复杂、多样的森林生态系统监测、灾害评估、林业资源普查以及生态环境保护等领域。无人机的低空飞行特性使其能够进入传统航空遥感难

【作者简介】李芳祥 (1996-), 男, 壮族, 中国广西崇左人, 本科, 助理工程师, 从事林业工程研究。

以触及的区域,实现更精细和实时的数据获取,极大提升了森林资源监测的科学性和有效性。

2.2 三维点云数据生成与处理流程

基于无人机搭载的多光谱影像和激光扫描数据,利用多视角立体视觉技术,可以生成高密度、高精度的三维点云数据。这些点云由空间中大量具有三维坐标的点组成,能够详尽反映森林的空间结构特征,是进行森林参数提取的基础数据。

三维点云数据的处理流程包括多个关键步骤。首先是数据预处理,包括去噪和滤波操作,以剔除环境噪声和扫描误差,提高点云数据的质量。随后进行点云配准,将不同视角或不同时间采集的点云数据进行空间对齐,保证数据的连续性和完整性^[3]。此阶段往往结合地面控制点(GCP)和GPS/惯性导航系统(INS)提供的位置信息,实现点云的精确空间定位和正射校正,确保点云数据的地理空间一致性。

经过处理的高质量点云数据能够细致呈现树木的冠层、树干以及地面结构,提供三维空间的真实场景,为后续的森林参数提取和生态分析奠定坚实基础。此外,点云数据在视觉化表达方面也具备较强优势,能够为森林管理者提供直观的森林空间分布和结构信息支持。

2.3 森林参数提取方法

利用处理后的三维点云数据,可以计算森林中树木的多项关键参数,包括树高、冠幅、胸径以及立木密度等。这些参数是森林资源管理和生态研究的重要指标,反映了森林的生长状况、结构复杂性和生物多样性。

树高的测量通常基于点云中树冠顶端与地面点的垂直距离,准确反映树木的生长高度。冠幅则通过分析冠层边界点的空间分布,估算树木的冠层投影面积,反映其生长状态和资源竞争状况^[4]。胸径测量借助点云对树干轮廓的精细捕捉,通过截取一定高度处的断面进行计算,提升了传统人工测量的效率和精度。

此外,基于点云密度的空间分析技术,可以推算森林中立木的密度和分布,为森林结构分析提供重要数据支持。结合多源遥感数据和地面调查数据,采用数据融合技术进一步提升参数提取的准确性和稳定性,减少单一数据源带来的误差和局限。

多参数的综合分析不仅为森林资源普查提供详实数据,也为森林碳储量的估算提供多维度支撑。准确的碳储量评估对于气候变化研究和碳汇管理具有重要意义。通过无人机数据和三维点云技术的应用,森林生态系统的动态监测和科学管理能力显著提升。

3 森林碳储量估算模型的构建

3.1 模型变量的选择与数据准备

在森林碳储量估算模型构建过程中,合理选择输入变量是确保模型准确性和科学性的关键步骤。通常选取的变量

包括树高、冠幅、树种、立木密度等,这些指标不仅直观反映了森林结构特征,也与碳储量密切相关^[5]。为了提升模型的代表性和泛化能力,变量选择注重其生态学意义和统计相关性,避免冗余变量的引入,以保证模型结构的简洁和合理。

数据准备阶段则包括对无人机采集的点云数据与实地样方调查数据的有效整合。通过实地调查数据对无人机遥感数据进行校正,提高数据的准确性和可靠性。此外,数据预处理过程尤为重要,需进行异常值检测,剔除因采集误差或环境干扰产生的异常数据,防止其对模型训练造成负面影响。同时,针对缺失值采用合理的填补方法,如均值替代、插值或机器学习填充等,保证数据集的完整性,为后续模型训练提供高质量的数据基础。

3.2 模型构建方法

森林碳储量估算模型的构建方法主要分为传统统计方法和现代机器学习方法两类。多元回归分析是经典的统计建模方法,能够揭示输入变量与碳储量之间的线性关系,模型结构简单,易于解释和推广。回归模型适合于数据量较小、变量关系较为线性的场景,便于对碳储量的变化机制进行理解和分析。

相比之下,机器学习方法如随机森林、支持向量机(SVM)、梯度提升树等,具备处理复杂非线性关系和高维数据的优势。这些方法能够自动捕捉变量之间的交互作用,提高估算精度和模型的适应性。机器学习模型通常需要较大的训练样本和较高的计算资源,但在复杂生态系统中表现出更强的泛化能力和稳定性。

在实际应用中,常通过比较不同模型的预测性能,包括均方根误差(RMSE)、决定系数(R^2)等指标,选取最优模型方案。此外,结合领域知识对模型结果进行解释和验证,确保模型既具备良好的预测能力,又符合生态学合理性,为森林碳储量的科学估算提供坚实支撑。

4 模型验证与精度评估

4.1 实地数据采集与验证方法

为了确保森林碳储量模型的准确性和可靠性,实地数据采集和验证是关键环节。首先,研究者需选取具有代表性的典型森林样地作为研究对象。这些样地应覆盖不同的林型、树种结构及生长状况,以保证数据的多样性和模型的广泛适用性。在样地内,采用传统的森林调查方法,实地测量树木的胸径、高度、树种等生长参数,并结合生物量方程,计算出地面碳储量的实测数据。这些实测数据为后续无人机遥感数据模型提供了真实的参考标准。

