

Check for updates

# Bài báo khoa học

# Ứng dụng phương pháp phân tích véc tơ biến động đánh giá biến động lớp phủ đất khu vực ven biển

# Tống Sĩ Sơn<sup>1</sup>\*

<sup>1</sup> Trường Đại học Khoa học và Công nghệ Hà Nội (USTH), Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam (VAST); tong-si.son@usth.edu.vn

\*Tác giả liên hệ: tong-si.son@usth.edu.vn; Tel.: +84-912828380

Ban Biên tập nhận bài: 2/6/2024; Ngày phản biện xong: 6/8/2024; Ngày đăng bài: 25/1/2025

Tóm tắt: Phân tích véc tơ biên động (CVA) là phương pháp đánh giá biên động trong viễn thám dựa trên sự sai khác về phổ phản xạ của đối tượng bề mặt trên ảnh viễn thám. Phương pháp CVA cho phép định lượng biến động thông qua xác định xu hướng và cường độ biến động của đôi tượng. Nghiên cứu này áp dụng phương pháp CVA đánh giá biên động lớp phủ đất từ cặp ảnh Sentinel-2 chụp năm 2015 và 2023 khu vực các xã ven biển tỉnh Thái Bình. Cường đô biến đông và hướng biến đông được tính toán dựa trên sự thay đối của chỉ số thực vật chuẩn hóa (NDVI) và chỉ số đất trống (BI). Bên cạnh đó, các thành phần biến động được đánh giá so sánh với 9 loại lớp phủ để xác định mối tương quan của lớp phủ đất và các thành phần biến động. Kết quả phân tích cho thấy, cường độ biến động cao xảy ra ở hướng biến động IV, xác định bởi sự gia tăng của chỉ số NDVI và giảm chỉ số BI, là đặc trưng của sự mở rộng diện tích rừng ngập mặn. Hướng biến động III là sự suy giảm đồng thời của BI và NDVI, chỉ dâu cho xói mòn bờ biên cửa sông Hồng. Bên cạnh đó, sự hình thành các doi cát ven biến được chỉ ra bởi hướng biến đông I với sư gia tăng của cả NDVI và BI. Nghiên cứu chứng minh khả năng kết hợp phương pháp CVA và phân loại ảnh giúp giảm thiêu ảnh hưởng gây ra bởi sự khác biệt mùa giữa hai lần chụp ảnh trong đánh giá biến động khu vực ven biên.

**Từ khóa:** Phương pháp CVA; Biến động lớp phủ; Cường độ biến động; Xu hướng biến động; Khu vực ven biển.

# 1. Đặt vấn đề

Lớp phủ đất (*Landcover*) là lớp vật chất trên bề mặt trái đất như đất trống, thực vật, mặt nước. Các yếu tố môi trường và lớp phủ đất có ảnh hưởng tương hỗ, do đó biến động lớp phủ là một trong những hiện tượng quan trọng nhất trong các nghiên cứu liên quan đến biến động môi trường. Nghiên cứu biến đổi môi trường không thể thiếu các đánh giá biến động lớp phủ đất [1, 2]. Trong nghiên cứu lớp phủ đất, viễn thám là phương pháp tối ru cho phép thu thập thông tin lớp phủ nhanh chóng với đa độ phân giải về không gian, thời gian, và với nhiều kênh phổ khác nhau phục vụ thành lập nhiều bản đồ biến động lớp phủ với đa dạng tỷ lệ và kích thước [3–5]. Hiện nay, nhiều kỹ thuật đã được phát triển cho tách chiết thông tin biến động trên ảnh viễn thám [3, 6], trong đó phân tích sự biến động phổ phản xạ của lớp phủ trên ảnh viễn thám chụp đa thời điểm giúp phát hiện những thay đổi nội tại trong các lớp cũng như cơ chế biến động của lớp phủ. Một số phương pháp đánh giá biến động lớp phủ khai thác sự thay đổi phản xạ phổ bao gồm: tỷ lệ các kênh ảnh, so sánh chỉ số thực vật, phân tích thành phần chính, so sánh phổ phản xạ, phân tích hồi quy và phân tích véc tơ biến động (CVA) (*Change-vector analysis*) [5, 7].

Phương pháp CVA đánh giá biến động lớp phủ dựa trên phân tích véc tơ biến động. Các véc tơ này sử dụng sự thay đổi phổ phản xạ trên các kênh ảnh, qua các thời điểm là thành *Tạp chí Khí tượng Thủy văn* **2025**, *769*, 57-70; doi:10.36335/VNJHM.2025(769).57-70 http://tapchikttv.vn/

58

phần của véc tơ. Phương pháp CVA có ưu điểm đi sâu phân tích bản chất vật lý gây ra những thay đổi lớp phủ thông qua việc đo đạc cường độ biến động và xu hướng biến động của từng điểm ảnh (*Pixel*) trên ảnh vệ tinh chụp các thời điểm khác nhau [2]. Ngoài ra, phương pháp CVA còn có thể kết hợp phản xạ phổ từ nhiều kênh phổ để tạo ra một ảnh chỉ số duy nhất thể hiện cường độ thay đổi giữa hai hoặc nhiều ảnh vệ tinh [8]. Chính vì vậy, CVA là một kỹ thuật hữu ích để thu thập thông tin về sự biến động lớp phủ cho nhiều đối tượng nghiên cứu như: đánh giá sự thay đổi lớp phủ nhiều năm [5, 25]; phát hiện những thay đổi của rừng [9, 26]; đánh giá trạng thái đất ngập nước [10]; phát hiện sự thay đổi sử dụng đất, lớp phủ ở vùng ven nông thôn - thành thị [11]; giám sát biến động đường bờ [2]. Tại Việt Nam, phương pháp CVA đã được áp dụng phân tích biến động lớp phủ đất khu vực Duy Tiên, Hà Nam [18]. Tuy nhiên, việc áp dụng kỹ thuật CVA cũng phải đối mặt với một số thách thức như: độ tin cậy của phản xạ phổ thu được trên ảnh đa thời gian không đồng nhất gây ra do các khác biệt về bộ cảm biến, quỹ đạo bay của vệ tinh, phương pháp thu nhận hình ảnh, điều kiện khí tương, hiệu chỉnh khí quyển. Bên canh đó, những khó khăn trong việc đinh lượng ngưỡng biến động phù hợp để phân tách các pixel thực sự biến động, những thách thức khi khai thác một số lượng lớn các kênh phổ phục vụ phân tích biến động cũng sẽ hạn chế độ chính xác khi áp dụng phương pháp CVA [7].

