

**Tạp chí Khoa học và Kinh tế Phát triển  
Trường Đại học Nam Cần Thơ**

Website: [jsde.nctu.edu.vn](http://jsde.nctu.edu.vn)



**Ứng dụng ảnh viễn thám Sentinel-1 SAR đa thời gian trong thành lập bản đồ cấu trúc xây dựng kiên cố tại khu vực bán đảo Cà Mau**

Ngô Đức Khánh<sup>1\*</sup>, Ngô Đức Lưu<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Bạc Liêu

\*Người chịu trách nhiệm bài viết: Ngô Đức Khánh (email: [ndkhanh@blu.edu.vn](mailto:ndkhanh@blu.edu.vn))

Ngày nhận bài: 30/11/2023

Ngày phản biện: 15/12/2023

Ngày duyệt đăng: 10/1/2024

**Title:** Applying multi-temporal Sentinel-1 SAR remote sensing images in creating maps of solid construction structures in the Ca Mau peninsula area

**Keywords:** building structure mapping, google earth engine, sentinel-1 SAR, time series, sentinel-2 NDVI

**Từ khóa:** bản đồ cấu trúc xây dựng, đa thời gian, sentinel-1 SAR, sentinel-2 NDVI

**ABSTRACT**

Mapping building structures is crucial for environmental change and impact assessment, and is especially important to accurately estimate fossil fuel CO<sub>2</sub> emissions from human settlements. From time-series composites of Sentinel-1 synthetic aperture radar (SAR) data in the two-dimensional VV-VH polarization space, we determined the VV-VH domain for detecting building structures, whose persistence was defined based on the number of times that a pixel was identified as a building in time-series data. The methods were tested in three cities in Ca Mau peninsula (Bac Lieu, Ca Mau, Soc Trang). Using in-situ data and field observations, we validated the methods and found that the results were accurate, with an average false negative rate of 9,8% and average false positive rate of 5,6% for building detection. The results demonstrated the potential use of satellite dual-polarization SAR to identify persistent building structures annually across rural-urban landscapes with different environmental conditions.

**TÓM TẮT**

Lập bản đồ các cấu trúc xây dựng kiên cố có vai trò quan trọng trong đánh giá tác động và thay đổi môi trường, đồng thời đặc biệt quan trọng để ước tính chính xác lượng khí thải CO<sub>2</sub> từ nhiên liệu hóa thạch từ các khu định cư của con người. Từ dữ liệu radar khẩu độ tổng hợp (SAR) Sentinel-1 đa thời gian trong không gian phân cực hai chiều VV-VH, chúng tôi đã xác định các cấu trúc xây dựng kiên cố dựa trên số lần một pixel được nhận diện. Phương pháp đã được thử nghiệm tại ba thành phố khu vực bán đảo Cà Mau (Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng). Bằng cách sử dụng dữ liệu quan sát thực

địa, chúng tôi đã đánh giá độ chính xác của phương pháp và nhận thấy rằng kết quả có độ chính xác cao, với tỷ lệ âm tính giả trung bình là 9,8% và tỷ lệ dương tính giả trung bình là 5,6% khi phát hiện cấu trúc xây dựng. Các kết quả đã chứng minh tiềm năng sử dụng ảnh vệ tinh SAR để xác định các cấu trúc xây dựng kiên cố hàng năm trên các cảnh quan thành thị-nông thôn với các điều kiện môi trường khác nhau.

## 1. GIỚI THIỆU

Lập bản đồ chính xác cơ sở hạ tầng đô thị được coi là ưu tiên hàng đầu, không chỉ đối với việc phân bổ và quản lý tài nguyên và dịch vụ mà còn giải quyết các vấn đề môi trường, kinh tế xã hội và địa chính trị [4]. Thông tin sâu rộng về sử dụng đất đô thị, bao gồm xây dựng đô thị và bao phủ cây xanh, giúp các nhà quy hoạch chuẩn bị và bố trí cơ cấu giao thông đô thị, hệ thống nước và cây xanh, đồng thời xác định quy mô và hướng phát triển đô thị trong tương lai trong quy trình quy hoạch tổng thể đô thị [9]. Hơn nữa, điều quan trọng để thực hiện thành công Thỏa thuận Paris trong Công ước khung của Liên hợp quốc về biến đổi khí hậu (UNFCCC) là việc lập bản đồ và giám sát chính xác các loại khí nhà kính như CO<sub>2</sub> [3]. Hiện tại, lượng phát thải CO<sub>2</sub> (FFCO<sub>2</sub>) từ nhiên liệu hóa thạch được ước tính bằng dữ liệu ánh sáng ban đêm (Night Time Light) làm đại diện cho các khu định cư của con người. Dữ liệu này có thể được cải thiện bằng bản đồ các cấu trúc tòa nhà được xác định về mặt vật lý [8].

