

智慧林业研究前沿与展望——IUFRO 第 26 届世界大会智慧林业议题综述

曹玉昆 张亚芳 任月*
(东北林业大学 中国 哈尔滨 150040)

摘要: 数字技术和智能技术被视为创新经济和可持续发展的推动力,在改变林业系统未来走向方面隐藏着巨大的发展潜力,智慧林业受到全球学者的广泛关注。本文在收集 IUFRO 第 26 届世界大会智慧林业相关议题文本资料的基础上,利用 python 进行文本分析,总结目前智慧林业领域研究热点前沿问题,以期挖掘未来中国智慧林业的学术研究方向,并为中国智慧林业进一步发展提供指导价值。

关键词: 智慧林业; 数字技术; 数字化; 智能化; 第 26 届世界大会

1 引言

如今全球林业部门面临着严峻的挑战。随着人口的快速增长,对森林产品和生态系统服务的多样化需求日益增长;全球气候变化加剧了林业系统的风险和不确定性;数字技术和智能技术被视为创新经济和可持续发展的推动力,在改变林业系统未来走向方面隐藏着巨大的发展潜力。智慧林业是指通过集成先进的数字技术和智能技术,实现林业管理的全面智能化和信息化,优化林业资源的利用与保护,提升林业管理效率和决策科学性;智慧林业综合运用物联网(IoT)、大数据分析、人工智能(AI)、遥感技术、区块链技术等现代科技手段,构建一个智能化、数据驱动、生态友好的林业管理体系。

2024 年 6 月 23 日至 29 日,国际林联(IUFRO)第 26 届世界大会在瑞典斯德哥尔摩举行。IUFRO 世界大会 5 年举办一次,是全球规模最大、最具影响力的林业学术盛会。此次会议是有史以来规模最大的世界大会,为时一周吸引 4300 余名代表参会,涵盖 3500+场演讲、200+场会议和 70+场展览,代表了林业领域学界、业界的前沿热点。据统计,此次世界大会涵盖智慧林业主题会议 19 场,专题报告、口头报告、海报展出等 297 场,智慧林业主题在诸多林业热点前沿领域中占有一席之地。

本文希望通过系统地收集、梳理和分析此次世界大会关于智慧林业主题的最新研究成果,一是识别智慧林业研究趋势,包括最新的研究方向、热点议题和技术进展;二是综合智慧林业已有的研究成果,促进知识的积累和传播,帮助新加入的研究者迅速了解领域概况;三是探索智慧林业研究空白领域,分析和比较目前不同的研究设计和方法,找到未被充分探索的领域;四是总结智慧林业研究成果的实际应用价值,理论联系实际,为中国智慧林业进一步发展提供指导价值。

2 世界林业大会智慧林业研究概况

根据智慧林业的概念、特征、内涵和外延等内容,从会议日程中筛选出智慧林业关联议题,提取信息构建文本数据集作为本文的研究基础,具体包含:①大会发布的专题会议介绍资料;②19 个专题会议的 297 篇文章信息,主要包含文章题目、摘要、海报和作者所属的国家或地区信息等。在此基础上,以 python 作为主要工具分析文本数据集,过程如下:①导入必要的库;②预处理文本数据,去除停用词、标点符号,并结合研究主题剔除“森林”、“林业”、“树木”等频次过高且分析价值过低的词汇;③计算文本 TF-IDF 值,取最高值生成词云图或使用 heatmap 函数绘制热力图。

基金项目:数字赋能国有林区生态保护修复效率提升路径研究,国社科青年项目(23CGL063)

* 通讯作者

2.1 智慧林业：全球学者的广泛关注点

智慧林业是全球林业领域学术研究的热点问题之一，受到全球学者的广泛关注。根据作者所属的国家或地区信息生成国家频次热力图（详见图 1）和词云图（详见图 2），可以直观地看出一智慧林业研究分布范围广泛，涉及六大洲 40 个国家；二学者参与智慧林业研究活跃度排名前十的国家有瑞典、美国、奥地利、芬兰、意大利、中国、西班牙、德国、巴西和加拿大。这些高活跃度国家一方面由于自身森林资源丰富，智慧林业实践处于世界领先地位，另一方面可能受到会议城市地缘位置的影响，距离近的学者参会积极性更高。