Bên cạnh tiếp cận CVA cơ bản xác định ngưỡng biến động cho cường độ biến động và xu hướng biến động, phương pháp CVA cũng được phát triển để kết hợp với các kỹ thuật phân tích thống kê để xác định tự động và nhanh các pixel thực sự biến động và không biến động. Các phương pháp kết hợp với CVA thường dùng là: Phương pháp phân loại sâu CVA (deep CVA) [19], phương pháp phân tích góc phổ trong không gian phổ (SAM) [20], phương pháp chuẩn tối ưu (Robust) [21], phương pháp Markov [22]. Nghiên cứu [23] đã thử nghiệm với các phương pháp trên để đánh giá biến động lớp phủ đất từ dữ liệu với các bộ cảm biến và độ phân giải khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy phương pháp CVA rất hiệu quả cho đánh giá biến động lớp phủ đất, hơn nữa, phương án kết hợp CVA với các công nghệ khác đều có những ưu và nhược điểm, việc sử dụng cho một mục đích và dữ liệu cụ thể cần có thử nghiệm đánh giá khi áp dụng [23]. Hơn nữa, áp dụng phương pháp CVA nào cũng cần đảm bảo 2 quá trình xử lý là hiệu chỉnh hình học và chuẩn hóa phổ giữa hai ảnh trước và sau biến động [24]. Để chuẩn hóa phổ giữa hai ảnh, hai bức ảnh cần được chụp cùng điều kiện môi trường, cùng điều kiện phổ hoặc cùng mùa nhằm đảm bảo sự khác biệt rõ về phổ phản xạ khu vực biến động và sự thay đổi không đáng kể về phổ của khu vực không biến động lớp phủ. Với khu vực nhiệt đới gió mùa thường xuyên bị mây bao phủ, việc thu thập các cặp ảnh vệ tinh đáp ứng điều kiện trên là thách thức đáng kể. Hơn nữa, với khu vực bãi triều ven biển bị ngập chìm theo chế độ thủy triều, việc xác thu thập được hai ảnh vệ tinh chụp tại cùng độ cao mực nước biển là rất khó khăn. Với khu vực ven biển, trong điều kiện nhiệt đới gió mùa như Việt Nam sẽ gia tăng thách thức khi áp dung hiệu quả phương pháp CVA cho khai thác thông tin về biến đông lớp phủ.

Để vượt qua thách thức trên, nghiên cứu ngày thử nghiệm kết hợp phương pháp CVA với phân loại lớp phủ trên ảnh vệ tinh Sentinel-2 trong điều kiện cặp ảnh chụp không cùng mùa nhưng có cùng độ cao mực nước thủy triều nhằm đánh giá biến động lớp phủ khu vực ven biển tỉnh Thái Bình.

#### 2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

#### 2.1. Giới thiệu khu vực nghiên cứu

Khu vực thực nghiệm là 12 xã dọc theo đường bờ biển tỉnh Thái Bình, bao gồm 5 xã thuộc huyện Thái Thụy và 7 xã thuộc huyện Tiền Hải (Hình 1) với tổng diện tích 30.000 ha. Khu vực nghiên cứu là một phần cửa sông Hồng, đặc trưng bởi các hoạt động nuôi trồng thủy hải sản và trồng lúa. Bên cạnh đó, khu vực nghiên cứu bao phủ toàn bộ diện tích hai Khu Bảo tồn thiên nhiên đất ngập nước Thái Thụy với 13.100 ha và Tiền Hải với 12.500 ha. Hai khu

bảo tồn nằm trọn trong khu vực dự trữ sinh quyển Châu thổ sông Hồng được bao phủ bởi thảm rừng ngập mặn dày. Do đó, khu vực rừng ngập mặn được bảo vệ nghiêm ngặt và hạn chế tối đa sự biến đổi ảnh hưởng đến hệ sinh thái rừng. Tuy nhiên, vùng ven biển ngoài khu bảo tồn đang được đẩy mạnh để phát triển cơ sở hạ tầng, kinh tế - xã hội. Việc khai thác và phát huy các lợi thế của địa phương đã kéo theo sự chuyển đổi nhanh chóng đất nông nghiệp sang đất sản xuất công nghiệp, dịch vụ và đất ở. Hơn nữa, khu vực ven cửa sông Hồng đang bị xâm thực mạnh do ảnh hưởng bởi các nguyên nhân tự nhiên cũng như nhân tạo. Chính vì vậy, ngoài việc phải quan trắc sự thay đổi của các loại lớp phủ đất, thì công tác giám sát xu hướng biến động cũng là nhiệm vụ không thể thiếu nhằm hỗ trợ công tác quản lý môi trường.



Hình 1. Vị trí khu vực nghiên cứu ven biển Thái Bình.

#### 2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu bao gồm các ảnh đa phổ Sentinel-2 được cung cấp từ dự án Copernicus của Liên minh Châu Âu. Hai cảnh ảnh Sentinel-2 chụp lúc 10h30' ngày 10/08/2015 và ngày 01/11/2023 đã được tiền xử lý ở mức 2A. Ở mức xử lý 2A, các ảnh vệ tinh đã được hiệu chỉnh hình học để đưa về hệ tọa độ quốc tế, hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển và chuẩn hóa về giá trị phổ phản xạ mặt đất. Ảnh Sentinel-2 có 13 kênh phổ, bao trùm từ dải sóng nhìn thấy đến vùng hồng ngoại sóng ngắn. Các ảnh có độ phân giải không gian thay đổi với 10 m, 20 m và 60 m. Trong đó, nghiên cứu sử dung 10 kênh ảnh gồm kênh 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 8A, 11 và kênh 12 cho phân tích biến động phổ. Trước khi đưa vào phân tích, các kênh ảnh được đưa về cùng đô phân giải không gian 10 m bằng kỹ thuật người láng giềng gần nhất (nearest neighbor). Để nhận được giá trị tỷ lệ phản xạ phổ mặt đất, giá trị độ xám (DN) của các kênh ảnh được lần lượt được chia cho 10.000 theo quy ước của dữ liệu



Hình 2. Tổ hợp màu giả chuẩn (màu RGB được gán tương ứng kênh cận hồng ngoại, đỏ, và xanh lục) của ảnh Sentinel-2 chụp ngày (A) 10/08/2015 và (B) 01/11/2023.

ảnh Sentinel 2 mức 2A. Các kênh ảnh phản xạ phổ được cắt theo ranh giới của khu vực nghiên cứu (Hình 2). Các ảnh được chụp cùng mức thủy triều 3,8 m (tại trạm Hòn Dấu), đảm bảo sự tương đồng về phần đất nổi lên trên mực nước biển trong hai lần chụp ảnh.

#### 2.3. Phương pháp nghiên cứu

Nghiên cứu sử dụng hai phương pháp chính gồm phương pháp phân tích vector biến động và phương pháp phân loại lớp phủ đất. Bên cạnh đó các kỹ thuật xử lý ảnh như chồng xếp, cắt ghép, phân tích ảnh cũng được sử dụng để đánh giá biến động nội tại của lớp phủ đất khu vực nghiên cứu. Hình 3 biểu thị tổng quát các bước và trình tự xử lý dữ liệu trong quá trình nghiên cứu. Nội dung chi tiết của các phương pháp được trình bày trong các mục tiếp theo.