Dữ liệu SAR có độ phân giải không gian cao từ 10 đến 100 m và được thu thập từng phần tại các thời điểm khác nhau trên các khu vực khác nhau trên thế giới bất kể điều kiện bóng tối và mây che phủ. Dữ liệu SAR đã được sử dụng để mô tả phạm vi đô thị và ngoại ô với kết quả đáng tin cậy [1]. Các bộ dữ liệu không gian địa lý như các sản phẩm Dấu chân đô thị toàn cầu (GUF) và

Dấu chân định cư thế giới (WSF) đã được lấy thành công từ dữ liệu TerraSAR-X và TanDEM-X SAR. Nghiên cứu việc sử dụng dữ liệu Sentinel-1A SAR và Sentinel-2A Multispectral Instrument (MSI) đa thời gian để phát triển các dịch vụ đô thị toàn cầu thí điểm. Họ phát hiện ra rằng dữ liệu SAR Sentinel-1A kết hợp với dữ liệu SAR lịch sử đã tạo ra kết quả tốt cho việc mô tả đặc điểm khu vực xây dựng mới [1].

Nghiên cứu này được thực hiện nhằm phát triển phương pháp mới và mạnh mẽ bằng cách sử dụng Sentinel-1 SAR để xác định và lập bản đồ các cấu trúc tòa nhà kiên cố thể hiện sự định cư bền vững của con người và tránh các hạn chế của NTL để cải thiện ước tính lượng phát thải FFCO<sub>2</sub>. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu có thể làm cơ sở cho các nhà quản lý đất đai tại địa phương xác định các khu vực xây dựng trái phép và xác định biến động diện tích đất ở.

## 2. PHƯƠNG PHÁP

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày phương pháp nhằm xác định các cấu trúc xây dựng kiên cố (nhà ở, văn phòng làm việc hay các công trình xây dựng khác) tại khu vực đô thị và vùng ngoại ô trong đó đặc biệt chú ý đến sự ảnh hưởng của địa hình và các tương tác cây-nước lên tín hiệu radar. Quá trình phân tích bao gồm xử lý hình ảnh, lập bản đồ và đánh giá độ chính xác, được thực hiện bằng cách sử dụng nền tảng Google Earth Engine (GEE), Hệ thống hỗ trợ

phân tích tài nguyên địa lý (Geographic Resources Analysis Support System - GRASS ) 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.

