

XỬ LÝ ẢNH RADAR SENTINEL-1 ĐA THỜI GIAN TRONG XÁC ĐỊNH TRỤ ĐIỆN GIÓ TẠI VÙNG VEN BIỂN TỈNH BẠC LIÊU

MULTI-TEMPORAL SENTINEL-1 RADAR IMAGE PROCESSING FOR WIND TURBINE DETECTION IN THE COASTAL AREA OF BAC LIEU PROVINCE

Ngô Đức Khánh*, Phạm Trần Thùy Linh

Trường Đại học Bạc Liêu

*ndkhanh@blu.edu.vn

Ngày nhận bài:

07/6/2024

Ngày chấp nhận đăng:

16/9/2024

ABSTRACT

Bac Lieu province has geographical advantages and is a coastal area with strong and fairly stable winds, less affected by storms. By April 2023, Bac Lieu province had had 8 wind energy farms built and put into operation with 2 farms under construction inland and offshore. The increasing number of wind power projects shows that monitoring the development of wind power projects is essential. The objective of this study is to develop a new method using Sentinel-1 time-series radar images to identify persistent building structures on the sea, specifically wind towers built off the shore of Bac Lieu province. This study used the two-dimensional polarization space method on Sentinel-1 time-series radar images to identify the locations of wind towers off the shore of Bac Lieu province. The results showed that the confounding effects of complex variations in incident and azimuth angles of the Sentinel-1 radar data had been completely eliminated. In addition, the method used in this study was successful in mapping persistent building structures with Sentinel-1 time-series radar image data. The accuracy of results was evaluated by observing and collecting ground truth data in the study area. With very high accuracy, this method can be applied to identify the locations of persistent building structures at sea at other wind farm projects in the future.

Keywords: Sentinel-1 radar; VV-VH polarization; SAR image processing; Wind turbine detection; Bạc Liêu province.

TÓM TẮT

Tỉnh Bạc Liêu có lợi thế về vị trí địa lý và là vùng ven biển có gió mạnh và khá ổn định, ít bị ảnh hưởng bởi bão. Đến tháng 4 năm 2023, tỉnh Bạc Liêu có 8 nhà máy điện gió đã hoàn thành đưa vào hoạt động, 2 nhà máy đang thi công trên đất liền và ngoài khơi. Số lượng dự án điện gió ngày càng tăng cho thấy việc giám sát sự phát triển các dự án điện gió là rất cần thiết. Mục tiêu của nghiên cứu này nhằm xây dựng phương pháp xử lý ảnh vệ tinh viễn thám radar Sentinel-1 đa thời gian để xác định các cấu trúc xây dựng kiên cố trên biển, cụ thể là các trụ tua-bin điện gió được xây dựng tại vùng ven biển tại tỉnh Bạc Liêu. Nghiên cứu này sử dụng phương pháp không gian phân cực hai chiều trên ảnh viễn thám radar Sentinel-1 đa thời gian để xác định vị trí các trụ tua-bin gió. Kết quả của nghiên cứu cho thấy các yếu tố gây nhiễu tín hiệu trên ảnh radar do góc tới của vệ tinh tạo ảnh và do hướng bay của vệ

Từ khóa: Radar Sentinel-1; Phân cực VV-VH; Xử lý ảnh SAR; Tru điện gió; Tỉnh Bạc Liêu.

tin ảnh viễn thám radar Sentinel-1 đã bị loại bỏ hoàn toàn. Ngoài ra, phương pháp được sử dụng trong nghiên cứu này đã thành công trong việc lập bản đồ các cấu trúc xây dựng trên biển với dữ liệu ảnh vệ tinh viễn thám radar Sentinel-1 đa thời gian. Kết quả nghiên cứu đã được đánh giá độ chính xác bằng cách quan sát và thu thập dữ liệu thực địa tại khu vực nghiên cứu. Với độ chính xác rất cao, phương pháp này có thể áp dụng cho việc xác định vị trí các cấu trúc xây dựng kiên cố trên biển tại các dự án điện gió khác trong tương lai.

1. Giới thiệu

Nằm trong khu vực ven biển vùng Đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL), tỉnh Bạc Liêu có bờ biển dài 56 km, vùng ven biển có gió mạnh và khá ổn định (bình quân tốc độ gió là 7m/s), ít bị ảnh hưởng bởi bão, lũ, động đất, sóng thần (Nam, 2022). Từ những kết quả đạt được trong phát triển năng lượng tái tạo trên địa bàn thời gian qua, Đại hội Đảng bộ tỉnh Bạc Liêu lần thứ XVI, nhiệm kỳ 2020-2025 đã đề ra nhiệm vụ “xây dựng Bạc Liêu trở thành một trong những trung tâm năng lượng sạch của quốc gia trong đó trọng tâm là điện gió, điện mặt trời và điện khí”. Tính đến tháng 4 năm 2023, tỉnh Bạc Liêu có 8 nhà máy điện gió đã hoàn thành đưa vào hoạt động, 2 nhà máy đang thi công trên đất liền và ngoài khơi.

Ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp có nhiều tiềm năng đối với các ứng dụng vẽ bản đồ lớp phủ/sử dụng đất tại khu vực Đồng bằng sông Cửu Long vì khu vực này thường có mây che phủ làm hạn chế việc sử dụng ảnh viễn thám quang học. Nguồn ảnh viễn thám radar Sentinel-1 rất phong phú, được sử dụng miễn phí và có chu kỳ lặp lại ngắn (12 ngày). Các nghiên cứu sử dụng ảnh viễn thám radar trước đây được thực hiện tại khu vực ĐBSCL chỉ tập trung vào vẽ bản đồ nước mặt, giám sát lũ, phân bố khu vực canh tác lúa, thời gian sinh trưởng lúa (Karila et al., 2014; Kontgis et al., 2017; Liew et al., 1998; Nguyen et al., 2016). Trong khi đó, ngày càng nhiều dự án điện gió đang được xây dựng và phát triển tại khu vực ven biển tỉnh Bạc Liêu. Việc theo dõi quá trình xây dựng các dự án điện gió này rất cần thiết cho công tác quản lý chuyên môn và an ninh quốc phòng tại địa phương. Cụ thể là việc phát hiện các trụ điện gió trên biển được xây dựng ở đâu, được xây dựng trong thời gian nào, các trụ điện gió được xây dựng mới có thật sự thuộc phạm vi quy hoạch cho phép hay không đóng vai trò quan trọng cho công tác quản lý chuyên môn ở địa phương cũng

như đảm bảo vững chắc quốc phòng, an ninh. Các nghiên cứu ứng dụng ảnh viễn thám radar khẩu độ tổng hợp để dò tìm các cấu trúc xây dựng kiên cố (các trụ tua bin gió) trên biển trong khu vực tỉnh Bạc Liêu vẫn còn thiếu.

Ảnh radar Sentinel-1 độ phân giải 10 x 10 m, có chiều rộng khung ảnh 250 km và góc tới (*incidence angle*) nằm trong khoảng 20° - 46° sẽ tạo ra sự thay đổi tín hiệu tán xạ ngược (*backscatter*) của đối tượng trên bề mặt trái đất. Các đối tượng trên ảnh nằm tại vị trí các góc tới càng lớn sẽ càng bị nhiễu so với các đối tượng nằm tại vị trí các góc tới nhỏ hơn. Điều này gây khó khăn trong quá trình giải đoán ảnh vì nó đòi hỏi người phân tích dữ liệu ảnh phải chuẩn hóa góc tới (*incidence normalization*) và phải biết trước các đối tượng trên mặt đất là loại bề mặt gì (đất trồng, nước, bê-tông, thực vật) trước khi tiến hành phân tích ảnh (Ngo và ctv, 2021). Ngoài ra, hướng bay của vệ tinh (*azimuth direction*, hướng Bắc-Nam hoặc Nam-Bắc) cũng sẽ ảnh hưởng lên thông tin về đối tượng trên bề mặt đất được thể hiện trên ảnh.

Các phương pháp xử lý ảnh SAR trước đây chủ yếu sử dụng công nghệ máy học (Machine learning) cụ thể là phân lớp có kiểm soát (*supervised classification*) và phân lớp không kiểm soát (*unsupervised classification*) bao gồm: Support Vector Machine, Random Forest, Maximum Likelihood, và nhiều thuật toán khác. Các phương pháp phân loại này còn nhiều hạn chế vì phụ thuộc vào dữ liệu huấn luyện (training data) và kết quả phân loại sai vẫn còn khá cao. Vì vậy, nghiên cứu này sử dụng phương pháp không gian 2 chiều (*2-dimension space*) để xác định ngưỡng giá trị tín hiệu tán xạ ngược phân cực VH và VV sẽ không phụ thuộc vào sự ảnh hưởng của góc tới (*incidence angle*) và hướng bay của vệ tinh (*azimuth direction*) và vì thế có thể giải quyết vấn đề về nhiễu tín hiệu radar do góc tới khác nhau. Phương pháp không gian 2 chiều phân cực VH và

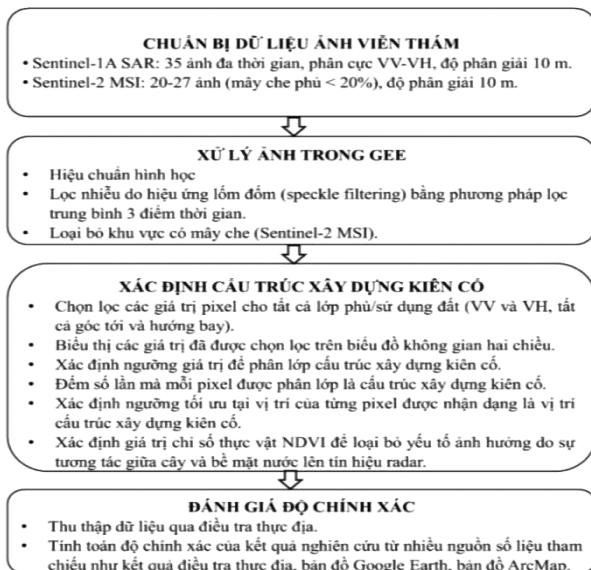
VV sẽ được trình bày chi tiết trong phần phương pháp nghiên cứu.

Do đó mục tiêu của nghiên cứu “Xử lý ảnh radar Sentinel-1 đa thời gian trong xác định trụ điện gió tại vùng ven biển tỉnh Bạc Liêu” nhằm xây dựng một phương pháp mới về xử lý ảnh viễn thám radar Sentinel-1 đa thời gian trong việc dò tìm các cấu trúc xây dựng kiên cố tại dự án Nhà máy điện gió Bạc Liêu được xây dựng tại vùng ven biển tỉnh Bạc Liêu. Phương pháp nghiên cứu này có thể áp dụng cho việc xử lý ảnh viễn thám radar Sentinel-1 trong giảng dạy sinh viên ngành Khoa học môi trường, Trường Đại học Bạc Liêu. Ngoài ra, nghiên cứu này có thể mở rộng để ứng dụng trong việc giám sát các dự án điện gió khu vực ven biển khác ở đồng bằng sông Cửu Long.

