



Rừng ngập mặn tại Vườn Quốc gia Mũi Cà Mau.

ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ TRÍ TUỆ NHÂN TẠO GIÁM SÁT RỪNG NGẬP MẶN TẠI VIỆT NAM

TS Nguyễn An Bình

Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

“

Nhóm nghiên cứu thuộc Phòng Địa lý - Viễn thám, Viện Khoa học sự sống, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã ứng dụng công nghệ viễn thám tích hợp trí tuệ nhân tạo (AI) trong giám sát rừng ngập mặn. Kết quả nghiên cứu không chỉ cung cấp quy trình giám sát hiệu quả cả về mặt hiện trạng, biến động cũng như sức khỏe hệ sinh thái rừng ngập mặn, mà còn mở ra hướng tiếp cận mới, giúp phát hiện sớm các dấu hiệu suy thoái, hỗ trợ quản lý và bảo tồn hệ sinh thái rừng ngập mặn tại Việt Nam.

”

Giá trị của rừng ngập mặn

Đóng vai trò chuyển tiếp giữa môi trường đất liền và đại dương, hệ sinh thái rừng ngập mặn mang nhiều giá trị về chức năng đa dạng sinh học. Đây còn là hệ sinh thái có đóng góp nhiều nhất cho các mục tiêu phát triển bền vững, bao gồm xóa nghèo khi cung cấp sinh kế đa dạng, đảm bảo an ninh lương thực, cải thiện chất lượng nước thải đổ ra đại dương, bảo tồn thủy sinh... Hơn thế nữa, hệ sinh thái ngập mặn còn hấp thụ carbon xanh đóng góp to lớn vào chu trình carbon toàn cầu. Khi so sánh với các hệ sinh thái rừng trên cạn, vành đai rừng ngập mặn có phân bố hẹp và trải dài theo đường bờ biển, dẫn tới nguy cơ dễ bị tàn phá bởi tác động kép của đại dương hướng vào đất liền, cũng như hoạt động nội vùng hướng ra biển.

Việt Nam có 3.200 km đường bờ biển, đã được xác định là nơi dễ bị tổn thương trước các tác động của biến đổi khí hậu và nước biển dâng. Các đô thị năng động vùng ven biển của nước ta tập trung trên 70% tổng dân số toàn quốc, đồng thời là khu vực thường xuyên phải đón nhận các cơn bão nhiệt đới hình thành từ Thái Bình Dương. Trong bối cảnh đó, vành đai rừng ngập mặn không chỉ phục vụ mục đích phòng hộ chắn sóng, chống sạt lở, cải thiện môi trường sinh thái và tăng cường sinh kế, mà còn là hệ sinh thái ven biển nhạy cảm, có tác dụng giảm thiểu hậu quả do biến đổi khí hậu gây ra.

Ứng dụng công nghệ viễn thám và trí tuệ nhân tạo trong nghiên cứu, giám sát rừng ngập mặn

Trước đây, việc theo dõi rừng ngập mặn chủ yếu dựa vào khảo sát thực địa, tuy có độ chính xác cao nhưng lại đòi hỏi nhiều chi phí, thời gian dài và khó thực hiện trên quy mô lớn. Sự phát triển của công nghệ viễn thám và các công nghệ mới như AI, dữ liệu lớn, điện toán đám mây đã mở ra hướng đi mới, cho phép theo dõi chính xác hiện trạng và sự biến động của rừng ngập mặn với độ bao phủ rộng và tần suất cập nhật cao.

Từ năm 2017, các nhà khoa học thuộc Viện Địa lý tài nguyên TP Hồ Chí Minh (nay là Viện Khoa học sự sống), Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam đã có những nghiên cứu đầu tiên về ứng dụng công nghệ viễn thám trong nghiên cứu rừng ngập mặn ở Việt Nam. Việc đánh giá tác động của nuôi trồng thủy sản tới mức độ phân mảnh rừng ngập mặn tại huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau (trước sát nhập) đã chỉ ra rằng, khu vực rừng lõi đã bị ảnh hưởng bởi việc mở rộng các ao nuôi trồng thủy sản. Yếu tố phân mảnh rừng là nguyên nhân dẫn đến việc thu hẹp diện tích rừng từ chính trung tâm của vùng lõi [1].