Hình 3. Sơ đồ tổng quát các bước và trình tự xử lý dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu. Hình chữ nhật biểu thị các bước xử lý, hình elip biểu thị dữ liệu, kết quả.

# 2.3.1. Phương pháp phân tích véc tơ biến động (CVA)

Phương pháp CVA mô tả sự thay đổi phổ phản xạ thông qua hai thành phần: hướng véc tơ biến động (góc tạo bởi véc tơ biến động) và độ lớn của véc tơ biến động xác định bởi hai hoặc nhiều ảnh chụp ở hai thời điểm khác nhau [9]. Phản xạ phổ của đối tượng bề mặt được xác định trên ảnh vệ tinh tương ứng ở các thời điểm chụp ảnh là T1 và T2. Trong đó:

 $T_1 = (\rho_{11}, \rho_{12}, \rho_{13}, \dots, \rho_{1n})$  và  $T_2 = (\rho_{21}, \rho_{22}, \rho_{23}, \dots, \rho_{2n})$ . Với  $\rho$  và n là giá trị phản xạ phổ bề mặt và số lượng kênh phổ của ảnh tương ứng.

Véc tơ biến đông  $\Delta \rho$  được đinh nghĩa như sau:

$$\Delta \rho = T_2 - T_1 = \begin{bmatrix} \rho_{21} - \rho_{11} \\ \rho_{22} - \rho_{12} \\ \rho_{23} - \rho_{13} \\ \dots \\ \rho_{2n} - \rho_{1n} \end{bmatrix}$$
(1)

Cường độ biến động ( $|(\Delta)|$ ) giữa hai thời điểm là độ dài của véc tơ biến động được tính dựa trên sự thay đổi phổ phản xạ của đối tượng trên tất cả các kênh ảnh.

$$|\Delta \rho| = \sqrt{(\rho_{21} - \rho_{11})^2 + ... + (\rho_{2n} - \rho_{1n})^2}$$
(2)

Hướng biến động phổ phản xạ được xác định là góc tạo ra bởi véc tơ biến động và trục hoành. Góc véc tơ biến động thể hiện các loại thay đổi lớp phủ trong một khoảng thời gian cụ thể. Phản xạ phổ của một pixel trong kênh ảnh có thể được thay thế bằng các ảnh chỉ số hoặc các kênh ảnh tỷ lệ để tính toán cường độ và xu hướng biến động.

Trong nghiên cứu này, chỉ số thực vật chuẩn hóa (*NDVI-Normalized Difference Vegetation Index*) và chỉ số đất trống (*BI-Bare soil Index*) được sử dụng để định lượng sự biến đổi lớp phủ đất các xã ven biển tỉnh Thái Bình. Chỉ số NDVI là chỉ thị cho quan hệ giữa hàm lượng diệp lục tố (*Chlorophyll*) trong lá và phản xạ phổ ở dải sóng đỏ (red) và cận hồng ngoại (NIR). Do đó, ảnh chỉ số NDVI được sử dụng phổ biến trong các nghiên cứu về thực vật như ước tính sinh khối, năng suất cây trồng, tỷ lệ che phủ rừng [12, 13]. Chỉ số BI được tính toán từ kênh hồng ngoại sóng ngắn (SWIR) và kênh sóng đỏ (Red), sử dụng để tăng cường sự xuất hiện đất trống không có thực phủ trên ảnh vệ tinh [14].

Công thức tính toán chỉ số NDVI và BI như sau:

$$NDVI = \frac{(\rho_{Nir} - \rho_{Red})}{(\rho_{Nir} + \rho_{Red})}$$
(3)

$$BI = \frac{(\rho_{Swir} + \rho_{Red}) - (\rho_{Nir} + \rho_{Blue})}{(\rho_{Swir} + \rho_{Red}) + (\rho_{Nir} + \rho_{Blue})}$$
(4)

Trong đó  $\rho_{Blue}$ ,  $\rho_{Red}$ ,  $\rho_{Nir}$ ,  $\rho_{Swir}$  là phản xạ bề mặt của các kênh phổ blue, red, near-infrared, và cận hồng ngoại (Swir) tương ứng với các kênh 2, 4, 8 và 12 của ảnh Sentinel-2.

Phương pháp CVA áp dụng ảnh chỉ số NDVI và BI tính toán từ hai ảnh Sentinel-2 chụp ở hai thời điểm là 10/08/2015 và 01/11/2023 (Hình 4). Trong đó, hướng biến động được chia thành 4 khu vực: I, II, III và IV tương ứng với 4 góc ( $\alpha$ ) có thể có của véc tơ biến động (Hình 4B). Độ dài của véc tơ biến động, là chỉ thị của cường độ biến động, được phân chia theo các mức biến động thấp, trung bình và cao. Ngưỡng sử dụng cho phân cấp cường độ biến động được tính toán thực nghiệm dựa trên đồ thị thống kê tần suất của độ dài véc tơ biến động. Tham số thống kê độ dài biến động gồm: giá trị nhỏ nhất (min), giá trị trung bình (mean), giá trị lớn nhất (max) và độ lệch chuẩn ( $\sigma$ ). Biến động thấp trong khoảng giá trị từ min đến -1 $\sigma$ , biến động trung bình tính từ -1 $\sigma$  đến +1 $\sigma$  và biến động cao từ +1 $\sigma$  đến max. Cụ thể: min, mean, max và  $\sigma$  của độ dài véc tơ biến động được chia theo các ngưỡng bao gồm cường độ thấp: 0 - 0,094, cường đô trung bình: 0,094-0,412 và cường đô cao từ 0,412-1,789.



**Hình 4.** Phân tích véc tơ biến động dựa vào chỉ số NDVI, BI với (A) cường độ biến động là độ dài của véc tơ biến động và (B) hướng biến động. NDVI\_1, NDVI\_2, BI\_1 và BI\_2 là các chỉ số NDVI và BI ở hai thời điểm chụp ảnh T1 và T2 tương ứng [18].

#### 2.3.2. Phương pháp phân loại ảnh thành lập bản đồ lớp phủ

Bản đồ lớp phủ đất các xã ven biển tỉnh Thái Bình được biên tập từ kết quả phân loại ảnh đa phổ Sentinel 2 chụp ngày 01/11/2023. Phương pháp phân loại không kiểm định ISODATA được sử dụng với các tham số đầu vào gồm 40 lớp và 20 vòng lặp trên 10 kênh ảnh đã lựa chọn. Phương pháp phân loại này tối đa hóa khả năng phân biệt các cụm lớp dựa trên giá trị phản xạ phổ đồng thời giảm thiểu tác động của phép nội suy trực quan đến kết quả. Ảnh sau khi phân loại bằng phương pháp ISODATA được đối sánh với khóa giải đoán ảnh (Bảng 1) để xác định 9 lớp loại phủ khác nhau cho bản đồ lớp phủ đất.