2. Phương pháp nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày phương pháp nhằm xác định các cấu trúc xây dựng kiên cố liên quan đến các dự án điện gió trên khu vực ven biển tỉnh Bạc Liêu trong đó đặc biệt chú ý đến sự ảnh hưởng của sự tương tác giữa cây cối và mặt nước lên tín hiệu radar. Quá trình phân tích bao gồm xử lý dữ liệu ảnh radar, lập bản đồ và đánh giá độ chính xác, được thực hiện bằng cách sử dụng nền tảng Google Earth Engine (GEE) và phần mềm ArcGIS. Sơ đồ trong Hình 1 tóm tắt các phương pháp tổng thể, trong đó mỗi thành phần được mô tả chi tiết hơn bên dưới.

Hình 1. Sơ đồ xử lý ảnh và thành lập bản đồ cấu trúc xây dựng kiên cố



2.1. Xử lý dữ liệu ảnh radar Sentinel-1 đa thời gian

Nghiên cứu này đã sử dụng 210 ảnh Sentinel-1A SAR chụp trong giai đoạn từ tháng 03-2017 đến tháng 02-2024. Tất cả các dữ liệu ảnh Sentinel-1 SAR đã được xử lý trước bằng nền tảng GEE để lấy hệ số tán xạ ngược tính bằng decibel (dB) cho mỗi pixel thông qua các bước sau: áp dụng tệp quỹ đạo, loại bỏ nhiễu nhiệt, hiệu chỉnh bức xạ và hiệu chỉnh địa hình bằng dữ liệu địa hình SRTM (Shuttle Radar Topography Mission) 30-m.

Để giảm nhiễu lốm đốm trong hình ảnh SAR, bộ lọc trung bình 3 điểm thời gian (một cửa sổ tính giá trị trung bình di chuyển trong một thời gian cụ thể) có hiệu quả về mặt tính toán đã được sử dụng để giảm nhiễu. Việc tính toán được thực hiện như sau:

$$\bar{p}_{ij,t} = \frac{\sum_{t-1}^{t+1} p_{ij}}{3} \quad (1)$$

Trong công thức (1), $\bar{p}_{ij,t}$ là giá trị trung bình pixel đầu ra tại vị trí i, j (i : số hàng ảnh, j : số cột ảnh) tại thời điểm t ; $p_{ij,tat-1}$ là giá trị pixel đầu vào tại vị trí i, j tại thời điểm $t - 1$; và $p_{ij,tat+1}$ là giá trị pixel đầu vào tại vị trí i, j tại thời điểm $t + 1$.

Trong nghiên cứu này, các giá trị của t có phạm vi từ 1 đến 35 (35 là tổng số hình ảnh SAR trong khoảng thời gian được xem xét). Sau khi tính toán giá trị trung bình, hình ảnh đầu tiên và cuối cùng trong chuỗi thời gian sau đó đã bị loại bỏ và chỉ có 33 hình ảnh được sử dụng để phân tích sau đó. Chuỗi thời gian này kéo dài khoảng 1,3 năm trong đó các cấu trúc xây dựng cần phải tồn tại lâu dài để được phát hiện.

2.2. Thành lập bản đồ

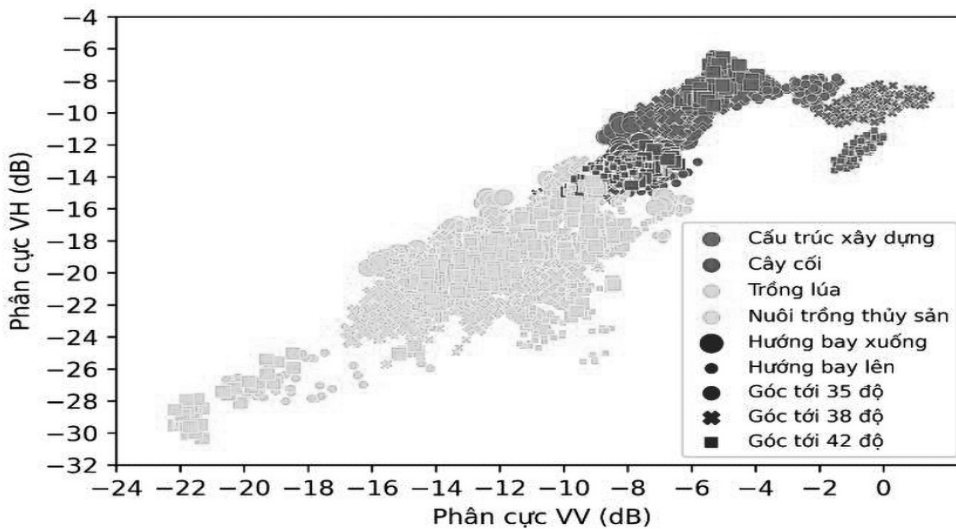
Không gian 2 chiều của phân cực VV-VH được sử dụng để mô tả cấu trúc xây dựng kiên cố (Hình 2). Góc tới trong ảnh SAR có thể có tác động đáng kể đến các giá trị tán xạ ngược trên dải radar (radar swath). Để xác định mức độ thay đổi tán xạ ngược như một hàm của góc tới đối với các loại lớp phủ đất khác nhau, dữ liệu VV và VH được tách riêng cho từng khoảng góc tới ở 35, 38 và 42 độ. Sau đó, đối với mỗi khoảng góc tới và hướng bay theo góc phương vị (tăng dần so với giảm dần), một biểu đồ phân tán (scatter plot) được tạo ra với phân cực VV cho trục hoành