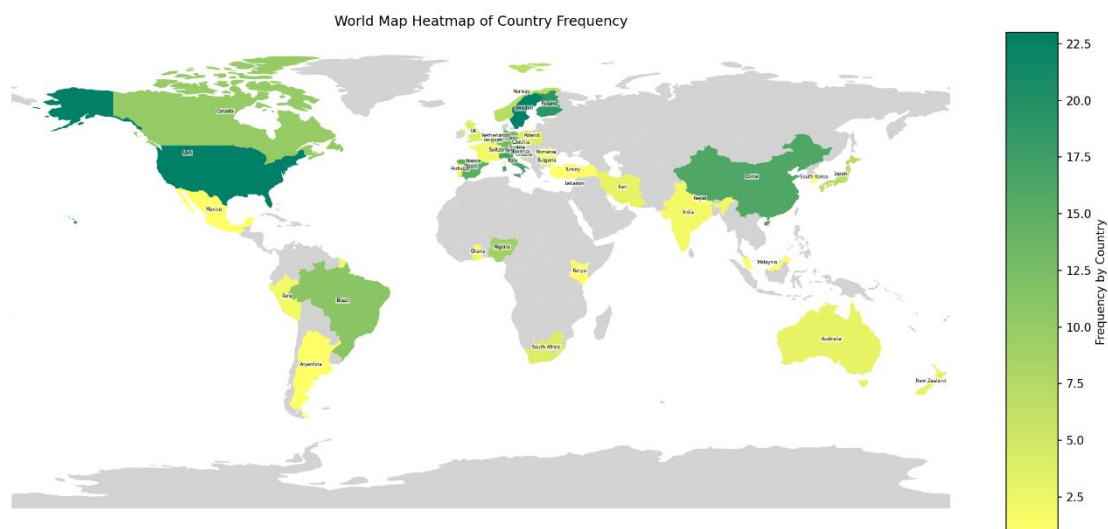


图 1 全球智慧林业研究分布概况



图2 各国学者参与智慧林业研究的活跃程度

2.2 智慧林业：“数据”触发的多领域研究

“数据”作为数字经济的核心三要素之一，在智慧林业研究领域占据着不可或缺的地位。根据文本数据绘制词云图，图3-4分别是本次会议智慧林业19个议题总体和热度前三议题的高频词云图，热度前三的议题分别是“复杂遥感辅助森林调查的发展，以支持森林生态系统的监测和评估”、“可持续森林经理数字化”和“迈向数字森林实现可持续未来”。从四幅词云图可以直观地看出，“数据”一词在每份文本中都处于首要地位。其他重要词汇涉及多学科领域专业词汇，包括树种、遥感监测、森林经理、评估、土地、映射、生物量、激光扫描、无人机图像、机器学习、动态等，主要集中在计算机科学、生物科学等自然科学领域。目前关于智慧林业，国际层面的学术研究涉及多角度、多学科和多领域，学者们更多地关注数字技术的开发与应用、数据的采集与分析，以解决林业可持续发展的现实难题。



图3 智慧林业19个议题高频词



图4 复杂遥感辅助森林调查发展高频词



图5 可持续森林经理数字化高频词



图6 迈向数字森林实现可持续未来高频词

3 自然科学研究视角下的智慧林业

自然科学研究视角下的智慧林业主要集中在两个方面：一是数字化，通过遥感等数字技术应用，实现对森林近实时、多尺度、全方位的监测；二是智能化，智慧决策支持系统帮助解决多目标管理决策、复杂决策和多利益主体决策等森林资源管理经营问题。

3.1 遥感技术与森林监测

遥感技术通过对多时相卫星影像、无人机影像和激光雷达数据的分析,为森林生态系统的监测和评估提供了重要支持。目前这些研究主要集中在利用各种遥感数据和方法评估森林生物量、碳储量、树木健康、林分结构等方面。