Quá trình khảo sát thực địa được thực hiện ngày 04/5/2024 nhằm thu thập khóa giải đoán ảnh và các điểm mẫu lớp phủ cho đánh giá độ chính xác bản đồ lớp phủ sau phân loại ảnh vệ tinh.

ТТ	Lớp phủ	Mô tả	Sentinel-2 chup 01/11/2023 (R G B = Nir, Red, Green)	Ảnh thực địa		
1	Đất lúa	Đất lúa đã được thu hoạch, ảnh có màu sáng và đồng nhất, cấu trúc theo hình chữ nhật				
2	Đất làm muối	Cấu trúc có hình dạng chữ nhật, ở giữa có đường trắng sáng. Xen lẫn cả màu nước, đất và thực vật.				
3	Rừng ngập mặn	Diện tích lớn, đồng nhất về màu sắc, mật độ cây lớn. Phân bố ở vùng ven biển và cửa các con sông	E A			
4	Đất ở	Màu sắc và hình dạng có sự xen kẽ giữa nhà ở và thực vật, cấu trúc theo cụm.				
5	Đất xây dựng	Đường (cấu trúc theo dải), khu công nghiệp. Có màu trắng sáng.				
6	Đất trống	Những bãi cát, bãi bồi nằm dọc theo sông, ngoài bờ biển. Có màu sắc từ sáng đến tối.				
7	Nuôi trồng thủy hải sản	Có cấu trúc ô vuông hoặc hình chữ nhật, xung quanh có thực vật. Phân bố ven biển hoặc cửa sông. Màu sắc đồng nhất.		a a the server		
8	Mặt nước	Sông, nước biển.				
9	Thực vật khác	Phi lao, cây trong khu dân cư, cây bụi. Đậm màu.				

Bảng 1. Bảng chú giải và khóa giải đoán ảnh cho phân loại ảnh Sentinel-2 chụp 01/11/2023.

# 3. Kết quả nghiên cứu

# 3.1. Cường độ và xu hướng biến động

Mối quan hệ không gian hai chiều giữa chỉ số NDVI và BI theo hai năm 2015 và 2023 được thể hiện ở Hình 5. Trong đó, NDVI và BI là hai thành phần của véc tơ biến động. Xu

hướng phân bố của các pixel được biểu thị bằng mũi tên đỏ. Độ dốc của hàm tuyến tính là - 2,333 năm 2015 (Hình 5a) và -1,454 năm 2023 (Hình 5b) cho thấy tương quan nghịch giữa hai thành phần. Sự tương quan nghịch là minh chứng cho thấy việc sử dụng hai chỉ số NDVI và BI phù hợp cho phát hiện rõ các thay đổi lớp phủ dựa trên véc tơ biến động, và là cơ sở xây dựng các bản đồ đáng tin cậy về cường độ biến động và xu hướng biến động.



Hình 5. Tương quan giữa chỉ số NDVI và BI: (A) năm 2015 và (B) năm 2023.

Hình 5a thể hiện 4 hướng biến động của khu vực nghiên cứu ven biến Thái Bình trong giai đoạn 2015-2023. Hướng I cho thấy sự gia tăng của cả hai chỉ số BI và NDVI. Hướng này tập trung chủ yếu ở ven bờ gần khu vực nuôi trồng thủy hải sản, nơi tập trung của các cây ngập mặn, thực vật nước lợ xen lẫn với thủy sản và thực vật khác như rừng phi lao ven bờ biển. Hướng II là những khu vực có giá trị BI tăng và NDVI giảm. Đây là hướng có diện tích lớn nhất, tập trung chủ yếu ở diện tích đất trồng lúa. Ngoài ra, hướng này còn phân bố ở khu vực nuôi trồng thủy hải sản và một phần rừng ngập mặn nằm trong khu Bảo tồn thiên

nhiên đất ngập nước ở phía trong, giáp đất liền. Kiểu thay đổi ở hướng II thể hiện rõ nhất ở việc chuyển đổi diện tích từ đất nông nghiệp sang khu công nghiệp, xây dựng các tuyến đường và mở rộng thêm diện tích đất ở. Sự suy giảm cả hai giá trị NDVI và BI thuộc về hướng III, bao gồm phần diện tích đất trống là những bãi bồi, bãi cát nằm ở phía ngoài bờ biển. Hướng IV, được xác định bằng sự gia tăng NDVI và suy giảm của BI. Hướng này nằm trọn trong phần diện tích rừng ngập mặn nằm ngoài bờ biển. Bên cạnh đó, một phần nhỏ của hướng IV nằm xen kẽ trong khu vực dân cư. Sư phân bố của hướng IV sẽ được thảo luận chi tiết hơn khi tích hợp với các dữ liệu khác như bản đồ lớp phủ và bản đồ cường độ thay đổi trong các phân tích tiếp theo.

Bản đồ cường độ biến động lớp phủ của dải ven biển tỉnh Thái Bình giai đoạn 2015-2023 được thể hiện ở Hình 6B. Cường độ biến động thấp thể hiện sự



**Hình 6.** Bản đồ (A) hướng biến động, (B) cường độ biến động xây dựng bằng phương pháp CVA cho ảnh Sentinel-2 giai đoạn 2015-2023.

thay đổi phản xạ phổ ở mức rất nhỏ trong giai đoạn 2015-2023. Mức độ này không đủ mạnh để chỉ ra sự biến động của các loại lớp phủ đất. Do đó, cường độ biến động thấp bao trùm hầu hết toàn bộ khu vực nghiên cứu, bao gồm vùng nuôi trồng thủy hải sản, diện tích rừng ngập mặn trong Khu bảo tồn và khu vực trồng lúa. Cường độ biến động trung bình cho thấy sự chuyển đổi giữa các loại lớp phủ đất có đặc tính vật lý tương tự nhau. Ví dụ như chuyển đổi từ trồng lúa sang đất trồng cây hàng năm, cây lâu năm. Ngoài ra, mức độ thay đổi này còn phân bố thành từng lô nhỏ nằm rải rác trong khu vực nuôi trồng thủy hải sản và sự mở rộng của những bãi bồi nằm dọc theo những doi cát ngoài bờ biển. Cường độ biến động cao chỉ ra sự thay thế một lớp này bằng các lớp khác có đặc điểm vật lý khác nhau như sự mở rộng của diện tích rừng ngập mặn phía ngoài bờ biển hay chuyển đổi từ đất trồng lúa sang đất xây dựng hoặc đất trống thay thế bằng thảm thực vật khác và ngược lại. Như vậy, cường độ biến động cao ở dải ven biển Thái Bình tập trung chủ yếu là vùng diện tích rừng ngập mặn được trồng bố xung. Trong khi ở vùng đất nông nghiệp thì biến động cao chủ yếu là do thời điểm chụp ảnh lệch nhau nên có sự khác biệt giữa thời điểm đất lúa đã thu hoạch và chưa thu hoạch.