và phân cực VH cho trục tung bằng cách sử dụng bộ lọc trung bình 3 điểm cho tất cả các loại đất bao gồm các tòa nhà, cây cối, ruộng lúa và khu vực nuôi trồng thủy sản như trong Hình 2. Từ biểu đồ phân tán, nghiên cứu cho thấy miền (domain) VV-VH cho loại cấu trúc xây dựng kiên cố nổi bật rõ ràng và dễ phân biệt, không phụ thuộc vào ảnh hưởng của góc tới và góc phương vị. Tuy nhiên, có một sự trùng lặp nhỏ giữa các miền cấu trúc xây dựng và cây cối/thực vật do tán xạ ngược cao từ các tương tác tín hiệu radar giữa cây và bề mặt nước. Tiếp theo, các ngưỡng trong không gian 2 chiều của phân cực VV-VH được xác định để xác định miền liên quan cụ thể đến việc xây dựng các cấu trúc trên đất liền và trên mặt biển. Một pixel được gán cho một cấu trúc xây dựng kiên cố nếu nó thỏa mãn các điều kiện sau: tán xạ ngược VH lớn hơn -12 dB ($VH > -12$ dB) hoặc tán xạ ngược

VV lớn hơn -5 dB ($VV > -5$ dB). Nếu một pixel không thỏa mãn điều kiện đó, nó sẽ được gán cho một lớp không phải cấu trúc xây dựng kiên cố.

Để xem xét các pixel cấu trúc xây dựng kiên cố bị thiếu, các ngưỡng VV và VH đã được áp dụng cho tất cả hình ảnh đa thời gian Sentinel-1A (33 hình ảnh). Tất cả hình ảnh đầu ra (với giá trị 1 đối với pixel cấu trúc xây dựng và giá trị 0 đối với pixel không phải cấu trúc xây dựng) được tổng hợp để đếm số lần mỗi pixel được xác định là tòa nhà. Nếu pixel tại vị trí ij được phát hiện là cấu trúc xây dựng T lần trong số 33 hình ảnh, thì số lượng pixel tại vị trí ij được đặt thành T . Mỗi pixel trong hình ảnh đầu ra được tổng hợp có thể có giá trị T từ giá trị tối thiểu là 0 (đối với các pixel có cấu trúc xây dựng không bao giờ được xác định) đến giá trị là 33 (đối với pixel luôn được xác định là cấu trúc xây dựng).

Hình 2. Sự tán xạ ngược đa thời gian của các cấu trúc xây dựng kiên cố và các lớp phủ đất khác nhau trong không gian 2 chiều đối với VV trên trục hoành và VH trên trục tung (dB).



Để giảm thiểu việc phân loại nhầm pixel cấu trúc xây dựng với pixel thực tế không phải cấu trúc xây dựng, ngưỡng đếm cấu trúc xây dựng tối ưu (ngưỡng tối ưu) với đạo hàm rời rạc của pixel cấu trúc xây dựng ($\Delta_{m,n}$) được xác định tùy thuộc vào vị trí đường cong $\Delta_{m,n}$ trở nên bất biến hoặc phẳng. Pixel tại vị trí ij được xác định là một cấu trúc xây dựng chỉ khi T có giá trị lớn hơn ngưỡng tối ưu trong đó ngưỡng tối ưu có giá trị nằm trong khoảng từ 1 đến 33. Đạo hàm rời rạc (Catone, 2019) của pixel cấu trúc xây dựng được tính như sau:

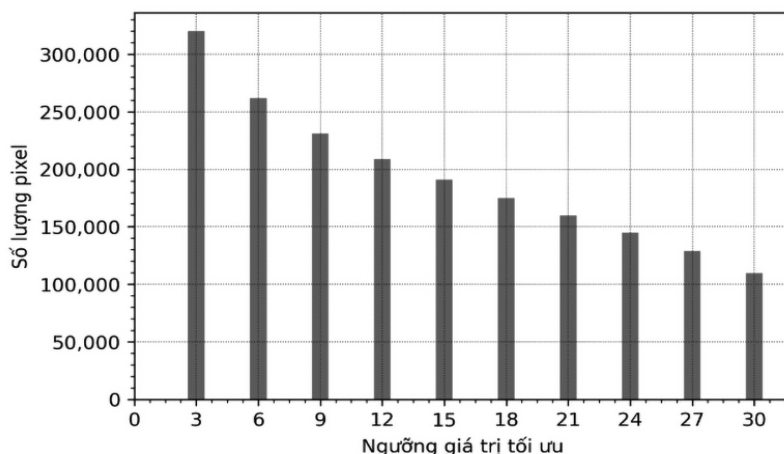
$$\Delta_{m,n} = N_m - N_n \quad (2)$$

Phương trình (2) tính đạo hàm rời rạc của pixel cấu trúc xây dựng, trong đó: $\Delta_{m,n}$ là đạo hàm giữa ngưỡng giá trị m và n , N_m là số lượng pixel cấu trúc xây dựng ở ngưỡng giá trị m ($1 \leq m \leq 33$) và N_n là số lượng pixel cấu trúc xây dựng ở ngưỡng giá trị n ($1 \leq n \leq 33$). Hình 3 và Hình 4 cho thấy rằng ngưỡng tối ưu có giá trị bằng 9 (tương đương giá trị $T \geq 10$) là tối ưu nhất vì đường cong của đạo hàm trở nên phẳng khi ngưỡng tối ưu có giá trị lớn hơn. Điều này có nghĩa là cấu trúc

xây dựng tồn tại kéo dài trong thời gian tối thiểu khoảng 18 tuần hay 4,15 tháng (vệ tinh Sentinel-1

SAR có chu kỳ lập tạo ảnh lặp lại sau 2 tuần) sẽ được dò tìm một cách có hiệu quả nhất.