其一,森林生物多样性监测。森林生物多样性的监测一直是一个巨大的挑战,特别是在全球范围内。实地生物多样性数据与遥感数据可以提供更全面的生物多样性度量方法,实地数据虽然在确定生物多样性组成、状态和趋势上具有无可替代的价值,但却需要长期的财务和后勤投入,遥感数据为提升森林生物多样性度量提供了新的路径^[1]。通过整合多传感器地球观测数据、综合实地数据和下一代生态模型,可以有效预测森林生物多样性的变化及其直接和间接驱动因素。这种方法有助于实现对森林生态系统范围和生物多样性变化的全面监测^[2]。

其二,森林健康评估。遥感技术在森林健康监测中的应用显著发展。例如,通过分析波兰图赫拉森林的植被指数和分割方法,研究了森林破碎化模式。类似地,结合历史和当前的光谱行为变量,研究人员能够区分大西洋森林中恢复方法的有效性。在瑞典南部,利用多光谱和高光谱无人机影像监测欧洲云杉树皮甲虫的早期入侵。研究表明,通过多光谱和高光谱传感器可以有效检测树木在入侵前的压力,并提出了早期检测方法。这些方法显著提高了入侵早期的检测能力,有助于及时采取防治措施。

其三,生态系统服务监测。研究提出了一种新的方法,基于人类活动地方森林生态文化服务供需监测系统,从个体尺度的供需角度估算文化环境服务得分(ES),基于代理的建模(ABM)来模拟个人远足活动,量化个体层面的供需匹配,为制定有效政策,平衡现实世界中文化服务的供需提供启示^[3]。研究探讨了树木和森林管理中的成功和失败案例,强调了科学知识在公众和政策制定中的重要性,理解森林生态系统服务的复杂性有助于更好地进行森林管理和保护^[4]。

其四,森林碳存储评估。森林碳汇的增强是实现碳中和目标的有效途径。数字技术可以帮助评估森林生态系统的碳储存能力。例如,在秘鲁亚马逊地区,通过长期监测和碳储量评估,发现湿地森林的碳密度极高,这对全球碳循环具有重要意义。类似的研究在日本山毛榉森林中,通过沿海海拔梯度的长期监测,揭示了气候变化对树木生长和呼吸作用的影响。NASA的 GEDI(全球生态系统动态调查)和 Landsat 任务结合的分层模型为森林地上生物量的推断提供了新的方法,通过分解方差和引入自举估计算法,大大提高了生物量估计的精度。GEDI 与多角度光学传感器的结合,进一步提高了森林碳储量的估算能力。中国首颗陆地生态系统碳盘点卫星“句芒”,利用大数据和新激光雷达生物量指数开发的空基激光雷达脚印水平的森林碳储量测量,基于深度学习框架开发的使用主动和被动数据的森林碳储量协同估计方法系统在中国北部和南部进行了测试。

3.2 智慧决策支持系统与经营管理

森林生态系统面临的压力越来越大不仅需要为生物多样性、木材生产、娱乐和其他重要的生态系统服务提供有利条件,还需要适应气候变化。因此,森林管理决策变得非常复杂,需要处理不同管理目标之间的冲突和日益增加的不确定性。森林决策支持系统(DSS)是森林经理和治理决策的重要工具,帮助决策者和利益相关者评估不同管理选项的后果,并找到实现各种管理目标的管理替代方案。

其一,支持多目标管理决策。目前的研究中,智慧决策支持系统不仅可以实现单一目标,而且能够处理多重目标。可持续森林管理涉及具有多个相互冲突的目标函数、多个时期和不同不确定性来源的决策问题,研究设计了一个多情景、多目标、交互式决策支持工具,用于在多个时期进行可持续、稳健的森林采伐调度^[5];在两段式运输案例中,研究提出一种决策支持工具,平衡经济、社会、环境和安全等多方面需求,优化采伐运输和道路决策,以及考虑木材供应链中的多重因素,提出了最佳采伐地点的确定方案^[6]。

