

**ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ**



Ninh Hải Đăng

**ỨNG DỤNG VIỄN THÁM VÀ HỌC SÂU TRONG
GIÁM SÁT BIẾN ĐỘNG RỪNG TỈNH CÀ MAU**

TÓM TẮT ĐỒ ÁN TỐT NGHIỆP

Ngành: Công nghệ Hàng không Vũ trụ

Cán bộ hướng dẫn: TS. Hà Minh Cường

Cán bộ đồng hướng dẫn: ThS. Hoàng Tích Phúc

HÀ NỘI - 2025

1. GIỚI THIỆU BÀI TOÁN VÀ CƠ SỞ LÝ THUYẾT

Tỉnh Cà Mau sở hữu hệ sinh thái rừng ngập mặn có giá trị cao về sinh thái và kinh tế, đóng vai trò quan trọng trong việc chống xói mòn bờ biển và giảm thiểu tác động của biến đổi khí hậu. Tuy nhiên, rừng ngập mặn Cà Mau đang đối mặt với nhiều áp lực từ việc chuyển đổi đất rừng sang ao nuôi tôm và khai thác không bền vững. Phương pháp giám sát truyền thống dựa trên điều tra thực địa có nhiều hạn chế về chi phí, khả năng tiếp cận và tần suất cập nhật. Công nghệ viễn thám vệ tinh cung cấp giải pháp hiệu quả hơn, trong đó chương trình Copernicus cung cấp dữ liệu miễn phí từ Sentinel-1 (ra-đa SAR hoạt động trong mọi điều kiện thời tiết) và Sentinel-2 (ảnh quang học đa phổ độ phân giải 10m).

Mạng nơ-ron tích chập (CNN) đã chứng minh hiệu quả vượt trội trong xử lý ảnh viễn thám nhờ khả năng tự động học đặc trưng phân cấp từ dữ liệu thô và khai thác tốt cấu trúc không gian của ảnh. Xuất phát từ nhu cầu giám sát rừng hiệu quả, đề án này phát triển mô hình CNN kết hợp dữ liệu Sentinel-1 và Sentinel-2 để phát hiện biến động rừng tại khu vực ranh giới lâm nghiệp tỉnh Cà Mau (170,179 ha). Các trạng thái biến động được phân thành bốn lớp: rừng ổn định, mất rừng, phi rừng, và phục hồi rừng. Dữ liệu sử dụng bao gồm ảnh từ tháng 01/2024 đến tháng 02/2025 trong mùa khô để giảm ảnh hưởng của mây.

2. MỤC TIÊU VÀ NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Mục tiêu tổng quát của nghiên cứu là ứng dụng mô hình học sâu dựa trên kiến trúc mạng nơ-ron tích chập để phát hiện và phân loại biến động rừng tại khu vực quy hoạch lâm nghiệp tỉnh Cà Mau với độ chính xác cao. Nghiên cứu tập trung vào việc tích hợp dữ liệu đa nguồn từ vệ tinh Sentinel-1 (ra-đa khẩu độ tổng hợp) và Sentinel-2 (quang học đa phổ) để khai thác tối đa thông tin về trạng thái lớp phủ rừng qua hai thời kỳ quan sát. Giả thuyết nghiên cứu được đặt ra là mô hình CNN kết hợp đặc trưng từ cả hai nguồn dữ liệu ra-đa và quang học có thể đạt độ chính xác cao hơn so với việc chỉ sử dụng một nguồn dữ liệu đơn lẻ.

Kết quả nghiên cứu không chỉ có ý nghĩa khoa học trong việc đề xuất kiến trúc CNN tối ưu cho bài toán phân loại ảnh viễn thám với dữ liệu hạn chế, mà còn có giá trị thực tiễn cao. Mô hình có thể được triển khai như một công cụ hỗ trợ quan trọng cho các

cơ quan quản lý lâm nghiệp trong công tác giám sát và bảo vệ rừng, giúp phát hiện sớm các hoạt động mất rừng bất hợp pháp.