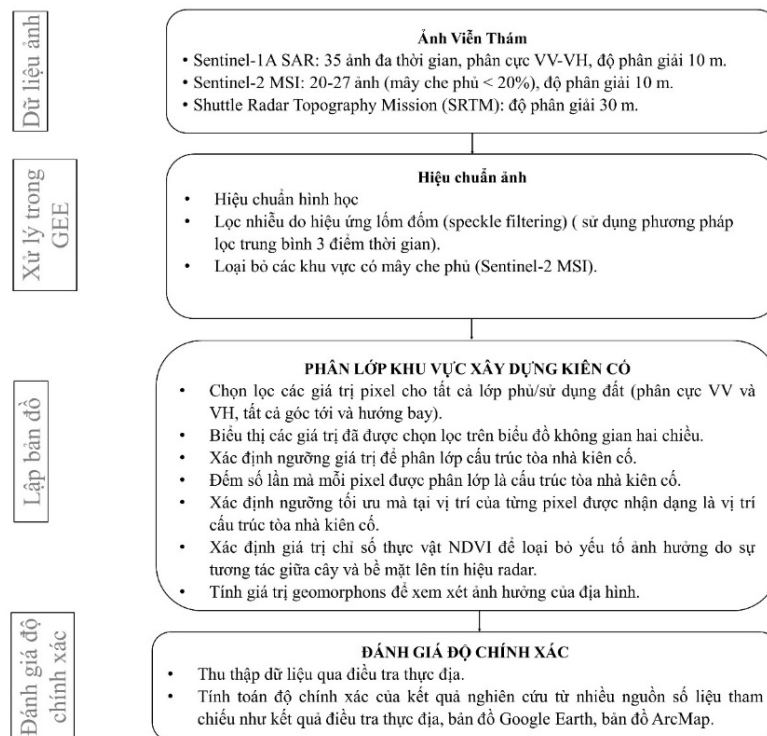
**2.1 Xử lý ảnh**

Tất cả các hình 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:

$$p_{\text{mean}(ij \text{ at } t)} = \text{average}(p_{ij \text{ at } t-1} : p_{ij \text{ at } t+1}) \quad (1)$$

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



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

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 tòa nhà cần phải tồn tại lâu dài để được phát hiện.

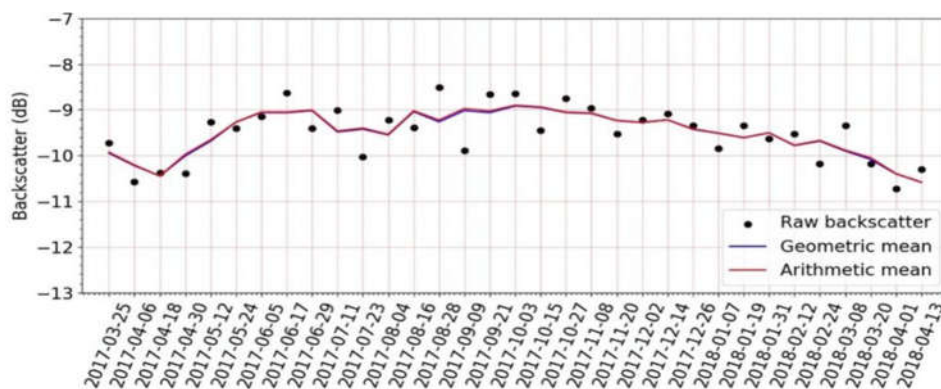
Phép tính được áp dụng để thu được giá trị trung bình hình học theo dB và giá trị trung bình số học theo đơn vị tuyến tính (bao gồm chuyển

đổi từ dB sang giá trị tuyến tính). Hình 2 trình bày giá trị tán xạ ngược thô (Raw backscatter), trung bình hình học (Geometric mean) và trung bình số học (Arithmetic mean). Bộ lọc trung bình 3 điểm đa thời gian đã cho thấy khả năng giảm nhiễu một cách hiệu quả và đảm bảo giá trị tán xạ ngược tại mọi điểm thời gian bảo toàn. Nghiên cứu cho thấy kết quả từ giá trị trung bình hình học tính bằng dB và giá trị trung bình số học (được chuyển đổi trở lại dB) là tương tự nhau, do đó, giá trị trung bình hình học được sử dụng để tính toán hiệu quả mà không cần chuyển đổi qua lại giữa dB và đơn vị tuyến tính.

**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 3). 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 x và phân

cực VH cho trục y 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 (chẳng hạn như cánh đồng lúa) và khu vực nuôi trồng thủy sản (chẳng hạn như trang trại nuôi tôm) như trong Hình 3. 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-D 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 trên đất liền 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). Khi ở trên biển, pixel cấu trúc xây dựng kiên cố được xác định ở nơi tán xạ ngược VH lớn hơn 20 dB ( $VH > 20$  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.