Hình 3. Ngưỡng giá trị tối ưu và số lượng pixel được nhận diện là cấu trúc xây dựng



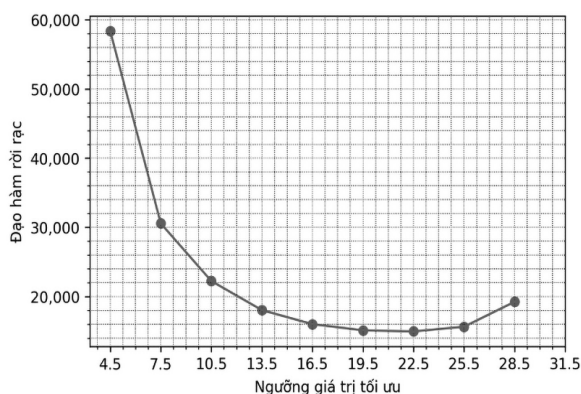
Do sự phản xạ mạnh của sóng radar từ bề mặt chẳng hạn như bề mặt nước (sông, hồ, khu vực chứa nước, hoặc đầm lầy), các cây cối thực vật ở gần khu vực bề mặt nước có thể làm cho sóng radar phản xạ ngược được tăng cường thêm. Nghiên cứu của Sơn và ctv (1990) cho thấy rằng sự tương tác giữa cây (chẳng hạn như lá, cành và thân cây) và bề mặt giữa các môi trường khác nhau (chẳng hạn như mặt phân cách giữa nước và không khí), làm tăng cường giá trị tán xạ ngược từ cây cối thực vật và những giá trị được tăng cường này giống như giá trị tán xạ ngược từ cấu trúc xây dựng. Những hiệu ứng này tạo ra một dải giá trị giống nhau trong các giá trị tán xạ ngược của cây cối và cấu trúc xây dựng, tạo ra sự chông chéo của các giá trị tán xạ ngược của cấu trúc xây dựng và cây cối trong không gian 2-D VV-VH và do đó dẫn đến một số phân loại sai giữa hai loại lớp phủ đất này.

Để giải quyết vấn đề tương tác giữa cây-bề mặt nước, Chỉ số Thực vật Khác biệt Chuẩn hóa (NDVI - Normalized Different Vegetation Index) được tính toán từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 đa phổ MSI (Multi-Spectral Instrument) (Zhang và ctv, 2021). GEE được sử dụng để chọn dữ liệu Sentinel-2 MSI vào những ngày trời quang ít mây (mây < 20%) để tính toán NDVI trong cùng khoảng thời gian thu thập dữ liệu Sentinel-1 SAR. NDVI trong mỗi pixel 10 m sau đó được tính toán và giá trị trung bình của N giá trị lớn nhất của NDVI ($\overline{NDVI}_{N_{max}}$) trong mỗi pixel thu được trong

khoảng thời gian được xem xét đã được tính toán. Đối với mỗi pixel được phân loại là cấu trúc xây dựng, pixel cấu trúc xây dựng được phân loại lại là không phải cấu trúc xây dựng nếu như giá trị $\overline{NDVI}_{N_{max}}$ lớn hơn giá trị ngưỡng NDVI tối ưu (NDVI_t). Nhiều trường hợp cho $N = 3, 5, 10$ và 15 đã được kiểm tra và giá trị ngưỡng tối ưu NDVI_t được tìm thấy nằm trong khoảng từ 0,25 đến 0,5 trong mỗi trường hợp. Dựa trên đánh giá này, các tham số $N = 3$ và NDVI_t = 0,35 đã được chọn vì các giá trị này mang lại kết quả tối ưu trong việc giảm hầu hết các cấu trúc xây dựng bị phân loại sai. Điều này là cần thiết vì khu vực ven biển Bạc Liêu có rừng phòng hộ dọc theo bờ biển bắt đầu từ khu vực giáp ranh thị xã Vĩnh Châu, tỉnh Sóc Trăng kéo dài đến cửa sông Gành Hào.

$$\overline{NDVI}_{N_{max}} > NDVI_t \quad (3)$$

Hình 4. Ngưỡng giá trị tối ưu và đạo hàm rời rạc số lượng pixel được nhận diện là cấu trúc xây dựng



2.3 Thu thập dữ liệu thực địa và đánh giá độ chính xác

Dữ liệu thực địa được thu thập tại xã Vĩnh Trạch Đông, thành phố Bạc Liêu và xã Vĩnh Hậu A, huyện Hòa Bình, tỉnh Bạc Liêu. Công việc đi thực địa bao gồm việc di chuyển dọc theo các tuyến đê biển có dự án điện gió (Nhà máy điện gió Bạc Liêu), đường dẫn nối liền các trụ điện gió và quan sát thực địa bằng cách chụp ảnh có định vị vị trí địa lý về các loại lớp phủ đất khác nhau như công trình xây dựng kiên cố (trường học, nhà ở, v.v.), cây cối (rừng phòng hộ ven biển, cây lâu năm, hoa màu), vùng nuôi trồng thủy sản (khu vực nuôi tôm thâm canh).