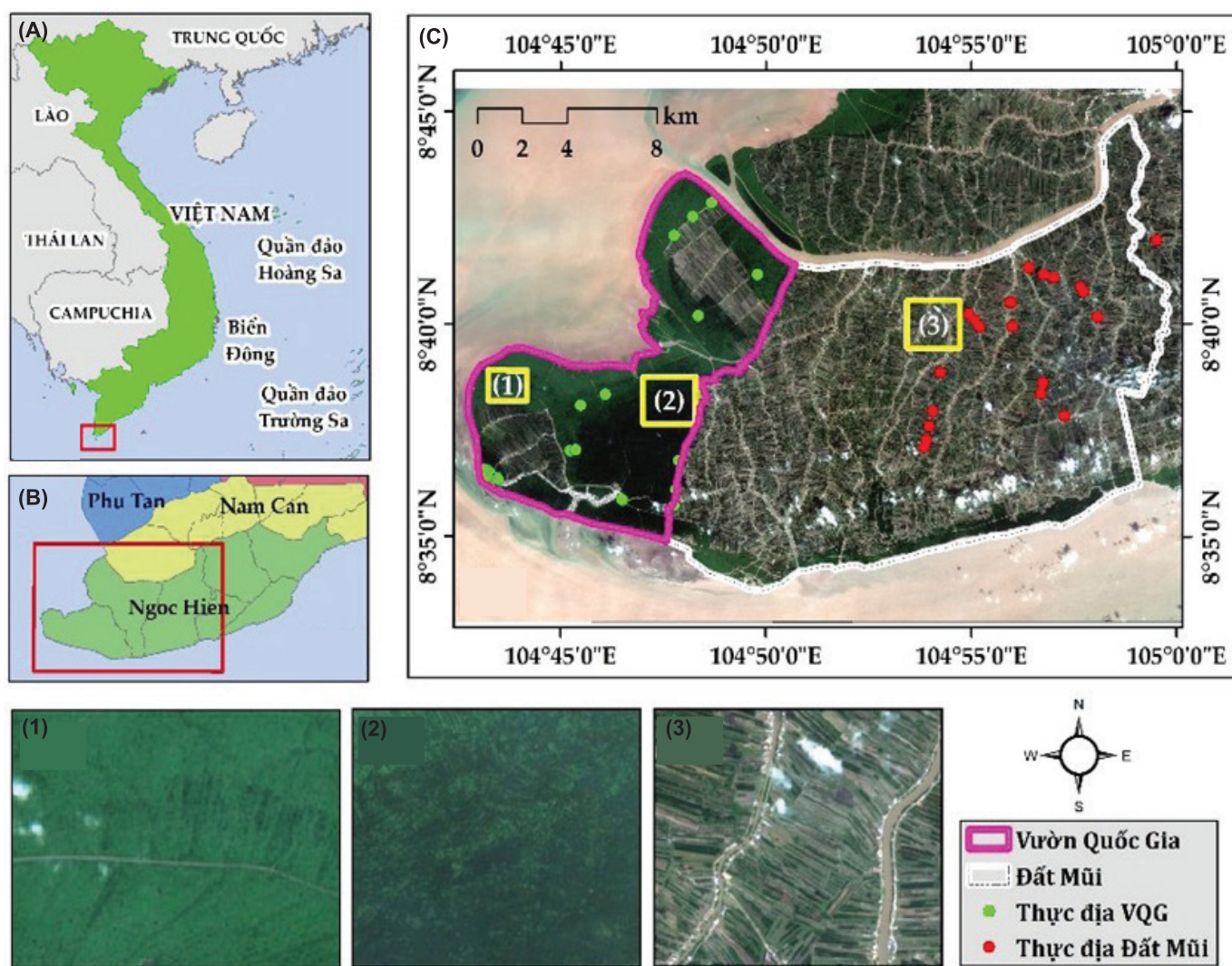
Hiện trạng và biến động diện tích rừng ngập mặn cũng đã được nhóm nghiên cứu thực hiện, với cách thức tiếp cận dựa trên dữ liệu viễn thám, các thuật toán học máy có độ chính xác cao, nền tảng điện toán đám mây để giám sát chu kỳ thời gian dài. Kết quả thử nghiệm tại huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau (trước sát nhập) đã cho thấy mức độ xói mòn bờ biển trước tác động của nước biển dâng và các yếu tố sóng gió vùng ven biển trong giai đoạn 2000-2020. Độ chính xác mô hình trên 90%, cho phép đảm bảo cả về mặt nghiên cứu khoa học, cũng như ứng dụng thực tế để quan sát tác động của sóng, gió tới cường độ bào mòn dải phòng hộ ngập mặn tại Việt Nam [2].