Để đạt được mục tiêu trên, đề án thực hiện bốn nội dung nghiên cứu chính. Nội dung thứ nhất là xây dựng bộ dữ liệu huấn luyện, tập trung vào việc thu thập và xử lý dữ liệu viễn thám từ Sentinel-1 và Sentinel-2 thông qua nền tảng Google Earth Engine. Các công việc bao gồm: tiền xử lý dữ liệu (lọc mây cho Sentinel-2 với ngưỡng 50%, tạo mosaic, chuẩn hóa hệ quy chiếu EPSG:32648 và độ phân giải 10m), trích xuất 27 đặc trưng (21 từ Sentinel-2 gồm 4 kênh phổ và 3 chỉ số thực vật, 6 từ Sentinel-1 gồm 2 kênh phân cực, mỗi đặc trưng có 3 giá trị: trước, sau, delta), và thu thập khoảng 2,600 điểm mẫu thực địa bằng phương pháp lấy mẫu phân tầng ngẫu nhiên, đảm bảo phân bố cân bằng cho 4 lớp phân loại.

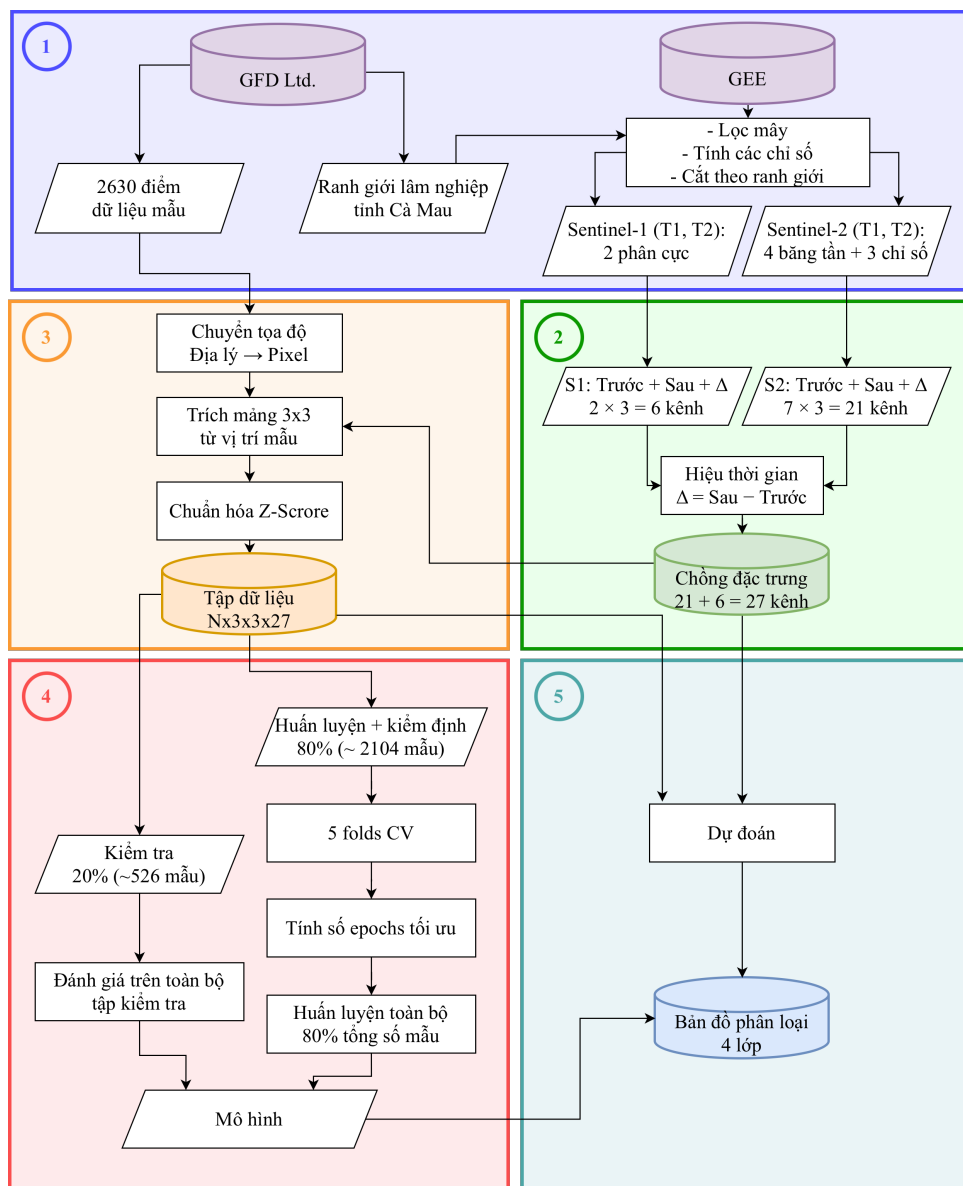
Nội dung thứ hai là thiết kế và tối ưu hóa kiến trúc CNN phù hợp với đặc thù của bài toán và quy mô dữ liệu. Kiến trúc được thiết kế nhẹ (dưới 50,000 tham số) để phù hợp với bộ dữ liệu nhỏ và tránh quá khớp. Các kỹ thuật điều chuẩn được áp dụng bao gồm Batch Normalization, Dropout với tỷ lệ cao (60–70%), và phân rã trọng số. Nghiên cứu thử nghiệm với các kích thước patch khác nhau (1×1 , 3×3 , 5×5 , 7×7 , 9×9) để xác định cấu hình tối ưu, và sử dụng kiểm định chéo 5 phần để tìm kiếm siêu tham số tối ưu.