其二,解决复杂决策问题。可持续森林经理决策面临时间和空间双重的风险和不确定性以及各种现实

限制性因素, 是一项复杂的决策问题。新一代决策支持系统 PixSim 提供了一个增强森林管理策略和决策过程的强大工具, 能够在像素级别上进行高分辨率的大规模森林模拟, 捕捉到传统模拟器难以察觉的森林内部变异性, 通过改进空间分辨率为森林管理策略提供了更精确的数据支持, 有效应对气候变化等复杂问题^[7]; 战略措施实施面临诸多限制, 例如保护生物多样性丰富的地区、人口减少导致的人力资源枯竭、基础设施老化导致交通受限等, 研究设计出一个在未来不确定条件下实施适应措施的最佳时机和不可逆临界点, 以及预测战略措施实施的效果, 以实现日本九州北部的森林资源保护和利用的可持续^[8]。

其三, 平衡诸多利益相关者的利益。森林经理涉及诸多利益相关者, 决策过程中需要综合平衡他们之间的利益诉求。决策支持系统还强调了利益相关者的广泛参与。例如, 气候智慧型林业的群体决策支持工具, 通过支持森林所有者在气候智慧型林业规划中的协作和权衡分析, 促进了共识解决方案的制定。类似地, 整合决策支持系统 (DSS4ES) 通过涵盖森林、森林景观管理和相关利益相关者之间的关系, 支持全景规划, 增强可持续森林经理, 并推动政策实施^[9]。

4 社会科学视角下的智慧林业研究

效率和公平问题是社会科学研究领域永恒的话题, 社会科学研究视角下的智慧林业也不例外。政策是效率和公平之间的平衡木, 以实现特定的社会、经济和环境目标。社会科学视角下的智慧林业研究主要涵盖效率、公平和政策三个方面。

4.1 效率

4.1.1 智慧林业与未来劳动力

美国以森林为生的农村社区面临巨大挑战, 研究探讨了如何实现林业生产系统现代化, 其中包括利用尖端技术为林业劳动力, 通过采用先进技术推动可持续增长、经济振兴和下一代林业劳动力发展的潜力^[10]。

数字扫盲被视为可持续发展的助推器, 具备数字素养的林业业主有望在推广可持续管理方面发挥重要作用, 他们可以更好地将在线提供的最新信息纳入其管理计划, 或利用不断发展的人工智能工具, 研究探讨了如何提高森林所有者的数字素养, 以及如何加强数字素养与可持续管理之间的联系^[11]。

4.1.2 智慧林业中的现代化作业

要实现可持续的林业运营, 就必须解决安全和劳动力方面的挑战, 前进过程中的自动驾驶是林业自动化的一个关键主题, 沿规划路径安全导航是成功实现自动驾驶的关键, 研究提出了一种易于准备数据集的支线道路分割方法, 为林业机械自动驾驶的发展做出了贡献^[12]。

在葡萄牙, 研究开发了用于植被管理操作的技术解决方案, 利用激光雷达数据和机器学习算法优化机械设备的选择, 这种自动化技术提高了生产力和环境效益。

4.1.3 智慧林业中的人工智能

其一, 人工智能和可视化不断与林草产业深度融合, 推动林草产业高质量发展。阐述了人工智能生成内容 (AIGC) 与林业和草原元宇宙的融合, 特别是在林业和草原虚拟环境和场景生成、林业和草原数字内容创建和生成、实时交互和自然交互生成、林业和草原仿真、预测和决策生成等方面, 可以为森林结构优化、质量提升、生态保护、产业发展提供内容生成, 实现智能分析、比较、优化, 提高决策能力¹。

其二, 人工智能技术应用于木材产业, 提高效率。人工智能具有变革潜力, 研究探讨人工智能在森林生长和产量方面的潜在应用以及在森林基因组学中实施人工智能技术的相关挑战和机遇, 包括数据可用性、模型可解释性以及跨学科合作的必要性^[13]。研究智能森林物流策略应对气候变化和森林灾害带来的供应链风险, 应用离散事件仿真模型在, 通过虚拟环境进行决策测试和评估, 推动协作供应链管理, 实现环境、