结合无人机采集的高密度三维点云数据,通过特征提取与参数计算,得到模型预测的碳储量数值。随后,将模型预测值与实地实测值进行系统的对比分析。为科学评价模型的性能,通常采用均方根误差(Root Mean Square Error, RMSE)和决定系数(Coefficient of Determination, R^2)等统

计指标。 $RMSE$ 反映了模型预测值与实测值之间的平均偏差,数值越低代表误差越小; R^2 则表示模型对数据变化的解释能力,数值越接近1表示模型拟合效果越好。通过这些指标,能够全面评估模型的预测准确性和稳定性,发现模型潜在的不足之处。

4.2 模型适用性分析

模型的适用性是评价其实际应用价值的重要方面。森林类型、生态区的差异以及环境因素的变化,都会对碳储量模型的表现产生影响。因此,深入分析模型在不同林型(如针叶林、阔叶林、混交林)和不同生态区(如温带、亚热带、热带)的适用性,对于推广应用具有重要意义。

在不同生态区,气候条件、土壤类型和植被结构的差异,可能导致模型预测精度出现差异。通过对多个生态区样地的模型应用结果进行对比,能够识别环境因素对模型性能的具体影响机制。例如,模型在湿润区域可能表现较好,而在干旱区由于植被稀疏,点云数据获取难度较大,模型性能可能有所下降。

对于模型的外推能力,即在样地外进行应用的效果,也需进行深入探讨。通过将模型应用于未采样区域,结合局部实测数据验证模型预测结果,评估其推广能力和鲁棒性。若模型在新区域表现稳定,则表明其具有较强的普适性;反之,则需要针对性优化。

针对模型存在的局限性,提出优化方向,如引入更多环境变量(气候因子、土壤特性)、采用机器学习等先进算法提升模型的自适应能力,从而提升模型的普适性和应用价值。

4.3 影响模型精度的关键因素

模型的碳储量估算精度受多重因素影响,主要包括数据质量、变量选取和模型算法选择三个方面。

首先,数据质量是影响模型性能的基础。点云密度直接影响森林结构参数的提取精度。高密度点云能更准确捕捉树木细节,但数据采集成本较高;低密度点云则可能导致重要特征丢失,影响模型预测的准确性。此外,数据采集的时机也至关重要。季节变化、天气状况和日照条件会影响激光和影像数据的质量,进而影响模型输入数据的准确性。环境干扰,如风速、雨雪等,也可能引入噪声,降低数据的有效性。

其次,变量选取的合理性直接关系到模型的解释力和预测能力。除了传统的森林结构参数(树高、冠幅、胸径等),引入环境变量、遥感指标及多源数据融合,有助于捕捉复杂的生态过程,提高模型的表现力。

最后,模型算法的选择对精度也有显著影响。传统的线性回归模型结构简单、易解释,但对非线性关系的拟合能力有限。机器学习算法如随机森林、支持向量机和深度学习等,能够捕捉复杂的非线性模式,但对数据质量和参数调节要求较高。结合实验结果,建议选择适合具体研究区域和数据特征的算法,并进行充分的参数调优,以实现最佳估算效果。

5 无人机实景三维技术应用中存在的问题及改进方向

5.1 技术限制与挑战

数据采集过程中受天气、飞行高度和遮挡影响,数据完整性受限。点云数据处理复杂,计算资源需求高。模型构建存在过拟合风险,解释性不足。技术应用过程中标准化和规范化尚未完善,影响推广应用。

5.2 融合多源数据的集成化发展

结合航空遥感、卫星影像及地面调查数据,实现多源数据融合,弥补单一数据源的不足。发展高效数据处理和集成平台,提高数据利用效率。促进跨学科合作,实现技术与应用的深度融合。

6 结语

无人机实景三维技术为森林碳储量估算带来了革命性变革,提升了数据获取的精细度和估算的科学性。基于高密度点云的模型构建实现了对森林结构和碳储量的精准评估,为生态监测和碳管理提供重要技术支撑。面对技术和应用的挑战,应加强技术创新和多源数据融合,推动模型的优化和标准化建设。未来,随着无人机及智能算法技术的不断发展,数字化森林碳储量监测将成为生态环境保护的重要手段,助力实现碳中和目标和可持续发展战略。

参考文献

- [1] 郑泽琳.基于无人机多源遥感数据的城市树种识别及生物量估算[D].河南大学,2024.
- [2] 孙钊,谢运鸿,王宝莹,等.基于无人机多维数据集的森林地上生物量估测模型研究[J].农业机械学报,2024,55(06):186-195+236.
- [3] 陈海亮.基于无人机遥感技术的泰山典型林分侧柏碳储量提取方法研究[D].山东农业大学,2023.
- [4] 刘兵兵,魏建新.基于无人机激光雷达的冠层高度产品验证[J].南方农机,2022,53(14):136-140.
- [5] 张冲.基于卷积神经网络与无人机影像的土地覆盖分类及植被提取方法研究[D].北京林业大学,2022.