**Hình 2. Lọc dữ liệu ảnh đa thời gian Sentinel-1A SAR cho phân cực VH trên thành phố Bạc Liêu**

Để xem xét các pixel cấu trúc xây dựng kiên cố bị thiếu, các ngưỡng VV và VH đã được áp

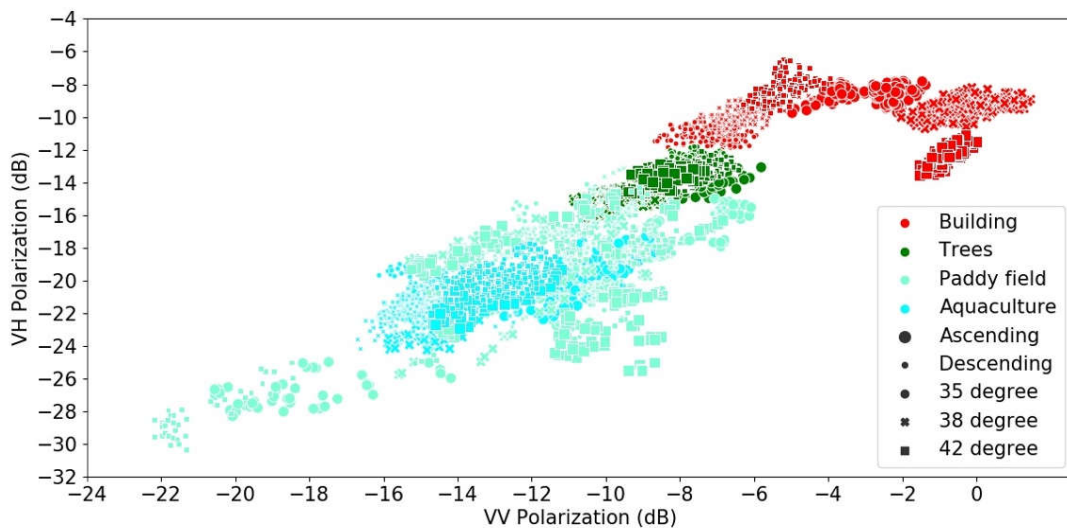
dụng cho tất cả hình ảnh đa thời gian Sentinel-1A (33 hình ảnh). Tất cả hình ảnh đầu ra (với giá trị

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<sub>ij</sub> được phát hiện là cấu trúc xây dựng T lần trong số 33 hình ảnh, thì số lượng pixel<sub>ij</sub> 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).

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 (building\_count\_threshold) 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<sub>ij</sub> được xác định là một cấu trúc xây dựng nếu building\_count<sub>ij</sub> > building\_count\_threshold trong đó building\_count\_threshold có thể nằm trong khoảng từ 1 đến 33. Đạo hàm rời rạc của pixel cấu trúc xây dựng được tính như sau:

$$\Delta_{m,n} = N_{\text{threshold}_m} - N_{\text{threshold}_n} \quad (2)$$



**Hình 3. 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 (đơn vị dB)**

Phương trình (2) tính toán đạo hàm rời rạc của pixel cấu trúc xây dựng, trong đó các thuật ngữ:  $\Delta_{m,n}$  cho đạo hàm giữa ngưỡng m và n,  $N_{\text{threshold}_m}$  cho số lượng pixel cấu trúc xây dựng ở ngưỡng m ( $1 \leq m \leq 33$ ) và  $N_{\text{threshold}_n}$  cho số lượng pixel cấu trúc xây dựng ở ngưỡng n ( $1 \leq n \leq 33$ ). Dựa trên công thức được đưa ra bởi Phương trình (2), các đường cong đạo hàm rời rạc đã được sử dụng để xác định ngưỡng số lượng tòa nhà tối ưu áp dụng cho tất cả các trường hợp nghiên cứu. Phương pháp này yêu cầu kết cấu

công trình tồn tại bền bỉ trong thời gian tối thiểu khoảng 4 tháng.

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. 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 (Nghiem và ctv 1990) từ cây cối thực vật trong

tự như 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 chồng 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 nhau được chuẩn hóa (NDVI - Normalized Different Vegetation Index) được tính toán từ ảnh vệ tinh Sentinel-2 đã được sử dụng. 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 ( $NDVI_{avg\_Nmax}$ ) 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 tòa nhà nếu  $NDVI_{avg\_Nmax} > NDVI_{threshold}$ . Nhiều trường hợp cho  $N = 3, 5, 10$  và  $15$  đã được kiểm tra và  $NDVI_{threshold}$  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  $NDVI_{threshold} = 0,35$  đã được đặt 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 nhiều khu định cư của con người bao gồm các thị trấn nhỏ và thành phố lớn có thể có cây dọc theo sông, hồ và các vùng nước khác.