Nội dung thứ ba là đánh giá hiệu quả tích hợp đa nguồn thông qua phương pháp nghiên cứu loại trừ (ablation study) với ba kịch bản: chỉ sử dụng Sentinel-2 (21 đặc trưng), chỉ sử dụng Sentinel-1 (6 đặc trưng), và kết hợp cả hai nguồn (27 đặc trưng). So sánh kết quả giữa ba kịch bản cho phép định lượng mức độ cải thiện khi tích hợp đa nguồn và xác định vai trò của từng nguồn dữ liệu.

Nội dung cuối cùng là áp dụng mô hình đã tối ưu hóa để tạo bản đồ biến động rừng cho toàn bộ khu vực nghiên cứu. Dữ liệu raster toàn vùng (khoảng 16 triệu điểm ảnh) được xử lý theo lô để tránh tràn bộ nhớ, áp dụng kỹ thuật mixed precision (FP16) để tăng tốc. Kết quả được xuất dưới dạng GeoTIFF với độ phân giải 10m, kèm theo báo cáo thống kê chi tiết về diện tích và phân bố không gian của từng loại biến động.

3. DỮ LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Quy trình nghiên cứu được minh họa trong Hình 1, bao gồm năm giai đoạn chính: thu thập dữ liệu, tiền xử lý, xây dựng bộ dữ liệu huấn luyện, thiết kế và huấn luyện mô hình CNN, và áp dụng mô hình cho phân loại toàn vùng.