¹ HUIAIQING ZHANG, TINGDONG YANG. The development of artificial intelligence and visualization technology promotes the application of smart forestry

经济和社会的可持续发展^[14]。

4.2 公平

4.2.1 林业部门的性别平等

性别平等是实现林业可持续发展的关键因素之一。国际林研联林业性别平等工作组开发并提供了第一门关于林业相关领域性别平等和多样性的大规模在线开放课程(MOOC),是促进平等、多样性和包容性的实用工具^[16]。女性在林业中的网络化也逐渐增强,国际林业妇女组织(WOFO)成立,旨在国际范围内促进妇女在森林和木材领域的利益、促进交流与合作,增加女性在林业领域的影响力^[17]。

4.2.2 数字平台上的森林话语权

数字平台为不同利益相关者参与森林话语提供新机遇和挑战,增加森林治理的公众参与和透明度。一方面,林业数字内容的创作和传播影响森林治理公众参与。芬兰学者通过在线调查和访谈,研究了林业机械操作员在线创作短视频、参与直播等活动的体验和动机,分析了数字化平台如何促使林业交流民主化,探讨了实时对话如何影响围绕森林治理冲突的社会讨论,以及“游戏化劳动”方式如何影响林业工作者的身份认同、社会地位和民生福祉^[18]。另一方面,数字化混合媒体提高了信息传播的速度和广度,改变了社会公众关于林业和保护之间冲突争论的表现方式,从而增加了森林治理的透明度。德国“森林消亡 2.0”事件中,引发了公众对森林健康的关注,Philipp Mack 实证分析不同形式社交媒体上的公共和政治信息传播,结果显示森林危机这一问题是由于林业和自然保护之间结构性两极对立,而数字媒体为两极对立观点提供了缓冲平台^[19];波罗的海地区是欧盟生物经济发展的关键地区也是森林治理冲突的热点地区,通过分析波罗的海三国混合媒体如何影响信息传播和森林话语权,研究数字媒体在森林治理可持续转型的作用^[20]。

4.2.3 森林治理中的数字鸿沟

数据公正性是森林治理中的重要挑战,在大数据和人工智能技术的应用方面尤为突出,数据获取能力差异、偏见和访问权限不平等可能会加剧社会不公,需采取措施识别和减轻这些风险^[21]。

4.3 政策

全球治理与国际合作。欧洲 MoniFun 将通过跨学科、多行为体的方法,共同创建一个统一的欧洲森林多功能性监测系统(EFMMS)蓝图,EFMMS 致力于提升欧洲森林监测的整体效能,支持一系列欧盟政策,包括新森林战略、欧洲绿色协议、生物多样性战略、生物经济战略和可再生能源指令^[22]。数字技术智能技术为全球范围数据库提供支持,全球和地方之间的数字鸿沟加剧科学领域的不平等,影响全球政策和法规的制定。在《生物多样性公约》缔约方的助推下,全球范围内公平公正地获取和互惠共享数字序列信息(DIS),成为政策焦点,Bob Kreiken 探讨全球性和多中心治理系统,提出制度设计应该遵循以价值为中心的基本原则,全球治理耦合系统中的环境正义关系和责任划分,以实现国际合作的公平公正^[23]。

5 结论与展望

智慧林业受到全球学者的广泛关注,相关研究涉及到多角度、多学科和多领域,是现代林业发展的重要方向。本文基于 IUFRO 第 26 届世界大会的文本资料,深入分析了遥感技术、智慧决策支持系统、林业经营管理,以及社会科学视角下的效率、公平和政策等方面的最新进展。这些分析有助于构建一个全面的智慧林业研究框架,为中国乃至全球的智慧林业发展提供指导和启示。

5.1 主要结论

(1)从自然科学的视角来看,遥感技术在自然科学领域的应用已成为智慧林业研究的核心,尤其在森林资源监测和环境变化评估方面表现出显著的优势。通过整合多源数据和应用先进的数据分析技术,这些系统能够为林业管理提供科学、系统的决策支持,从而优化资源分配和提高经济效益。