Dựa trên dữ liệu thực địa và ảnh chụp thực địa cùng với hình ảnh màu thực có độ phân giải cao trong Google EarthTM và bản đồ cơ sở ArcGIS, chất lượng của kết quả lập bản đồ đã được đánh giá. Do thuật toán xác định một pixel là cấu trúc xây dựng hoặc không phải cấu trúc xây dựng thay vì một phạm vi giá trị mờ nên việc đánh giá độ chính xác được thực hiện dựa trên bộ bốn nhóm có thể có. Mỗi quần thể được biểu thị bằng số lượng của tất cả các phần tử pixel trong mỗi bộ tập hợp. Đối với các tập hợp này, các tham số đếm được đánh giá là: (1) số lượng pixel cấu trúc xây dựng được phân loại chính xác là cấu trúc xây dựng (N_{xd}), (2) số lượng pixel bị phân loại sai là cấu trúc xây dựng trong khi chúng thực sự là các

loại lớp phủ đất khác (n_{um}), (3) số lượng pixel bị phân loại sai thành các loại lớp phủ mặt đất khác trong khi chúng thực sự là các cấu trúc xây dựng (n_{om}), và (4) số lượng pixel các loại lớp phủ mặt đất khác được phân loại chính xác thành các loại lớp phủ mặt đất khác (N_{kh}). Sử dụng kết quả của N_{xd} , n_{um} , n_{om} và N_{kh} , tỷ lệ âm tính giả - FNR (false negative rate) và tỷ lệ dương tính giả - FPR (false positive rate) được tính theo tỷ lệ phần trăm như sau (Barsi và ctv, 2018):

$$FNR = \frac{n_{om}}{n_{om} + N_{xd}} * 100\%$$

$$FPR = \frac{n_{um}}{n_{um} + N_{kh}} * 100\%$$
(4)

3. Kết quả và thảo luận

3.1 Kết quả bản đồ vị trí Nhà máy điện gió Bạc Liêu

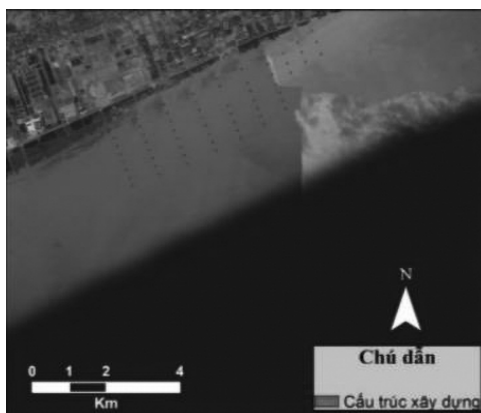
Kết quả bản đồ vị trí Nhà máy điện gió Bạc Liêu trong giai đoạn 3/2017 - 4/2018, giai đoạn 4/2018 - 6/2019, giai đoạn 06/2019 - 8/2020 (Hình 5 a, b, c) cho thấy khu vực này không thay đổi về hiện trạng cũng như không có sự hiện diện của các cấu trúc xây dựng mới. Tuy nhiên, trong giai đoạn từ tháng 8/2020-10/2021, giai đoạn 10/2021-11/2022, giai đoạn 11/2022-01/2024 (Hình 5 d, e, g) đã có nhiều cấu trúc xây dựng mới hiện diện trong khu vực này. Bảng 1 trình bày tọa độ các cấu trúc xây dựng mới trong khu vực Nhà máy điện gió Bạc Liêu trong giai đoạn tháng 8/2020 đến 01/2024.

Bảng 1 - Bảng tọa độ các cấu trúc xây dựng mới trong giai đoạn tháng 8/2020 đến 01/2024 tại khu vực Nhà máy điện gió Bạc Liêu

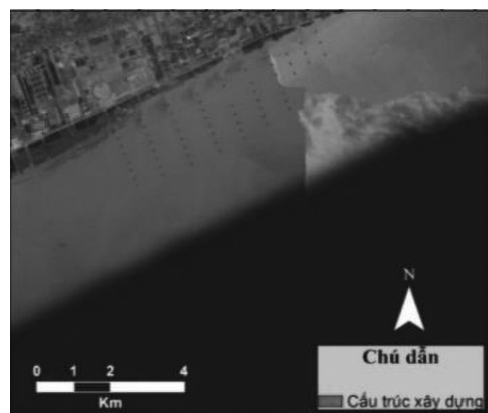
STT	HIỆN TRẠNG	X	Y
1	Cấu trúc xây dựng mới	9.193382796	105.7905162
2	Cấu trúc xây dựng mới	9.18812576	105.7925816
3	Cấu trúc xây dựng mới	9.182952508	105.7946291
4	Cấu trúc xây dựng mới	9.177671566	105.7966763
5	Cấu trúc xây dựng mới	9.172462484	105.7986875
6	Cấu trúc xây dựng mới	9.167360836	105.8008073
7	Cấu trúc xây dựng mới	9.162151657	105.8028545
8	Cấu trúc xây dựng mới	9.156870764	105.8048654
9	Cấu trúc xây dựng mới	9.151266335	105.8070922

10	Cấu trúc xây dựng mới	9.174576137	105.8281677
11	Cấu trúc xây dựng mới	9.179785511	105.8260847
12	Cấu trúc xây dựng mới	9.185030607	105.824074
13	Cấu trúc xây dựng mới	9.190239801	105.8220631
14	Cấu trúc xây dựng mới	9.200694142	105.8180052
15	Cấu trúc xây dựng mới	9.186765346	105.849942
16	Cấu trúc xây dựng mới	9.189783283	105.848721
17	Cấu trúc xây dựng mới	9.195675237	105.8464231
18	Cấu trúc xây dựng mới	9.217130244	105.8381603
19	Cấu trúc xây dựng mới	9.22739648	105.8440227
20	Cấu trúc xây dựng mới	9.230959954	105.8428173
21	Cấu trúc xây dựng mới	9.234581396	105.8413808
22	Cấu trúc xây dựng mới	9.238087434	105.8401752
23	Cấu trúc xây dựng mới	9.229605323	105.8570915
24	Cấu trúc xây dựng mới	9.232881407	105.8560012
25	Cấu trúc xây dựng mới	9.235937344	105.8549102
26	Cấu trúc xây dựng mới	9.239050845	105.8537617
27	Cấu trúc xây dựng mới	9.242116486	105.8526129
28	Cấu trúc xây dựng mới	9.245038438	105.851512
29	Cấu trúc xây dựng mới	9.20584862	105.8158423