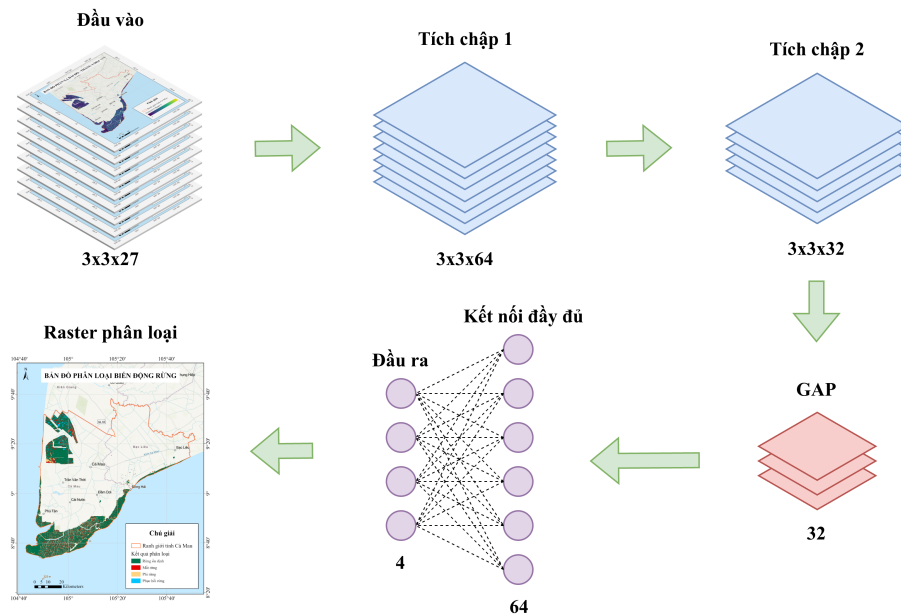
Hình 1: Sơ đồ quy trình phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng dữ liệu từ hai nguồn chính được thu thập qua Google Earth Engine. Sentinel-2 Level-2A Surface Reflectance cung cấp 4 kênh phổ quang học: B4 (Red, 665nm), B8 (NIR, 842nm), B11 (SWIR1, 1610nm) và B12 (SWIR2, 2190nm), tất cả ở độ phân giải 10m. Từ các kênh này, ba chỉ số thực vật được tính toán: $NDVI = (NIR - Red) / (NIR + Red)$ đo mật độ thực vật, $NBR = (NIR - SWIR2) / (NIR + SWIR2)$ phát hiện biến động rừng, và $NDMI = (NIR - SWIR1) / (NIR + SWIR1)$ đo độ ẩm thực vật. Sentinel-1 GRD cung cấp dữ liệu ra-đa với hai kênh phân cực VV và VH ở độ phân giải 10m, hoạt động độc lập với thời tiết và ánh sáng. Dữ liệu được thu thập cho hai thời kỳ: tháng 01/2024 (kỳ trước) và tháng 02/2025 (kỳ sau).

Tổng cộng 27 đặc trưng được xây dựng: 21 từ Sentinel-2 (7 kênh/chỉ số \times 3 thời điểm) và 6 từ Sentinel-1 (2 kênh \times 3 thời điểm). Ba thời điểm bao gồm: kỳ trước (T1), kỳ sau (T2), và delta ($\Delta = T2 - T1$). Giá trị delta đóng vai trò quan trọng trong phát hiện biến động; ví dụ khi rừng bị chặt phá, ΔNDVI sẽ giảm mạnh. Với mỗi điểm mẫu, một patch 3×3 điểm ảnh ($30\text{m} \times 30\text{m}$) được trích xuất để cung cấp thông tin ngữ cảnh không gian.

Bộ dữ liệu thực địa gồm 2,630 điểm được thu thập bằng phương pháp lấy mẫu phân tầng ngẫu nhiên, phân bố cân bằng cho 4 lớp: Rừng ổn định (660), Mất rừng (660), Phi rừng (660), và Phục hồi rừng (650). Dữ liệu được chuẩn hóa Z-score và chia theo tỷ lệ 80/20 cho huấn luyện/kiểm tra, với kiểm định chéo 5 phần trên tập huấn luyện.

Kiến trúc CNN được thiết kế đặc biệt cho bộ dữ liệu quy mô vừa phải, minh họa trong Hình 2. Mô hình gồm: đầu vào tensor (N, 27, 3, 3); khối tích chập thứ nhất với 64 bộ lọc 3×3 , Batch Norm, ReLU, Dropout2D 70%; khối tích chập thứ hai với 32 bộ lọc 3×3 , Batch Norm, ReLU, Dropout2D 70%; Global Average Pooling; và lớp kết nối đầy đủ $32 \rightarrow 64 \rightarrow 4$. Tổng số tham số: 36,676.



Hình 2: Kiến trúc mạng nơ-ron tích chập

Mô hình được huấn luyện với AdamW optimizer, learning rate 0.001, weight decay 10^{-3} , batch size 64, tối đa 200 epochs với early stopping (patience 15). Trọng số được khởi tạo theo phương pháp Kaiming/He. Sau huấn luyện, mô hình được áp dụng để phân

loại toàn bộ 16.2 triệu điểm ảnh theo lô 10,000 điểm, sử dụng mixed precision FP16. Kết quả xuất dạng GeoTIFF với hệ quy chiếu EPSG:32648.

4. KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ THẢO LUẬN

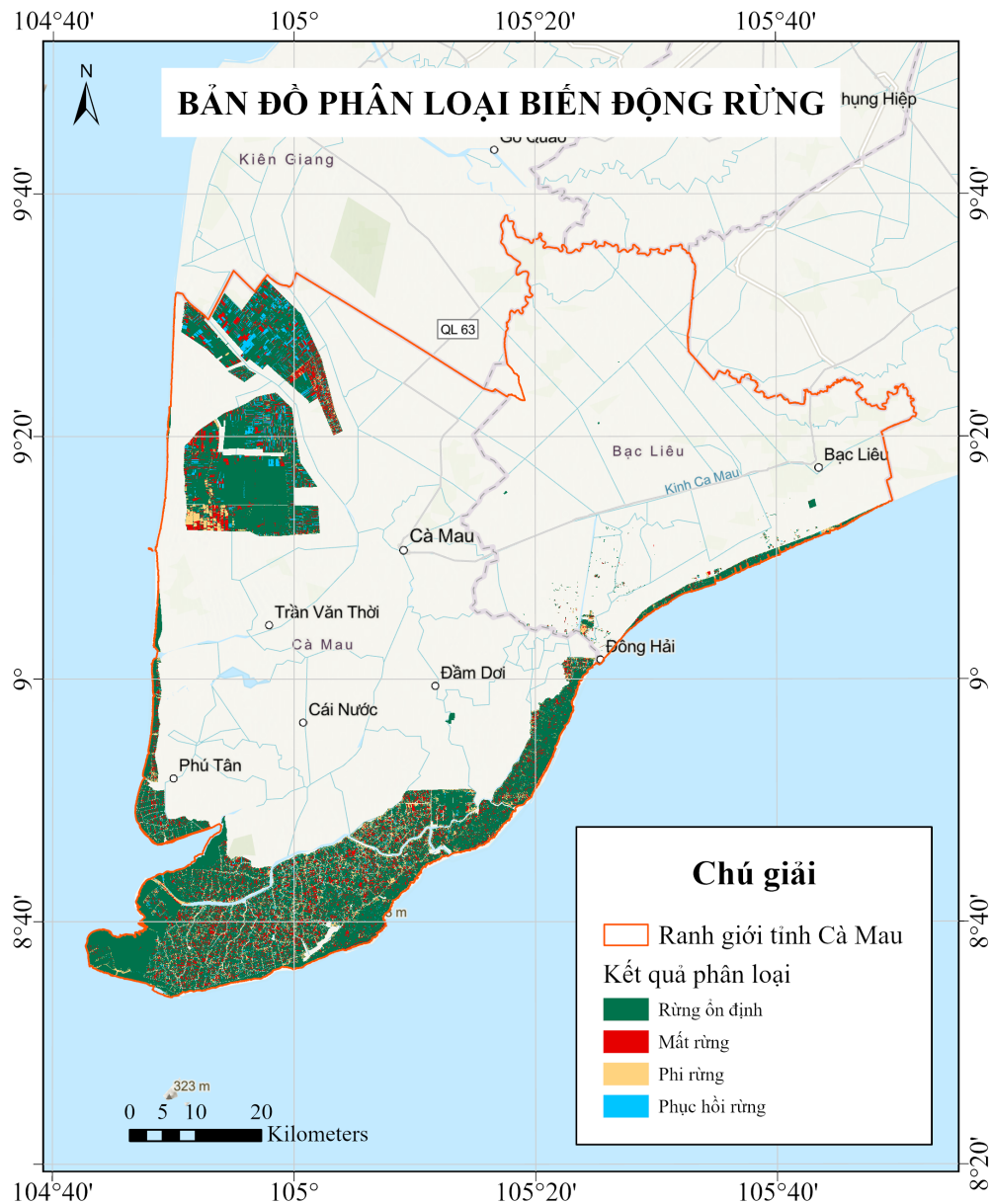
Thử nghiệm với 5 kích thước patch khác nhau cho thấy patch 3×3 đạt accuracy cao nhất (98.86%) với số lượng tham số hợp lý (36,676). Patch 1×1 đạt 97.34%, thấp hơn do thiếu thông tin ngữ cảnh không gian từ các điểm ảnh lân cận. Các patch lớn hơn (5×5 , 7×7 , 9×9) có accuracy giảm dần (98.67%, 98.29%, 97.91%) mặc dù số tham số tăng đáng kể, nguyên nhân là chứa nhiều từ điểm ảnh xa trung tâm và tăng nguy cơ quá khớp. Do đó, patch 3×3 được lựa chọn làm cấu hình tối ưu.