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

Dữ liệu thực địa được thu thập tại ba thành phố (Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng) ở khu vực bán

đảo Cà Mau. Công việc thực địa bao gồm việc di chuyển dọc theo các tuyến đường bộ và đường thủy chính (ví dụ: sông, kênh) 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 (trường học, bệnh viện, trung tâm thương mại, nhà ở, v.v.), cây cối (rừng phòng hộ ven biển, cây lâu năm, hoa màu), ruộng lúa và 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 tòa nhà hoặc không tòa nhà 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 tòa nhà được phân loại chính xác là tòa nhà ( $N_{building}$ ), (2) số lượng pixel bị phân loại sai là tòa nhà 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 tòa nhà ( $n_{om}$ ), 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 ( $N_{others}$ ). Sử dụng kết quả của  $n_{um}$ ,  $n_{om}$  và  $N_{others}$ , tỷ lệ âm tính giả (false negative rate) và tỷ lệ dương tính giả (false positive rate) được tính theo tỷ lệ phần trăm như sau [2]:

$$\text{false negative rate} = [n_{om}/(n_{om} + N_{building})] \times 100\%$$

$$\text{false positive rate} = [n_{um}/(n_{um} + N_{others})] \times 100\%$$

### 3. KẾT QUẢ

Hình 4a thể hiện kết quả phân loại tòa nhà và Hình 4b trình bày bản đồ phân loại tòa nhà theo lưới kích thước mỗi pixel là 10 m cho ba thành phố (Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng) được chồng lên trên bản đồ nền ArcGIS màu thật. Những bản đồ này cho thấy hầu hết các pixel tòa nhà tập trung xung quanh các thành phố và phân tán dọc theo các tuyến đường bộ và đường thủy xuất phát từ khu vực thành thị đến nông thôn. Kết quả từ việc phân loại tòa nhà cho mỗi thành phố cho thấy các mô hình không gian đặc biệt gắn liền với lịch sử phát triển riêng biệt, những hạn chế về môi trường xã hội, những tác nhân phân bố về dân cư và tiêu chuẩn phát triển cơ sở hạ tầng. Các bản đồ cũng nhấn mạnh rằng các kiểu phân bố không gian này được ghi lại bằng phương pháp phân loại ở độ phân giải không gian cao, thậm chí có thể xác định vị trí của từng tòa nhà riêng biệt.

Trung tâm hành chính công tỉnh Bạc Liêu và chợ Bạc Liêu ở Phường 3 nằm ở ngay trung tâm thành phố. Được xây dựng vào những năm 1920, chợ Bạc Liêu ban đầu là nơi buôn bán sầm uất của người Hoa và người Việt. Nhiều ngôi nhà cổ và cửa hàng mua sắm hiện diện. Trong những năm 2010, hàng loạt cơ sở hạ tầng công và tư như trường Đại học Bạc Liêu, siêu thị Coopmart, trung tâm mua sắm Vincom, bệnh viện Thanh Vũ được xây dựng mới và mở rộng nhằm đáp ứng nhu cầu tăng dân số, nhu cầu lao động và phát triển kinh tế ở Bạc Liêu. Để tuân thủ Chương trình Phát triển Đô thị Quốc gia 2012–2020 và đáp ứng nhu cầu nhà ở, bốn khu dân cư mới (Phường 2, Phường 5, Hoàng Phát, Tràng An) đã được xây dựng. Dọc theo đường Trần Phú và đường Quốc Lộ 1A – hai con đường chính vào trung tâm thành phố – nhiều ngôi nhà, cửa hàng mua sắm, ngân hàng và nhà hàng cũng được xây dựng và hiện thị trên bản đồ đã phân loại. Mật độ

xây dựng cao cũng có thể được nhìn thấy tại các địa điểm du lịch như Khu du lịch Nhà Mát trên đường Hoàng Sa cạnh bờ biển và tại các địa điểm tôn giáo như chùa Quán Âm Phật Đài. Phía bắc thành phố Bạc Liêu là khu vực trồng lúa trong khi phía nam thành phố có nhiều trang trại nuôi trồng thủy sản mà đa số là nuôi tôm thâm canh. Ở khu vực nông thôn, chúng tôi phát hiện ít tòa nhà hơn trên các cánh đồng lúa trong khi có nhiều chòi canh bảo vệ được phát hiện ở các khu vực nuôi tôm thâm canh.

