对话Remote Sensing封面文章作者—Dr. Jose Bermudez

作者：writer 来源：科学网

本文原地址：https://www.iikx.com/news/progress/43175.html

本文仅供学习交流之用，版权归原作者所有，请勿用于商业用途！

对话Remote Sensing封面文章作者—Dr. Jose Bermudez。期刊名： Remote Sensing

期刊主页：https://www.mdpi.com/journal/remotesensing

本期人物专访我们有幸邀请到Remote Sensing期刊(ISSN 2072-4292)第 18 卷第 15 期封面文章的作者之一——Jose Bermudez 博士，基于审稿人与学术编辑对 Jose Bermudez 博士团队文章的高度评价，该文章已被遴选为当期封面。

Jose Bermudez 博士任职于加拿大麦克马斯特大学，致力于遥感与深度学习驱动的森林结构监测研究。在此次访谈中，他与我们分享了研究的主要内容和核心发现，并对相关研究方向进行展望。我们希望本次对话不仅能呈现这项工作的方法亮点，也能为关注森林碳循环、全球森林制图与人工智能地球观测应用的读者带来启发。

爱科学
iikx.com

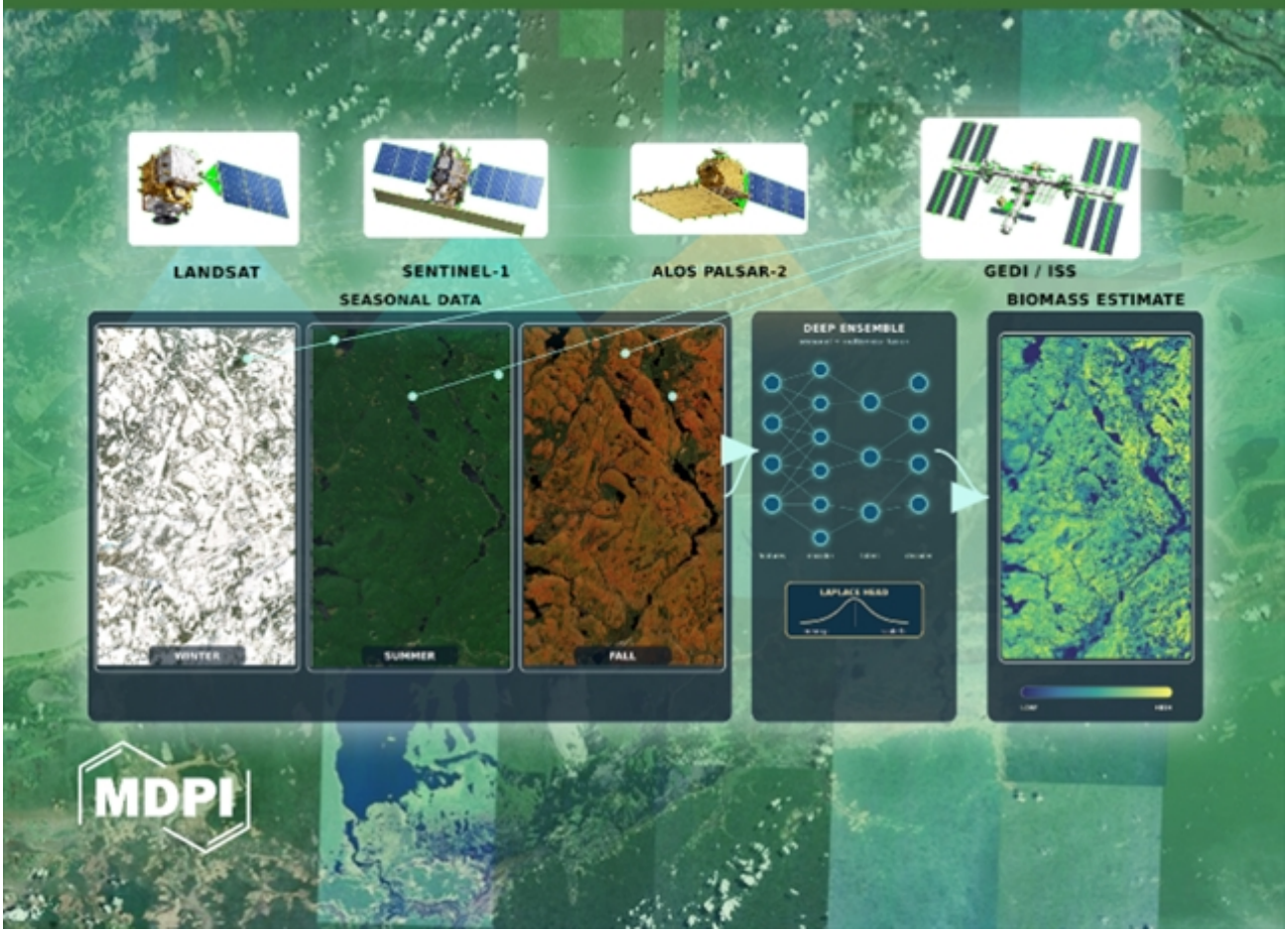
remote sensing

Impact Factor 4.3
CiteScore 9.4

ISSN 2072-4292

Deep Learning Maps Ontario Canopy Height and Uncertainty

Volume 18 · Issue 15 August-1 2026



An Integrated Deep Learning Approach to Estimate Canopy Height and Uncertainty by Combining Seasonal Optical, SAR and Limited GEDI LiDAR Data over Ontario’s Managed Forests, Canada

融合季节性光学、SAR 与有限 GEDI
激光雷达数据估算加拿大安大略省经营林林冠高度与不确定性的集成深度学习方法

作者：Jose Bermudez, Cheryl Rogers, Camile Sothe, Dominic Cyr 和 Alemu Gonsamo

https://doi.org/10.3390/rs18152477

接下来让我们走进与Jose Bermudez 博士的对话：

1. 祝贺您的论文成功发表！能否简要介绍一下您自己，研究的主要内容以及关键发现？