Nghiên cứu loại trừ có hệ thống đánh giá đóng góp của từng nguồn dữ liệu. Kịch bản chỉ Sentinel-2 (21 đặc trưng) đạt 93.42%, cho thấy dữ liệu quang học đóng vai trò chủ đạo với các chỉ số thực vật rất nhạy với sự thay đổi thực vật. Kịch bản chỉ Sentinel-1 (6 đặc trưng) đạt 73.38%, cho thấy dữ liệu ra-đa đơn thuần không đủ để phân loại chính xác, nhưng vẫn cung cấp thông tin bổ sung về cấu trúc và độ ẩm bề mặt. Kịch bản tích hợp S1+S2 (27 đặc trưng) đạt 98.86%, cải thiện 5.44 điểm phần trăm so với chỉ Sentinel-2. Kết quả này chứng minh Sentinel-1 và Sentinel-2 có tính bổ sung cao, trong đó Sentinel-2 đóng vai trò chính còn Sentinel-1 bổ sung thông tin cấu trúc, giúp phân biệt tốt hơn các lớp có quang phổ tương đồng.

Đánh giá trên tập kiểm tra cố định (526 mẫu) cho kết quả chi tiết: lớp Phi rừng và Phục hồi rừng đạt 100% precision, recall và F1-score, cho thấy mô hình phân biệt rất tốt các lớp này. Lớp Rừng ổn định đạt precision 98.48%, recall 97.73%, F1 98.10%. Lớp Mất rừng đạt precision 97.73%, recall 96.97%, F1 97.35%. Lỗi phân loại chủ yếu xảy ra giữa hai lớp này do đặc trưng quang phổ tương đồng tại vùng ranh giới. Macro average đạt precision 99.05%, recall 98.67%, F1 98.86%. Kiểm định chéo 5 phần cho accuracy $98.48\% \pm 0.36\%$, độ lệch chuẩn nhỏ chứng minh mô hình ổn định, không phụ thuộc vào cách chia dữ liệu.

Áp dụng mô hình phân loại toàn vùng 162,469 ha cho kết quả: Rừng ổn định 120,717 ha (74.30%), tập trung ở Vườn Quốc gia Mũi Cà Mau và các khu rừng phòng hộ ven biển; Mất rừng 7,282 ha (4.48%), phân tán chủ yếu ở vùng tiếp giáp ao nuôi tôm do chuyển đổi mục đích sử dụng đất; Phi rừng 29,529 ha (18.17%), bao gồm khu dân cư, đất nông nghiệp và ao nuôi thủy sản; Phục hồi rừng 4,941 ha (3.04%), kết quả của các

chương trình trồng rừng. Mất rừng ròng trong 13 tháng là 2,341 ha (khoảng 1.44%).



Hình 3: Bản đồ phân loại biến động rừng toàn vùng tỉnh Cà Mau

So sánh với các nghiên cứu trước về giám sát rừng, mô hình CNN kết hợp Sentinel-1/2 của nghiên cứu này đạt accuracy 98.86%, vượt trội so với Hansen và cộng sự (2013) sử dụng Decision Tree trên Landsat 30m đạt khoảng 85%, Ortega và cộng sự (2020) sử dụng U-Net trên Landsat đạt khoảng 94%, và Fayaz và cộng sự (2024) tổng hợp các nghiên cứu U-Net đạt 94–97%. Lý do chính cho kết quả vượt trội bao gồm: tích hợp đa

nguồn dữ liệu SAR và quang học, độ phân giải không gian cao hơn (10m so với 30m), và kiến trúc CNN được tối ưu hóa cho bài toán cụ thể với bộ dữ liệu quy mô vừa.

5. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Đồ án đã hoàn thành đầy đủ các mục tiêu nghiên cứu đề ra với kết quả vượt kỳ vọng ban đầu. Về xây dựng bộ dữ liệu, nghiên cứu đã xây dựng thành công bộ dữ liệu gồm 2,630 điểm mẫu với 27 đặc trưng, bao gồm 21 đặc trưng từ Sentinel-2 (4 kênh phổ quang học và 3 chỉ số thực vật) và 6 đặc trưng từ Sentinel-1 (2 kênh phân cực), mỗi đặc trưng được tính cho hai thời kỳ và giá trị delta. Bộ dữ liệu được phân bố cân bằng cho 4 lớp phân loại, đảm bảo tính đại diện cho toàn vùng nghiên cứu.

Về thiết kế kiến trúc CNN, mô hình với 36,676 tham số được thiết kế phù hợp với bộ dữ liệu quy mô vừa, sử dụng các kỹ thuật điều chuẩn hiệu quả (Batch Normalization, Dropout 70%, weight decay) để ngăn ngừa quá khớp. Thông qua nghiên cứu loại trừ có hệ thống, kích thước patch 3×3 được xác định là tối ưu, đạt accuracy 98.86% trên tập kiểm tra và $98.48\% \pm 0.36\%$ qua kiểm định chéo 5 phần.

Về đánh giá tích hợp đa nguồn, nghiên cứu loại trừ toàn diện chứng minh việc kết hợp Sentinel-1 và Sentinel-2 cải thiện accuracy 5.44 điểm phần trăm so với chỉ sử dụng Sentinel-2 đơn lẻ (từ 93.42% lên 98.86%). Kết quả này khẳng định giả thuyết nghiên cứu rằng dữ liệu ra-đa và quang học có tính bổ sung cao, trong đó Sentinel-2 đóng vai trò chủ đạo cung cấp thông tin quang phổ chi tiết, còn Sentinel-1 bổ sung thông tin về cấu trúc và độ ẩm bề mặt.

Về áp dụng mô hình toàn vùng, mô hình được triển khai thành công để phân loại 162,469 ha (95.5% diện tích ranh giới lâm nghiệp), phát hiện 7,282 ha mất rừng (4.48%) và 4,941 ha phục hồi rừng (3.04%). Diện tích mất rừng ròng trong 13 tháng là 2,341 ha (khoảng 1.44%). Bản đồ phân loại với độ phân giải 10m cung cấp thông tin chi tiết về phân bố không gian các loại biến động, hỗ trợ trực tiếp công tác quản lý rừng.

Về đóng góp khoa học và thực tiễn, đồ án đề xuất quy trình tích hợp dữ liệu đa nguồn hiệu quả kết hợp ra-đa Sentinel-1 và quang học Sentinel-2, thiết kế kiến trúc CNN phù hợp cho bộ dữ liệu nhỏ tránh hiện tượng quá khớp, đề xuất cấu trúc vector đặc trưng 27 chiều tổng hợp thông tin từ hai nguồn và ba thời điểm, và tạo ra bản đồ biến động rừng độ phân giải cao hỗ trợ công tác quản lý lâm nghiệp tại tỉnh Cà Mau.

Hạn chế của nghiên cứu bao gồm: thời gian dự đoán toàn vùng còn dài (14.83 phút cho 16.2 triệu điểm ảnh), chưa đáp ứng yêu cầu xử lý thời gian thực; khả năng giải thích mô hình hạn chế do tính chất “hộp đen” của CNN; quy mô dữ liệu thực địa còn nhỏ và chưa có khảo sát độc lập để kiểm chứng; phân tích chỉ ở hai thời điểm, chưa khai thác chuỗi thời gian đầy đủ.

Hướng phát triển tiếp theo bao gồm: mở rộng phân tích đa thời gian sử dụng chuỗi 5–10 năm với các mô hình LSTM hoặc Transformer để phát hiện xu hướng và dự báo biến động; cải thiện mô hình qua transfer learning từ các mô hình pretrained và kỹ thuật ensemble; mở rộng ứng dụng cho các tỉnh khác trong Đồng bằng sông Cửu Long để đánh giá khả năng tổng quát hóa; tích hợp kỹ thuật Explainable AI như Grad-CAM và SHAP để tăng khả năng giải thích mô hình.