Đối với thành phố Cà Mau, Tỉnh ủy Cà Mau (Thành ủy Cà Mau) và Ủy ban nhân dân tỉnh Cà Mau thuộc Phường 5 là trung tâm của Cà Mau. Thành phố Cà Mau dự kiến sẽ trở thành đô thị loại I vào năm 2025, vì vậy rất nhiều đường phố đã được xây dựng và nâng cấp. Thành phố Cà Mau mở rộng về mọi hướng với nhiều nhà dân được xây dựng dọc theo các trục đường chính và các sông bao gồm theo các hướng như Bạc Liêu (phía đông Cà Mau), huyện Thới Bình (phía bắc và đông bắc Cà Mau), huyện U Minh (phía tây của Cà Mau), huyện Đầm Dơi và Cái Nước (phía nam Cà Mau). Một trong những khu dân cư nổi tiếng ở Cà Mau là khu nhà ở Tổ hợp Khí-Điện-Đạm gần sông Cà Mau. Phía tây, phía bắc và phía đông của Cà Mau được bao quanh bởi vùng nuôi tôm quảng canh, ở đây kết quả bản đồ cũng có thể xác định được các chòi canh bảo vệ các ao nuôi tôm.

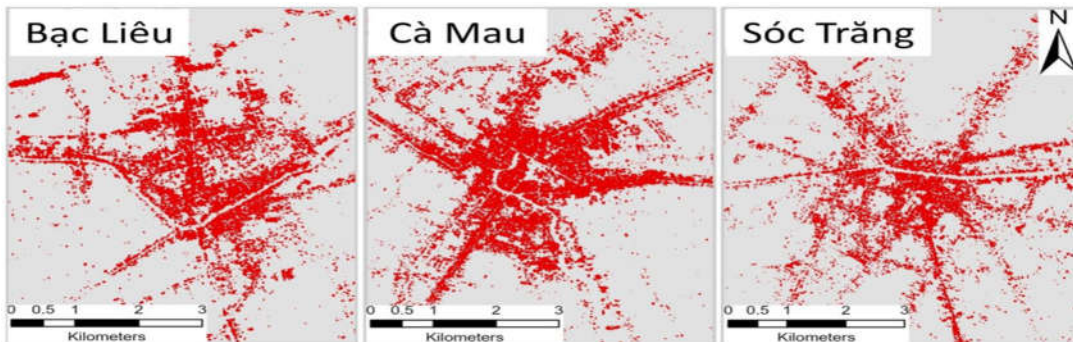
Tại khu vực thành phố Sóc Trăng, Tỉnh Ủy Sóc Trăng và Ủy ban nhân dân tỉnh Sóc Trăng thuộc Phường 2 đều nằm ở trung tâm thành phố. Khu vực đô thị ở Sóc Trăng chủ yếu phát triển dọc theo các tuyến đường chính vào thành phố và dọc theo sông Maspero. Các khu dân cư và thương mại mới (Trần Quang Diệu, Hạnh Phúc, Lê Duẩn) được xây dựng tại Phường 2, Phường 3

và Phường 4 để đáp ứng sự gia tăng dân số của thành phố. Thành phố cũng đã mở rộng về phía nam sông Maspero dọc theo đường Trần Hưng Đạo và Lê Hồng Phong và về phía bắc sông Maspero dọc theo đường Hùng Vương và Tôn Đức Thắng. Thành phố Sóc Trăng được bao quanh bởi những cánh đồng lúa nên các ngôi nhà ở khu vực lân cận thành phố Sóc Trăng được xây dựng dọc theo các kênh thủy lợi.