我是本篇封面文章的通讯作者Jose Bermudez，任职于加拿大麦克马斯特大学（McMaster University）地球、环境与社会学院（School of Earth, Environment Society），研究方向聚焦于利用遥感与深度学习技术进行森林结构监测。

在这项研究中，我与合作者开发了一个概率深度学习框架，以 30 米分辨率绘制安大略省全境的森林林冠高度图。该方法融合了季节性 Landsat 光学影像、Sentinel-1 C 波段 SAR 数据、年度 ALOS-PALSAR-2 L 波段 SAR 数据，以及来自NASA GEDI 星载激光雷达的稀疏林冠高度测量数据，可同时生成连续的林冠高度图和逐像元的不确定性图。

在与独立机载激光雷达数据的对比验证中，我们的主要模型表现优异：决定系数 R^2 达 0.70，均方根误差（RMSE）为 3.65 米，偏差仅为 0.23 米。将深度学习中常用的高斯损失函数替换为抗离群值能力更强的拉普拉斯（Laplace）损失函数后，在相同实验条件下，模型的 RMSE 降低了 13.7%，系统偏差也从 1.43 米降至 0.14 米。季节性观测同样显著提升了精度；即使仅使用 SAR 数据，模型在在安大略研究区的各森林类别中的表现也优于现有的四个全球主流林冠高度产品。

2. 森林生态系统在调节全球碳循环中具有关键作用。精确估计林冠高度为何对理解森林结构与碳动态意义重大？

林冠高度是最具信息价值的森林结构遥感指标之一，与树木大小和地上生物量密切相关，因此精确的高度图有助于估算森林碳储量。同时，冠层高度也与森林的碳汇能力息息相关，因为高大的树木通常会持续积累大量的碳。

精确制图之所以尤为重要，是因为即便是适度的系统性高度误差，也会在估算生物量和碳储量时被传递放大为较大的误差。空间连续的高度图还能揭示不同森林类型之间的差异，识别高大林分或更新林分，还能为森林资源清查提供支撑，并助力监测森林扰动与恢复。然而，仅有林冠高度图还不够：用户还需要知道预测结果在哪些区域是可靠的。这也正是为什么我们的研究在提供高度预测的同时，还提供经过校准的不确定性图层。

3. 星载激光雷达虽能提供宝贵的三维信息，但采样空间却有限，这给大尺度的森林监测带来挑战。您的研究方法是如何克服这一局限性的？

GEDI 提供了极具价值的三维测量数据，但它获取的是离散的光斑（footprint）数据，而非连续的全覆盖观测。在本研究中，我们将这些离散的 GEDI 光斑样本用作基于 ResUNet 深度学习模型的训练标签。该模型学习并掌握冠层高度与 Landsat、Sentinel-1 以及 ALOS-PALSAR-2 等空间连续卫星观测数据之间的内在关联。模型训练完成后，即可将 GEDI 样本中的结构信息泛化到所有被其他卫星数据覆盖的像元，包括 GEDI 轨迹之间的区域。