(2)从社会科学的视角来看,智慧林业不仅仅是技术的应用,更关注于技术如何在提高效率、确保公平和制定合理政策中发挥作用。这要求我们在技术推广和应用过程中,充分考虑社会经济因素和政策环境

的适应性，以及技术发展对不同群体的影响。

5.2 研究展望

未来，智慧林业的研究和实践应更加重视跨学科的合作。通过融合自然科学和社会科学的研究成果，可以更全面地理解和应对林业面临的复杂问题。中国在推进智慧林业发展的过程中，需要继续加强基础研究、技术创新、人才培养和国际合作，确保技术的高效应用和社会经济效益的最大化。

综上，智慧林业的发展不仅仅是科技进步的体现，更是对林业可持续发展战略的一种全新诠释。中国的智慧林业研究和应用，将在全球林业管理实践中发挥越来越重要的作用，为全球林业的可持续发展贡献中国智慧和方案。

参考文献

- Bottom up meets top down: Data and tools for developing forest biodiversity metrics combining in situ and remote sensing
- Operational solutions for biodiversity monitoring and mapping in forest ecosystems
- Jang-Hwan Jo¹, Moongi Choi. Supply and Demand of Local Forest Cultural Ecosystem Services based on Human Activity using Agent-Based Modelling.
- The Realities of Ecosystem Services: Acknowledging the Imperfect Nature of Trees and Forests
- Babooshka Shavazipour, Santeri Karppinen. An interactive decision support tool for sustainable robust forest harvest planning.
- Robert Radics¹, Muhammad Umar¹, Karen Bayne. Environmental, safety and economic benefits of two-stage trucking in harvesting operations, introducing a decision-supporting tool
- Nicolas Cattaneo, Clara Antón Fernández, Rasmus Astrup. PixSim: Enhancing high-resolution large-scale forest simulations.
- Katsuhiro Nakao, Haruka Tsunetaka, Wataru Murakami. Adaptation strategies timeline for conservation and sustainable use of forest resources under uncertainty climate change.
- Jan Kaspar, Emin Baskent, Ola Eriksson, Harald Vacik. Integrated Decision Support Systems for delivery of ecosystem services based on EU forest policies (DSS4ES): New COST Action CA22141 project.
- Woodam Chung¹, Jay Kim, Kevin Lyons. Advancing Technologies for Sustainable Forestry and Workforce Development
- Adan L. Martinez-Cruz¹, Daniel Martey Junior Mensah, Camilla Widmark. Digital literacy among individual forest owners in Sweden – Is it associated with sustainable management?
- Spur road segmentation using text-to-image synthesis for autonomous driving in forest machinery
- HUAIQING ZHANG, TINGDONG YANG. The development of artificial intelligence and visualization technology promotes the application of smart forestry
- Clara Antón Fernández. The potential of artificial intelligence in forest growth and yield modelling
- Christoph Kogler, Peter Rauch. Developing smart forest logistic strategies in serious-game-based simulation workshops.
- Ida Wallin, etc. How to achieve gender equality and diversity in forest-related sectors? Bridging the education–practice gap with a Massive Open Online Course (MOOC)
- Dagmar Karisch-Gierler¹, Iza Pigan, etc. WoFo - Women in Forestry International.
- Philip Chambers, Heli Kymäläinen, Daniela Nousiainen. Content creation and streaming by forest machine operators – current trends and impacts on forest-related discourse
- And the forests tweets will echo with laughter? - German "forest death 2.0" in the hybrid media system
- Kristina Riegert, Ida Wallin. Mediated Battles for the Forest: comparing discursive power in hybrid media systems in the Baltic Sea Region
- Daniel Brockington, Rose Pritchard, Jocelyne Sze. Data Justice and Forest Governance.
- Lauri Mehtätalo¹, Minna Rätty, etc. MoniFun - Co-creating a blueprint of a harmonised European Forest Multifunctionality Monitoring System
- Bob Kreiken. Institutional design for equitable governance of hybrid forest commons.