# 3.2. Bản đồ lớp phủ đất và đánh giá độ chính xác

Hình 7 thể hiện bản đồ 9 loại lớp phủ ven biển tỉnh Thái Bình được thành lập từ kết quả phân loại ảnh Sentinel-2 ngày 01/11/2023. Trong đó, diện tích đất trồng lúa và đất nuôi trồng thủy hải sản là tương đương nhau, đều đạt 27,7%. Tiếp đến là diện tích rừng ngập mặn: 22,8%, đất ở là 15,4%. Diện tích đất xây dựng chiếm 1,5%. Bên cạnh đó, vùng ven biển của tỉnh còn được đặc trưng bởi diện tích đất làm muối chiếm 0,4%, tập trung ở khu vực huyện Thái Thụy. Ngoài ra, diện tích đất trống là các bãi bồi ven biển chiếm 3,9% gồm những doi cát, bãi triều nổi lên mặt nước tại thời điểm chụp ảnh.

Để kiểm chứng độ chính xác của bản đồ lớp phủ thành lập từ ảnh Sentinel-2, chúng tôi sử dụng 46 điểm khảo sát thực địa là nguồn dữ liệu chuẩn để tham khảo. Bảng 2 trình bày kết quả độ chính xác cho người sử dụng bản đồ và độ chính xác của nhà sản xuất theo từng loại lớp phủ khác nhau. Trong đó, độ chính xác tổng thể trên toàn khu vực là 78,3%. Độ chính xác người dùng cao nhất là 100% ở các lớp đất làm muối, rừng ngập mặn và đất ở. Độ chính xác thấp nhất là lớp đất trống với 40%. Đây là loại lớp phủ rất dễ bị nhầm lẫn với phần đất trống ở trong khu vực dân cư, những bãi cỏ hoặc những ô nuôi trồng thủy



**Hình 7.** Bản đồ lớp phủ từ kết quả phân loại ảnh Sentinel-2 ngày 01/11/2023.

hải sản bị cạn nước. Tương tự khu vực đất trống, đất thực vật khác có độ chính xác người dùng không cao với 50%. Đất thực vật khác thường là đất trồng cây hoa màu và thực vật trong khu dân cư, do đó lớp phủ này có sự biến động nhanh giữa thời điểm chụp ảnh và thời điểm khảo sát thực địa. Sự biến động giữa hai thời điểm làm giảm độ chính xác phân loại lớp phủ. Tuy nhiên, lớp đất trống và đất thực vật khác có diện tích rất ít, phân bố rải rác nên sai số của hai lớp phủ này ảnh hưởng không đáng kể đến độ chính xác chung của kết quả phân loại. Nhìn chung, bản đồ lớp phủ được thành lập với độ chính xác phù hợp với nhu cầu đánh giá tương quan với các trạng thái biến động.

Lớp phủ	Đất lúa	Đất làm muối	Rừng ngập mặn	Đất ở	Đất xây dựng	Đất trống	Nuôi thủy hải sản	Mặt nước	Thực vật khác	Tổng	Độ chính xác người dùng (%)
Đất lúa	7	0	0	1	0	0	0	0	0	8	87,5
Đất làm muối	0	2	0	0	0	0	0	0	0	2	100,0
Rừng ngập mặn	0	0	6	0	0	0	0	0	0	6	100,0
Đất ở	0	0	0	5	0	0	0	0	0	5	100,0
Đất xây dựng	0	0	0	1	3	0	0	0	0	4	75,0
Đất trống	0	0	0	1	0	2	1	0	1	5	40,0
Nuôi thủy hải sản	0	0	1	0	0	0	6	0	0	7	85,7
Mặt nước	0	0	0	0	0	0	1	2	0	3	66,7
Thực vật khác	1	0	0	0	1	1	0	0	3	6	50,0
Tổng	8	2	7	8	4	3	8	2	4	46	
Độ chính xác											
nhà sản xuất (%)	87,5	100,0	85,7	62,5	75,0	66,7	75,0	100,0	75,0		78,3

Bảng 2. Độ chính xác của bản đồ lớp phủ năm 2023.

# 3.3 Sự thay đổi theo thời gian của phản xạ phổ và các loại lớp phủ

Bản đồ các loại lớp phủ được chồng xếp với bản đồ cường độ và xu hướng biến động cung cấp thông tin chi tiết về biến động lớp phủ của khu vực các xã ven biển tỉnh Thái Bình giai đoạn 2015-2023. Hình 8A biểu thị tương quan về tỷ lệ diện tích giữa cường độ biến động và xu hướng biến động. Trong đó, sự biến động tập trung chủ yếu vào hai hướng I và II. Đây là hai hướng đều liên quan đến sự gia tăng của chỉ số BI. Cụ thể, hướng II chiếm nhiều nhất với 4.206 ha (chiếm 26,35%) và hướng I chiếm 3.295 ha (20,64%), tập trung chủ yếu ở mức cường độ biến động thấp. Đối chiếu với Hình 8C, cường độ biến động thấp này có diện tích

lớn nhất là ở khu vực nuôi trồng thủy hải sản (16,69%), tiếp đến là rừng ngập mặn 14,21%. Cường độ biến động trung bình tập trung nhiều nhất theo hướng II với 22,55%. Trong đó, diện tích đất lúa theo hướng II chiếm tỷ trọng lớn nhất 3.190 (19,98%), thứ hai là nuôi trồng thủy hải sản với 2.566 ha (16,07%), tiếp đến là rừng ngập mặn 9,6% (Hình 8B).

Cường độ biến động cao chiếm diện tích ít nhất với 12% tổng diện tích, tập trung chủ yếu ở đất lúa với 5,18%, ở rừng ngập mặn là 4,81% (Hình 8C) và gần như không xuất hiện ở các loại lớp phủ khác. Khu vực đất trồng lúa có cường độ biến động cao có thể giải thích do sự khác biệt về thời điểm chụp ảnh, mặc dù cùng mùa nhưng khác giai đoạn sinh trưởng của cây lúa. Ảnh chụp vào tháng 8 năm 2015 là thời điểm ruộng lúa đã cấy xong và đang phát triển, trong khi ảnh chụp tháng 11 năm 2023 là thời điểm vụ lúa mùa đã được



**Hình 8.** Tỷ lệ diện tích của (A) cường độ biến động và hướng biến động, (B) các loại lớp phủ và hướng biến động, và (C) các loại lớp phủ và cường độ biến động.

thu hoạch, phần đất nông nghiệp này được để trống. Chính vì vậy, giá trị của chỉ số NDVI giảm mạnh và BI tăng ở vùng đất lúa, hay nói cách khác cường độ biến động cao ở hướng II trên diện tích đất lúa là do sự khác biệt trạng thái sinh trưởng của cây lúa.