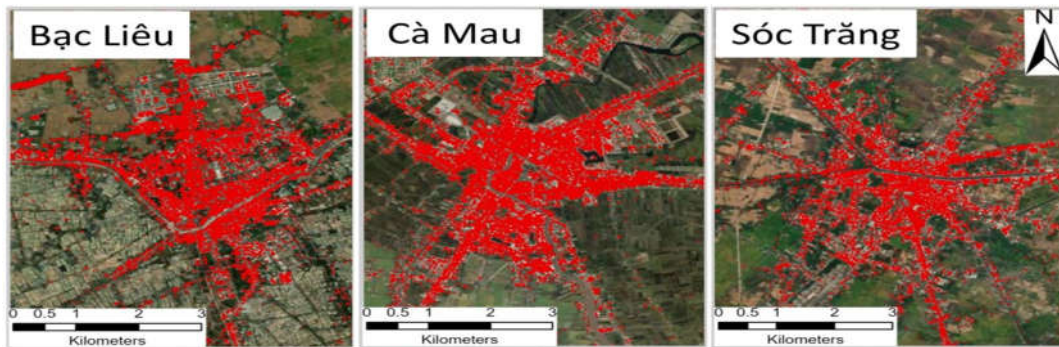
Được đánh giá bằng dữ liệu quan sát thực địa, Bảng 1 cho thấy độ chính xác của việc lập bản đồ xây dựng ở Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng. Trong

ba thành phố này, Bạc Liêu có độ chính xác cao nhất với tỷ lệ âm tính giả = 8,6% và tỷ lệ dương tính giả = 5,2%. Sóc Trăng có độ chính xác bản đồ thấp nhất với tỷ lệ âm tính giả = 11,4% và tỷ lệ dương tính giả = 6,1%. Trong khi đó, tỷ lệ âm tính giả và tỷ lệ dương tính giả của Cà Mau lần lượt là 9,5% và 5,5% và tỷ lệ dương tính giả từ 5,5% đến 7,0%. Đối với ba thành phố, tỷ lệ âm tính giả trung bình là 9,8% và tỷ lệ dương tính giả trung bình là 5,6% sau khi điều chỉnh ảnh hưởng do các tương tác giữa cây-bè mặt nước.

(a)



(b)



**Hình 4. Bản đồ phân loại ba thành phố: Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng (a) và bản đồ phân loại ba thành phố đặt trên bản đồ nền ArcGIS: Bạc Liêu, Cà Mau, Sóc Trăng (b)**

**Bảng 1. Đánh giá độ chính xác**

Thành phố	N_building (pixels)	N_others (pixels)	False Negative Rate (FNR) (%)	False Positive Rate (FPR) (%)
Bạc Liêu	320	330	8,6	5,2
Cà Mau	306	344	9,5	5,5
Sóc Trăng	310	340	11,4	6,1
Tất cả thành phố	936	1014	Trung bình FNR = 9,8%	Trung bình FPR = 5,6%



#### 4. THẢO LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày việc sử dụng phương pháp không gian phân cực 2 chiều VV-VH cho phép phát triển một thuật toán mạnh mẽ để khắc phục các tác động gây nhiễu của các biến đổi phức tạp về góc tới và góc phương vị của dữ liệu vệ tinh 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 [7]. Việc hiệu chỉnh góc tới như vậy đòi hỏi kiến thức tiên nghiệm về các loại bề mặt lớp phủ mà đôi khi có thể không có dữ liệu sẵn để hiệu chỉnh.

Không gian 2-D VV-VH cho thấy rằng một miền (domain) dễ nhận biết về dấu hiệu tán xạ ngược SAR của các cấu trúc xây dựng từ 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 bán đảo Cà Mau, 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 từ cảnh quan đô thị-ngoại ô đến cảnh quan tự nhiên-nông thôn với các môi trường khác nhau 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 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 đã thúc đẩy sự phát triển của phương pháp sử dụng NDVI từ Sentinel-2 như một phương pháp hiệu quả để sửa lỗi sự phân loại sai giữa cấu trúc xây dựng và cây cối/thực vật.