Trong việc định lượng các biến số chức năng rừng ngập mặn, nhóm nghiên cứu đã thử nghiệm thành công và công bố quy trình ước tính dựa trên việc áp dụng mô hình quang phổ vật lý lý thuyết [3]. Thuật toán hồi quy máy học Gaussian Process Regression được sử dụng để huấn luyện, tích hợp kỹ thuật học máy tích cực nhằm lấy mẫu thông minh đã cho thấy khả năng cải thiện đáng kể độ chính xác ước tính các biến số đặc tính thực vật, tại các khu vực cảnh quan rừng đồng nhất và không đồng nhất, kiến trúc tán phức tạp, và đặc biệt hiệu quả đối với hệ sinh thái rừng ngập mặn bị chia cắt.

Trong nghiên cứu mới nhất năm 2024 [4], các đặc điểm chức năng bao gồm diện tích lá, hàm lượng diệp lục, hàm lượng nước, trọng lượng khô đã được ước tính chính xác từ dữ liệu vệ tinh viễn thám Sentinel-2. Khu vực nghiên cứu bao gồm các cảnh quan rừng ngập mặn đa dạng như hệ sinh thái tự nhiên (Vườn quốc gia Mũi Cà Mau) và phần rừng ngập mặn xen kẽ ao nuôi thủy sản (mô hình tôm - rừng) tại huyện Ngọc Hiển, tỉnh Cà Mau (trước sát nhập), nghiên cứu thử nghiệm quy trình ước tính trên ảnh viễn thám Sentinel-2 giai đoạn 5 năm gần đây. Thêm vào đó, nghiên cứu còn quan tâm tới tác động của nền khí

hậu đặc trưng nhiệt đới gió mùa tại Việt Nam, khi cùng lúc cung cấp kỹ thuật tái cấu trúc dữ liệu khắc phục nhược điểm của mây che phủ đối với các sản phẩm viễn thám quang học, và phân tích xu hướng chuỗi thời gian có xét đến ảnh hưởng của chu kỳ mùa trong năm (hình 1).

Dựa trên lý thuyết về tương tác giữa quang phổ ánh sáng và đặc điểm chức năng thực vật, nhóm nghiên cứu đã liên kết các kiến thức vật lý này lên các quan sát từ vệ tinh viễn thám bằng thuật toán học máy Gaussian Process Regression, tạo điều kiện để thành lập các bản đồ đặc điểm chức năng về hóa - sinh



Hình 1. Khu vực nghiên cứu. (A) Vị trí địa lý của khu vực; (B) Khu vực nghiên cứu tại huyện Ngọc Hiển - tỉnh Cà Mau; (C) Dữ liệu từ Sentinel-2 với cận cảnh các khu vực: (1) rừng ngập mặn trồng mới, (2) rừng ngập mặn tự nhiên, (3) rừng ngập mặn sản xuất kết hợp ao nuôi tôm.