Trong giai đoạn 2015-2023, biến động của hướng III rất ít chỉ chiếm 3,93%, gần như không có xuất hiện ở mức độ biến động trung bình và biến động cao. Hướng III xuất hiện trong Hình 6A là rất ít dải dài hẹp sát mép nước và gần cửa sông, tương ứng với diện tích rất nhỏ thực vật bị xói lở phá hủy thành mặt nước. Trong khi ở hướng IV, sự gia tăng của chỉ số NDVI và sự suy giảm chỉ số BI đáng kể cho thấy sự gia tăng của diện tích rừng ngập mặn với 1.125 ha chiếm 7,5% (Hình 8B). Sự mở rộng đáng kể rừng ngập mặn cũng được thể hiện trên Hình 6A với phần lớn diện tích hướng IV tập trung ngoài rìa vùng đất liền sát mép nước ven biển.

Các kết quả phân tích định lượng được quan hệ giữa cường độ biến động, xu hướng biến động và các loại lớp phủ đất. Trong đó, quá trình biến động được thể hiện phức tạp nhất ở cường độ biến động trung bình với hướng gia tăng chỉ số BI và giảm chỉ số thực vật NDVI. Biến động này tập trung vào các loại lớp phủ đất trồng lúa, khu vực nuôi trồng thủy, hải sản và rừng ngập mặn. Kết quả cho thấy bản chất của sự thay đổi được thể hiện rõ nét thông qua những thay đổi đặc trưng vật lý của lớp phủ đất.

#### 3.4. Thảo luận

Phương pháp phân tích véc tơ biến đông (CVA) dưa trên sư thay đổi bức xa là một cách tiếp cân hiệu quả để khai thác những thông tin biến đông. Trong đó, sư biến đông được phân tích dựa trên sự thay đổi của hai thành phần là cường độ biến động và hướng biến động. Tuy nhiên, khó khăn liên quan đến việc xác định các ngưỡng thay đổi là biểu hiện của biến động có thể ảnh hưởng đến độ chính xác của việc áp dụng phương pháp CVA. Nghiên cứu [7] đã đề cập rằng những thay đổi bức xạ của ảnh thu được ở hai thời điểm có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố thay đổi theo thời gian như góc mặt trời, độ ẩm đất, điều kiện khí quyển khác nhau, và trạng thái thực vật. Những yếu tố biến đổi nhanh chóng này có thể góp phần làm sai số của kết quả lớn hơn so với sự thay đổi phản xạ phổ xác định bằng phương pháp CVA. Để giảm thiểu sai số do sự thay đổi theo thời gian, cần phải sử dụng cặp ảnh vệ tinh thu được ở các điều kiện tương tự nhau. Nghiên cứu này sử dụng hai ảnh thu được vào cùng mùa canh tác nhưng khác tháng là 10/08/2015 và 01/11/2023. Tháng 8 là thời điểm vụ lúa mùa đã được gieo trồng, còn tháng 11 lúa đã được thu hoạch, đất nông nghiệp để trống. Như vậy, trạng thái của lớp đất lúa khác nhau, điều này làm cho khu vực đất nông nghiệp có cường biến động lớn, khi giá trị NDVI giảm đi rất nhiều vào thời điểm tháng 11/2023. Do đó, phân tích sự biến động diện tích trên đất lúa ở khu vực các xã ven biển Thái Bình cần phải bổ sung thêm những thông tin khác về lịch nông vụ, giống lúa, đặc điểm sinh trưởng. Ngoài ra, hai cặp ảnh Sentinel-2 mặc dù đều là những vệ tinh giống nhau, cùng phương pháp hiệu chỉnh ảnh hưởng của khí quyển, cùng độ phân giải không gian nhưng ảnh Sentinel-2A và Sentinel-2B có quỹ đạo chụp lệch nhau và bước sóng trung tâm của các kênh ảnh tương ứng không hoàn toàn đồng nhất. Điều này cũng tác đông đến những thay đổi bức xa của đối tương mà bộ cảm biến vệ tinh thu nhận được. Sự khác biệt về cảm biến, thời gian chụp ảnh trong nghiên cứu này là ví dụ cho một số hạn chế nội tại khi áp dụng phương pháp CVA. Do đó, để áp dung được phương pháp CVA hiệu quả nhất thì nên sử dung cặp ảnh vệ tinh có cùng cảm biến và có cùng đặc điểm về thời gian chụp ảnh trong năm. Với khu vực ven biển ảnh hưởng bởi thủy triều, có khí hâu nhiệt đới như khu thực nghiệm, việc thu nhân cặp ảnh như mọng muốn là rất khó thực hiện. Do đó, giải pháp kết hợp CVA với bản đồ phân loại lớp phủ sẽ cung cấp thông tin lớp phủ cho đánh giá rõ hơn hệ quả của biến động phổ đến các lớp phủ. Sự nhiễu thông tin do ảnh hưởng của sự khác biệt mùa vụ tại các thời điểm chụp ảnh sẽ được giảm thiểu khi kết hợp CVA và bản đồ phân loại lớp phủ.

Trong bốn xu hướng biến động, hướng III và IV là đặc trưng của biến động cho khu vực ven biển. Hướng III xác định bởi sự suy giảm đồng thời của NDVI và BI, phân bố tập trung

theo các giải hẹp sát mực nước biển (Hình 6A). Các dải hẹp sát cửa sông Hồng này trên thực tế đang bị xói lở rất mạnh do xâm thực. Trong những năm 2015, các dải đất này là khu vực bãi cát, trồng phi lao đã trưởng thành, phản xa manh ở các kênh Nir, Swir với giá tri NDVI và BI cao. Tuy nhiên, khu vực này đã bị xói lở năm 2023, trở thành các bãi triều có độ ẩm cao, hấp thụ phần lớn phổ ở các kênh Nir, Swir. Sự suy giảm giá trị phản xạ phổ ở các kênh Nir, Swir là nguyên nhân của sự suy giảm trên cả NDVI và BI bắt nguồn từ quá trình xói lở bờ biển. Hướng biến đông IV là khu vực có sự gia tăng về NDVI nhưng suy giảm giá tri BI, tập trung thành những vùng lớn sát mép nước (Hình 6A). Vùng này hoàn toàn trùng khớp với rừng ngập mặn (Hình 7), là minh chứng cho sự chuyển đổi từ đất bãi bồi thành lớp phủ thực vật với sự gia tăng đáng kể của chỉ số NDVI. Hướng biến động I cũng thể hiện rõ sự bồi tụ của các doi cát ven biển (Hình 6A). Sự biến đổi từ mặt nước biển thành cồn cát đã gia tăng đáng kể phản xa phổ trong toàn giải quang phổ nhìn thấy và hồng ngoại sóng ngắn gây ra sư tăng lên đồng thời của NDVI và BI trong giai đoạn 2015-2023. Ứng dụng phương pháp CVA kết hợp với phân loại lớp phủ cho đánh giá biến đông lớp phủ khu vực ven biển là một giải pháp phù hợp. Một trong những han chế của phương pháp CVA là khó trả lời chính xác được biến động từ lớp phủ cụ thể này thành lớp phủ khác. Do đó, mặc dù nhận định được nguyên nhân vật lý của biển động, phương pháp sẽ không đưa ra được con số cụ thể về diện tích biến động của mỗi loại lớp phủ trong khu vực.