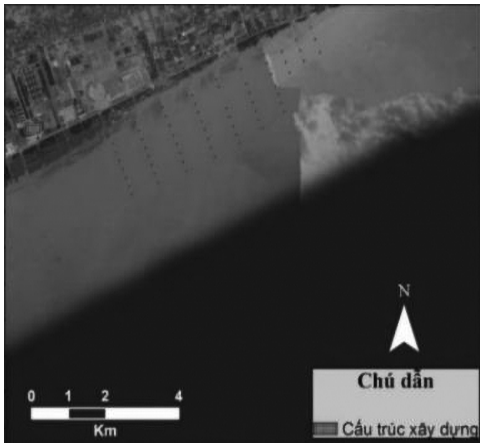
Hình 5. Kết quả xác định vị trí các công trình xây dựng điện gió tại vùng nghiên cứu trong giai đoạn 03/2017 đến 01/2024: (a) giai đoạn 3/2017-4/2018, (b) giai đoạn 4/2018-6/2019, (c) giai đoạn 06/2019-8/2020, (d) giai đoạn 8/2020-10/2021, (e) giai đoạn 10/2021-11/2022, (g) giai đoạn 11/2022-01/2024.



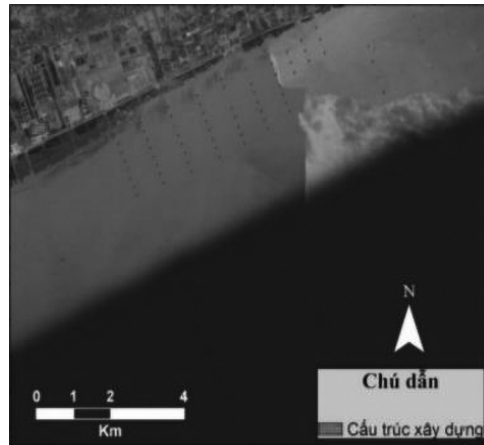
(a)



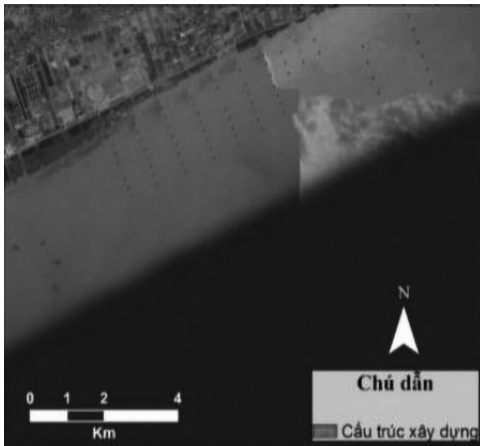
(b)



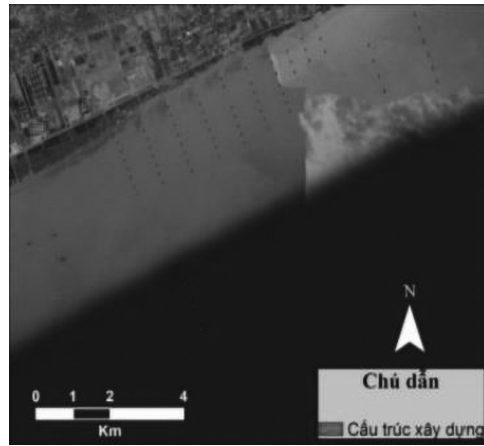
(c)



(d)



(e)



(f)

3.2. Đánh giá độ chính xác

Bảng 2 trình bày kết quả đánh giá độ chính xác của bản đồ vị trí Nhà máy điện gió Bạc Liêu. Tỷ lệ âm tính giả và tỷ lệ dương tính giả cho khu vực này là 0%. Kết quả độ chính xác của bản đồ rất cao xuất phát từ đặc điểm hiện

trạng sử dụng đất tại khu vực xây dựng công trình điện gió. Công trình điện gió này được xây dựng tại khu vực ngoài bờ biển nên không có sự hiện diện các cấu trúc xây dựng của các công trình dân sự hay các lớp phủ mặt đất/loại sử dụng đất khác.

Bảng 2 Kết quả đánh giá độ chính xác

Nhà máy điện gió	N_xd (pixels)	N_kh (pixels)	False Negative Rate (FNR) (%)	False Positive Rate (FPR) (%)
Bạc Liêu	50	30	0	0
Tổng cộng	50	30	Trung bình FNR = 0%	Trung bình FPR = 0%

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã xây dựng một phương pháp xử lý dữ liệu ảnh vệ tinh radar trong không gian phân cực 2 chiều VV-VH nhằm khắc phục các tác động gây nhiễu của các biến đổi phức tạp về góc tới và góc phương vị của dữ liệu ảnh vệ

thinh SAR. Thuật toán này rất quan trọng vì nó cho phép sử dụng các dữ liệu SAR với phạm vi rộng (wide swaths) và do đó quan sát thường xuyên hơn với phạm vi bao phủ lớn so với dữ liệu thu được trong phạm vi hẹp (narrow swaths). Vấn đề với các chế độ quét rộng là phạm vi góc tới

lớn ($29,1^\circ$ đến $46,0^\circ$ đối với chế độ quét rộng Sentinel-1 SAR được sử dụng trong nghiên cứu này) và những thay đổi về dấu hiệu tán xạ ngược cần được hiệu chỉnh dựa trên độ dốc tán xạ ngược như là một hàm số của góc tới đối với các lớp phủ/sử dụng đất khác nhau (Phụng và ctv, 2020). Việc hiệu chỉnh góc tới như vậy đòi hỏi kiến thức tiên nghiệm về các loại bề mặt lớp phủ mặt đất mà đôi khi có thể không có dữ liệu sẵn để hiệu chỉnh.