该网络还利用相对较大的感受野获取空间上下文信息，而不是将每个像元视为孤立观测。这使其能够从森林纹理、斑块结构、边缘及邻域异质性等模式中学习。最后，我们采用了模型集成策略与概率拉普拉斯公式来评估每个像元的不确定性。这一点非常重要，因为从稀疏激光雷达样本进行外推会不可避免地引入不确定性，而生成的置信度图可帮助用户识别需要谨慎对待的预测结果。

4. 您的研究集成了光学遥感、合成孔径雷达（SAR）与星载激光雷达数据。这三种观测数据各贡献了什么？为什么融合不同的卫星数据很重要？

每类观测都提供了森林的不同视角：

• Landsat 光学数据捕捉植被的光谱特性，包括绿度、林冠健康状况与季节性物候。冬季、夏季和秋季的合成影像有助于区分展叶期、落叶期以及与积雪或霜冻相关的状态。

• Sentinel-1 C 波段 SAR 主要对叶片、细小枝条、林冠表面、水分以及冻融状况敏感。由于它具备穿透云层成像的能力，在多云多雨的地区能提供可靠的观测。

• ALOS-PALSAR-2 L 波段 SAR
波长更长，对林冠的穿透更深，因此对较粗的枝干和树干响应更强。

• GEDI 激光雷达提供直接的森林冠层垂直结构实测数据。虽然空间上稀疏，但这些测量值构成了训练模型必不可少的高度标签。

融合这些数据很重要，因为它们的优势是互补的。光学数据在持续多云条件下可能无法获取，且在茂密森林中容易出现信号饱和现象；雷达则不受光照和云雨天气影响，且不同波长的雷达能与冠层的不同部位发生相互作用。我们的实验结果表明，多源数据融合是提升整体预测精度的最核心驱动力。其中，季节性的 Landsat 和 Sentinel-1 数据包含了绝大部分的预测信息，而 ALOS-PALSAR-2 的加入则在此基础上实现了精度的进一步提升。

5. 展望未来，您认为卫星技术、人工智能或数据获取途径方面哪些进展将对全球森林监测产生最大影响？

我预计以下几方面的发展将产生重大影响：

第一，新型 SAR 卫星任务将提供更长波长、更高频次的观测，来自 ALOS-4 和 NISAR 的数据，配合即将推出的 P波段 BIOMASS 任务，将大幅提升高郁闭度、高密度森林的反演能力，而这类森林在过去往往是光学和短波雷达信号饱和的区域。

其次，多种星载激光雷达任务的协同联动将展现出巨大的价值。例如，将 GEDI 与 ICESat-2 进行深度整合，可以大幅提高结构训练数据的空间密度和地理覆盖范围，尤其是在 GEDI

观测轨道无法企及的高纬度地区。

第三，人工智能的进步将推动模型具备跨区域、跨传感器和跨时间的学习能力，同时能更高效地利用空间和季节上下文信息。其中，自监督的地球观测大模型（Foundation Models）、迁移学习以及不确定性感知深度学习前景尤其可观。此外，可解释性 AI（XAI）方法也至关重要，因为实际应用端的用户必须理解模型为何会给出某个特定的预测值，以及在什么情况下该预测值是可以被信任的。

最后，当卫星影像、参考测量数据、算力资源、训练好的模型和验证数据集都能开放获取时，效益将最大化。这将使森林地图得以更高频次地更新，并评估方法在不同生物群落间的适用性。

6. 您如何看待开放获取（Open Access）的出版模式对作者的影响？

开放获取出版显著提升了研究的可见度与实际影响力。由于读者不受订阅壁垒限制，论文能够触达科学家、学生、森林管理者、政府机构、本土及地方组织，以及那些期刊订阅预算有限的国家或科研机构研究人员。

对作者而言，这意味着更多的读者、合作机会与成果复用，也可能带来更多引用。同时，它也支持了科研的透明度与可重复性。就本研究而言，论文的开放获取与公开的卫星数据、处理流程、模型训练脚本、训练好的模型权重以及最终的林冠高度图和不确定性图相互呼应，使其他研究者能够评估该方法、将其适配到其他区域，并在我们的结果基础上继续进行更深层次的开拓。

期刊介绍

主编：

Prasad S. Thenkabail, 美国地质调查局西部地理科学中心（WGSC），美国;

汪冬冬, 北京大学，中国

期刊范围涵盖遥感科学的各个方面，从传感器设计、验证和校准，到其在地球科学、环境科学、生态学和土木工程中的应用。

2025 Impact Factor：4.3

2025 CiteScore：9.4

Time to First Decision：22 Days

Acceptance to Publication：2.9 Days

来源：Remote Sensing

更多 科学进展 请访问 https://www.iikx.com/news/progress/

本文版权归原作者所有，请勿用于商业用途，爱科学iikx.com转发