Trong mô tả phương pháp, CVA có thể áp dụng cho đa dạng số lượng dải phổ, thậm chí có thể sử dụng cho một tỷ lệ bức xạ bất kỳ [9]. Tuy nhiên, việc sử dụng với nhiều kênh phổ có thể gây nhầm lẫn và khó phân biệt các loại thay đổi khi phân tích hướng biến động. Số lượng kênh phổ của ảnh càng nhiều thì việc phân tích hướng biến động càng phức tạp, đặc biệt với khu vực có đa dạng các loại lớp phủ khác nhau. Có ba phương án [7] được phát triển để giảm thiểu ảnh hưởng của vấn đề này bao gồm: sử dụng hàm lượng giác của góc véc tơ hai chiều [9]; sử dụng phương pháp phân tích thành phần chính với dữ liệu đa không gian và chụp ảnh đa thời gian [4]; và mã hóa các yếu tố theo nhiều hơn hai hướng phổ [15]. Trong nghiên cứu này, phương pháp mã hóa được sử dụng để phân chia thay đổi phổ thành 4 hướng. Mỗi hướng đại diện cho một kiểu biến động tương ứng với mối tương quan của hai chỉ số NDVI và BI. Hướng biến động này là cơ sở vật lý cho việc giải thích và xác định nguyên nhân biến động lớp phủ.

Một trong những khó khăn khi áp dụng phương pháp CVA là xác định các ngưỡng thích hợp để phân biệt các pixel có cường độ biến động phản ánh thực tế biến động lớp phủ. Không có phương pháp tự động hay bán tự động nào có thể xác định ngưỡng chính xác bởi các điều kiện về sinh thái và đặc điểm phổ thay đổi liên tục sẽ ảnh hưởng tới việc chọn ngưỡng biến động. Nghiên cứu [16] đã chỉ ra rằng, giá trị ngưỡng biến động thấp có thể làm tăng độ chính xác phát hiện biến động ở những khu vực có diện tích nhỏ nhưng đa dạng về đối tượng, tuy nhiên giá trị ngưỡng biến động cao lại dễ dàng xác định các biến động cho các loại lớp phủ đồng nhất trên một diện tích lớn. Do đó, đối với một khu vực nghiên cứu cụ thể, việc xác định các ngưỡng biến động cũng cần tham khảo kiến thức chuyên gia [17]. Nghiên cứu này xác định ngưỡng biến động dựa trên độ lệch chuẩn của ảnh cường độ biến động kết hợp với kiến thức về sự lớp phủ tại khu vực ven biển. Kết quả phân tích đã chứng minh tính hiệu quả của tích hợp CVA và phân loại ảnh cho một khu vực nhỏ như dải ven biển Thái Bình. Tuy nhiên, đối với khu vực quy mô lớn, như ở cấp vùng, cấp quốc gia với sự đa dạng về lớp phủ, việc sử dụng phương pháp CVA cho đánh giá biến động cần được nghiên cứu kỹ lưỡng.

# 4. Kết luận

Phương pháp phân tích véc tơ biến động (CVA) áp dụng với hai thành phần gồm chỉ số NDVI và BI là cách tiếp cận hiệu quả để phát hiện trạng thái biến động lớp phủ đất. Phương pháp này không chỉ khai thác yếu tố về cường độ mà còn khai thác cả yếu tố về xu hướng của biến động, phản ánh chính xác bản chất vật lý trong nghiên cứu biến động lớp phủ từ dữ liệu viễn thám. Kết quả chứng minh phương pháp CVA áp dụng cho ảnh Sentinel-2 phù hợp

để phân tích sâu về biến động lớp phủ ở khu vực dải ven biển tỉnh Thái Bình trong giai đoạn 2015-2023. Vị trí, tính chất của xói lở, bồi tụ và biến động rừng ngập mặn được chỉ ra bởi phương pháp CVA. Tuy nhiên, để chỉ ra được đặc trưng của các biến động, cần kết hợp kiến thức về đặc điểm của khu vực thực nghiệm và đặc trưng phản xạ phổ của mỗi đối tượng bề mặt. Sự biến đổi của các yếu tố môi trường theo thời gian, bộ cảm biến chụp ảnh vệ tinh cũng như các quá trình xử lý hình học, xử lý bức xạ của ảnh quang học sẽ ảnh hưởng đến khả năng ứng dụng của CVA. Sự thành công của nghiên cứu chứng minh khả năng kết hợp phương pháp CVA với phương pháp phân loại ảnh sẽ giảm ảnh hưởng do sự khác biệt về mùa giữa hai lần chụp ảnh mà vẫn khai thác thông tin về bản chất biến động của lớp phủ đất. Áp dung phương pháp CVA cho dữ liệu radar để giảm thiểu ảnh hưởng của khí quyển hứa hẹn là giải pháp cho theo dõi sự phát triển của thực vật, đánh giá biến động khu vực ven biển trong điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa như Việt Nam trong tương lai.

**Đóng góp của tác giả:** Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.S.S.; Thu thập, xử lý số liệu: T.S.S.; Phân tích kết quả: T.S.S.; Viết bản thảo bài báo: T.S.S.; Chỉnh sửa bài báo: T.S.S.

**Lời cam đoan:** Tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của riêng tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích về quyền tác giả.