Phương pháp không gian phân cực 2 chiều VV-VH cho thấy rằng một miền (domain) để nhận biết về dấu hiệu tán xạ ngược SAR của các cấu trúc xây dựng so với các miền của các lớp phủ/sử dụng đất khác (chẳng hạn như cây cối, ruộng lúa, khu vực nuôi trồng thủy sản) trên các khu vực khác nhau ở khu vực nghiên cứu, ngoại trừ một số trùng lặp nhỏ trong miền VV-VH đối với những cây cối/thực vật có thể có độ tán xạ ngược cao. Phát hiện này chứng tỏ khả năng SAR xác định thành công các cấu trúc

xây dựng kiên cố ở các khu vực ẩm ướt và khô ráo từ nội địa đến vùng ven biển. Hơn nữa, việc xác định sự chồng chéo giữa các miền có cấu trúc xây dựng và cây cối/thực vật trong không gian phân cực 2 chiều VV-VH dẫn đến nhận thức rằng sự tương tác giữa cây và bề mặt nước trong quá trình phản xạ và tán xạ của tín hiệu SAR được truyền và nhận sẽ gây ra hiện tượng nhiễu cao. Điều này dẫn đến việc ứng dụng phương pháp sử dụng NDVI từ Sentinel-2 như một cách hiệu quả để sửa lỗi sự phân loại sai giữa cấu trúc xây dựng và cây cối/thực vật.

Phương pháp của nghiên cứu này có thể được sử dụng làm nguồn tài liệu tham khảo cho các cơ quan quản lý nhà nước tại địa phương trong việc xác định vị trí các trụ tua-bin điện gió ngoài thực địa tại các dự án điện gió. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu có thể làm nguồn tài liệu tham khảo trong quy hoạch sử dụng đất cho các dự án điện gió trong tương lai.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Nam, L. T. Á. (2022). Tỉnh Bạc Liêu hướng đến trở thành một trong những trung tâm năng lượng sạch của quốc gia. *Tạp Chí Công Sản*. <https://www.tapchicongsan.org.vn/web/guest/thuc-tien-kinh-nghiem1/-/2018/824909/tinh-bac-lieu-huong-den-tro-thanh-mot-trong-nhung-trung-tam-nang-luong-sach-cua-quoc-gia.aspx>
- Barsi, A., Kugler, Z., László, I., Szabó, G., & Abdulmutalib, H. M. (2018). Accuracy dimensions in remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3), 61–67. <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-XLII-3-61-2018>
- Catone, C. J. (2019). Bringing Calculus into Discrete Math via the Discrete Derivative. *The College Mathematics Journal*, 50(1), 21–27. <https://doi.org/10.1080/07468342.2019.1530553>
- Karila, K., Nevalainen, O., Krooks, A., Karjalainen, M., & Kaasalainen, S. (2014). Monitoring changes in rice cultivated area from SAR and optical satellite images in ben tre and tra vinh provinces in mekong delta, vietnam. *Remote Sensing*, 6(5), 4090–4108. <https://doi.org/10.3390/rs6054090>
- Kontgis, C., Warren, M. S., Skillman, S. W., Chartrand, R., & Moody, D. I. (2017). Leveraging Sentinel-1 time-series data for mapping agricultural land cover and land use in the tropics. *2017 9th International Workshop on the Analysis of Multitemporal Remote Sensing Images (MultiTemp)*, 1–4. <https://doi.org/10.1109/Multi-Temp.2017.8035199>
- Liew, S. C., Kam, S.-P., Tuong, T.-P., Chen, P., Minh, V. Q., & Lim, H. (1998). Application of multitemporal ERS-2 synthetic aperture radar in delineating rice cropping systems in the Mekong River Delta, Vietnam. *IEEE Transactions on Geoscience and Remote Sensing*, 36(5), 1412–1420. <https://doi.org/10.1109/36.718845>
- Nghiem, S. V., Borgeaud, M., Kong, J. A., & Shin, R. T. (1990). Polarimetric Remote Sensing of Geophysical Media with Layer Random Medium Model. In *Progress In Electromagnetics Research* (Vol. 3, pp. 1–73). Elsevier.
- Ngo, K. D., Nghiem, S. V., Lechner, A. M., & Vu, T. T. (2021). Building structure mapping on level terrains and sea surfaces in vietnam. *Remote Sensing*, 13(13). <https://doi.org/10.3390/rs13132439>

- Nguyen, D. B., Gruber, A., & Wagner, W. (2016). Mapping rice extent and cropping scheme in the Mekong Delta using Sentinel-1A data. *Remote Sensing Letters*, 7(12), 1209–1218. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2016.1225172>
- Phung, H.-P., Nguyen, L.-D., Thong, N.-H., Thuy, L.-T., & Apan, A. A. (2020). Monitoring rice growth status in the Mekong Delta, Vietnam using multitemporal Sentinel-1 data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(01), 1. <https://doi.org/10.1117/1.jrs.14.014518>
- Zhang, K., Fu, X., Lv, X., & Yuan, J. (2021). Unsupervised Multitemporal Building Change Detection Framework Based on Cosegmentation Using Time-Series SAR. In *Remote Sensing* (Vol. 13, Issue 3). <https://doi.org/10.3390/rs13030471>