- lý trên quy mô không gian và thời gian. Để có thể hoàn toàn làm chủ được quy trình, nhóm đã tiến hành nghiên cứu kiến trúc của thuật toán học máy Gaussian Process Regression và trích xuất toàn bộ các tham số trong mô hình ước tính các đặc điểm chức năng của rừng ngập mặn. Điều này tạo điều kiện thuận lợi cho việc chuyển giao mô hình ước tính lên các nền tảng điện toán đám mây, dẫn đến việc xử lý hàng trăm hình ảnh vệ tinh để lập bản đồ các đặc điểm chức năng của rừng ngập mặn, kèm theo ước tính mức độ bất định của các sản phẩm này. Quy trình hiện được chia sẻ miễn phí tại địa chỉ https://github.com/thangbomhn87/GEE_Mangrove hoặc thông qua thư viện PyEOGPR có sẵn trên hệ sinh thái dữ liệu không gian cơ quan hàng không vũ trụ châu Âu - ESA (<https://dataspace.copernicus.eu/analyse/openeo>)

Với hiểu biết và kinh nghiệm trong lĩnh vực viễn thám rừng ngập mặn, nhóm nghiên cứu tiếp tục mở rộng hợp tác quốc tế trong giám sát các hệ sinh thái rừng ngập mặn trên toàn cầu. Gần đây nhất, nhóm

đã đạt được một số hiểu biết nhất định về hiện trạng và biến động, thay đổi về cảnh quan, cũng như tương tác đối với các thay đổi phức tạp liên quan đến chế độ thủy văn sông - biển tại một số hệ sinh thái rừng ngập mặn như Irrawaddy thuộc Myanmar [5], khu bảo tồn thiên nhiên quốc gia cửa sông Beilun tại Quảng Tây, Trung Quốc [6]. Các hiểu biết có giá trị này tạo điều kiện trong việc mở rộng cả về khu vực, ý tưởng nghiên cứu, cho phép tiếp cận toàn diện hơn về cách mà hệ sinh thái rừng ngập mặn phản ứng với biến đổi khí hậu và nước biển dâng trên quy mô toàn cầu.

Trong tương lai, nhóm nghiên cứu dự kiến tiếp tục phát triển các mô hình phân tích sâu hơn về động thái của rừng ngập mặn, đồng thời thử nghiệm kết hợp dữ liệu từ các nguồn cảm biến khác để cải thiện độ chính xác của dự báo. Công trình này không chỉ mang lại ý nghĩa khoa học và thực tiễn cao, mà còn khẳng định vai trò của các nhà khoa học Việt Nam trong quản lý và bảo tồn tài nguyên thiên nhiên đất nước

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L.T. Hauser, G.V. Nguyen, B.A. Dade, et al. (2017), "Uncovering the spatio-temporal dynamics of land cover change and fragmentation of mangroves in the Ca Mau peninsula, Vietnam using multi-temporal SPOT satellite imagery (2004-2013)", *Applied Geography*, **86**, pp.197-207, DOI: 10.1016/j.apgeog.2017.06.019.
- [2] L.T. Hauser, N.A. Binh, P.V. Hoa, et al. (2020), "Gap-free monitoring of annual mangrove forest dynamics in Ca Mau province, Vietnamese Mekong delta, using the landsat-7-8 archives and post-classification temporal optimization", *Remote Sens (Basel)*, **12**, pp.1-16, DOI: 10.3390/rs12223729.
- [3] N.A. Binh, L.T. Hauser, P.V. Hoa, et al. (2022), "Quantifying mangrove leaf area index from Sentinel-2 imagery using hybrid models and active learning", *Int. J. Remote Sens.*, pp.5636-5657, DOI: 10.1080/01431161.2021.2024912.
- [4] N.A. Binh, L.T. Hauser, M.S. Delgado, et al. (2024), "Monitoring mangrove traits through optical Earth observation: Towards spatio-temporal scalability using cloud-based Sentinel-2 continuous time series", *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, **214**, pp.135-152, DOI: 10.1016/j.isprsjprs.2024.06.007.
- [5] Y. Xiong, Z. Dai, C. Long, et al. (2024), "Machine learning-based examination of recent mangrove forest changes in the western irrawaddy river delta Southeast Asia", *Catena (Amst.)*, **234**, DOI: 10.1016/j.catena.2023.107601.
- [6] C. Long, Z. Dai, X. Mei, et al. (2025), "Machine learning-based detection of dynamic changes in mangrove forest, Beilun Estuary", *Ocean & Coastal Management*, **266**, DOI: 10.1016/j.ocecoaman.2025.107696.