#### 5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã trình bày một phương pháp cải tiến để phát hiện và lập bản đồ các cấu trúc xây dựng trên đất liền bằng cách sử dụng dữ liệu vệ tinh Sentinel-1 SAR đa thời gian. Các kết quả đã được xác nhận bằng các quan sát thực địa ở khu vực bán đảo Cà Mau. Kết luận từ nghiên cứu này bao gồm các điểm chính sau: Việc sử dụng mới dữ liệu SAR của vệ tinh Sentinel-1 trong không gian phân cực hai chiều cho phép phương pháp này hoạt động hiệu quả trước các yếu tố gây nhiễu do góc tới và góc phương vị khác nhau, do tương tác tín hiệu radar cây-bề mặt nước (tích hợp với dữ liệu Sentinel-2 MSI) mà không cần phải dựa vào các phương pháp phức tạp hơn như mạng thần kinh (neural networks) có thể đưa ra các kết quả phi tuyến tính và không duy nhất. Chứng minh khả năng của tín hiệu tán xạ ngược radar để dò tìm các cấu trúc xây dựng dựa trên phản xạ của tín hiệu radar đối với kết cấu vật lý thực sự của các cấu trúc xây dựng, thay vì màu sắc quang học hoặc hình ảnh quang phổ của các loại lớp phủ mặt đất. Vì phương pháp này dựa trên đặc trưng của tín hiệu radar từ các cấu trúc công trình vật lý nên nó có thể thu nhận thành công các đặc điểm của mô hình xây dựng đô thị tương ứng với các loại phát triển đô thị và tình trạng kinh tế xã hội khác nhau, cũng như trong các cảnh quan đô thị-nông thôn khác nhau ở cả hai khu vực vùng nội địa, ven biển có điều kiện môi trường ẩm ướt. Về phần mở rộng nghiên cứu trong tương lai, thuật toán trong

nghiên cứu này có thể được sửa đổi hoặc điều chỉnh để sử dụng với dữ liệu SAR ở các tần số khác như băng tần X (các vệ tinh TerraSAR-X/TanDEM-X và COSMO-SkyMed hiện tại, các vệ tinh LOTUSat-1 và LOTUSat-1 trong tương lai), băng tần L (ALOS-2 PALSAR-2 hiện tại và Copernicus ROSE-L trong tương lai), và băng tần L và băng tần kết hợp S (SAR của NASA-ISRO được phóng vào năm 2022). Sự kết hợp tổng hợp của các bộ dữ liệu vệ tinh SAR mang lại tiềm năng lớn để tạo ra các sản phẩm dữ liệu cấu trúc xây dựng toàn cầu trên nhiều quy mô không gian và thời gian, không chỉ cho dấu vết tòa nhà hai chiều mà còn có khả năng cho khối lượng tòa nhà ba chiều.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Ban, Y. (2017). EO4Urban: Sentinel-1A SAR and Sentinel-2A MSI data for global urban services. *Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, pp. 1–4. DOI: 10.1109/JURSE.2017.7924550.
- [2] Barsi, A. (2018). Accuracy dimensions in remote sensing. *International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences - ISPRS Archives*, 42(3), pp. 61–67. DOI: 10.5194/isprs-archives-XLII-3-61-2018.
- [3] Gaughan, A. E. (2019). Evaluating nighttime lights and population distribution as proxies for mapping anthropogenic CO<sub>2</sub> emission in Vietnam, Cambodia and Laos. *Environmental Research Communications*, 1(9), p. 091006. DOI: 10.1088/2515-7620/ab3d91.
- [4] Mathews, A. J. (2019). Satellite scatterometer estimation of urban built-up volume: Validation with airborne lidar data. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 77, pp. 100–107. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jag.2019.01.004>.
- [5] Mathews, A. and Nghiem, S. (2021). *Examining Urban Built-up Volume: three-dimensional analyses with lidar and radar data*. DOI: 10.1002/9781119625865.ch2.
- [6] Nghiem, S. V. (2009). Observations of urban and suburban environments with global satellite scatterometer data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 64(4), pp. 367–380. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2009.01.004>.
- [7] Phung, H.P. (2020). Monitoring rice growth status in the Mekong Delta, Vietnam using multitemporal Sentinel-1 data. *Journal of Applied Remote Sensing*, 14(01), p. 1. DOI: 10.1117/1.jrs.14.014518.
- [8] Sorichetta, A. (2020). Transformative Urban changes of Beijing in the decade of the 2000s. *Remote Sensing*, 12(4). DOI: 10.3390/rs12040652.
- [9] Xiao, Y. and Zhan, Q. (2009). A review of remote sensing applications in urban planning and management in China, *2009 Joint Urban Remote Sensing Event*, pp. 1–5. DOI: 10.1109/URS.2009.5137653.