# Tài liệu tham khảo

- 1. Ansari, A.; Golabi, M.H. Prediction of spatial land use changes based on LCM in a GIS environment for desert wetlands A case study: Meighan Wetland, Iran. *Int. Soil Water Conserv. Res.* **2019**, *7*(1), 64–70.
- 2. Dewi, R.; Bijker, W.; Stein, A. Change vector analysis to monitor the changes in fuzzy shorelines. *Remote Sens.* **2017**, *9*(2), 147.
- 3. Chen, G.; Hay, G.J.; Carvalho, L.M.T.; Wulder, M.A. Object-based change detection. *Int. J. Remote Sens.* 2012, *33*(14), 4434–4457.
- 4. Lambin, E.F.; a.A.H.S. Change vector analysis in multi- temporal space: A tool to detect and categorize land-cover change processes using high temporal-resolution satellite data. *Remote Sens. Environ.* **1994**, *48*, 231–244.
- 5. Polykretis, C.; Grillakis, M.; Alexakis, D. Exploring the impact of various spectral indices on land cover change detection using change vector analysis: a case study of Crete Island, Greece. *Remote Sens.* **2020**, *12*(2), 319.
- 6. Ding, Y.; Lunetta, C.D.E.A.R.S. Survey of multispectral methods for land cover change analysis. *Remote Sens. Change Detect. Environ. Monit. Methods Appl.* **1998**, 2, 22–23.
- Chen, J.; Gong, C.H.P.; Pu, R.; Chungyang, H. Land-use/land-cover change detection using improved change-vector analysis. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* 2003, 69(4), 369–379.
- 8. Molina, I.; Martinez, E.; Arquero, A.; Pajares, G.; Sanchez, J. Evaluation of a change detection methodology by means of binary thresholding algorithms and informational fusion processes. *Sensors* **2012**, *12*(*3*), 3528–3561.
- 9. Malila, W.A. An Approach for detecting forest changes with Landsat, in LARS Symposia. Purdue University: Lafayette, IN, USA, 1980, pp. 385–397.
- Landmann, T.; Schramm, M.; Huettich, C.; Dech, S. MODIS-based change vector analysis for assessing wetland dynamics in Southern Africa. *Remote Sens. Lett.* 2012, 4(2), 104–113.
- 11. He, C.; Wei, A.; Shi, P.; Zhang, Q.; Zhao, Y. Detecting land-use/land-cover change in rural–urban fringe areas using extended change-vector analysis. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2011**, *13*(4), 572–585.
- 12. Richardson A.; a.C.W. Distinguishing vegetation from soil background information. *Photogramm. Eng. Remote Sens.* **1977**, 1522–1541.

- 13. Rouse J.W.; Haas, J.A.S. R.H.; Deering, D.W.; Harla, J.C. Monitoring the vernal advancement retrogradation (Green Wave Effect) of natural vegetation. USANASA/GFSC, 1974, pp. 1–8.
- Jamalabad, M.; Abkar, A. Forest canopy density monitoring, using satellite images. Proceeding of the International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences. Vol. XXXVII. Part B8. Beijing, 2008, pp. 1127– 1130.
- Virag, L.A.; Colwell, J.E. An improved procedure for analysis of change in Thematic Mapper image-pairs. Proceeding of the International Symposium on Remote Sensing Environment, 21st, Ann Arbor, 26-30 October, Ann Arbor, Michigan, 1987, MI, pp. 1101-1110.
- 16. Baker, C.; Lawrence, R.L.; Montagne, C.; Patten, D. Change detection of wetland ecosystems using Landsat image and change vector analysis. *Wetland* **2007**, *27*(*3*), 610–619.
- 17. Jano, A.P.; Jeffries, A.R.F.R.R.L. The detection of vegetational change by multitemporal analysis of Landsat data: The effects of goose foraging. *J. Ecol.* **1998**, 86, 93–99.
- Tong, S.S.; Pham, T.L.; Long, N. Q.; Le, T.T.H.; Trinh, L.H.; Cao, X.C.; Ahmad, A.; Tong, T.H.A. The study of land cover change using change vector approach integrated with unsupervised classification method: a case in Duy Tien (Vietnam). *Geogr. Environ. Sustainability* 2020, *13*(2), 175–184.
- Saha, S., Bovolo, F.; Bruzzone, L. Unsupervised deep change vector analysis for multiple-change detection in VHR images. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2019, 57(6), 3677–3693.
- 20. Zhuang, H.; Deng, K.; Fan, H.; Yu, M. Strategies combining spectral angle mapper and change vector analysis to unsupervised change detection in multispectral images. *IEEE Geosci. Remote Sens. Lett.* **2016**, *13*(5), 681–685.
- 21. Thonfeld, F., Feilhauer, H.; Braun, M.; Menz, G. Robust Change Vector Analysis (RCVA) for multi-sensor very high resolution optical satellite data. *Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf.* **2016**, *50*, 131–140.
- 22. Bruzzone, L.; Prieto, D.F. Automatic analysis of the difference image for unsupervised change detection. *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.* 2000, 38(3), 1171–1182.
- ZhiYong, L.; Wang, F.; Xie, L.; Sun, W.; Falco, N.; Benediktsson, J.A.; You, Z. Diagnostic analysis on change vector analysis methods for LCCD using remote sensing images. *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.* 2021, 14, 10199–10212.
- 24. Johnson, R.D.; Kasischke, E.S. Change vector analysis: A technique for the multispectral monitoring of land cover and condition. *Int. J. Remote Sens.* **1998**, *19(3)*, 411–426.
- 25. Vorovencii, I. Applying the change vector analysis technique to assess the desertification risk in the south-west of Romania in the period 1984–2011. *Environ. Monit. Assess.* **2017**, *189*(*10*), 524.
- 26. Akkartal A.; Sunar, F. Land cover change assessment in Belek forest based on change vector analysis. *Remote Sens. Changing Europe.* **2009**, 571–577.

# Application of the change vector analysis method for investigating land cover changes in coastal areas

# Si Son Tong<sup>1\*</sup>

<sup>1</sup> University of Science and Technology Ha Noi (USTH), Vietnam Academy of Science and Technology (VAST), Hanoi, Viet Nam; tongsison@gmail.com

Abstract: Change Vector Analysis (CVA) is a method integrating spectral reflectance differences from the land surface over time in remote sensing imagery to effectively investigate changes. CVA allows for the quantitative assessment of both the magnitude and direction of changes, providing valuable insights into the dynamics of landcovers. This study employs CVA for a pair of Sentinel-2 images acquired in 2015 and 2023 to explore landcover changes along the coastal expanse of Thai Binh province. The magnitude and orientation of changes are quantified through the examination of variations in the Normalized Difference Vegetation Index (NDVI) and the Brightness Index (BI). Subsequently, the change components are evaluated in conjunction with information of 9 landcover types in the study area to determine the relationship between landcovers and the components. The results show that a high magnitude of changes concerntrates in direction IV, characterized by an increase in NDVI and a reduction in BI, indicative of the mangrove expansion. Direction III indicates the declines in both BI and NDVI, representing the coastal erosion along the Red River estuarine. Moreover, the formation of new sand bars is specified by direction I, where both NDVI and BI exhibit increments. This study proves the ability of integrating CVA and image classification for investigating landcover changes in the coastal area with a minimized seasonal effect caused by different times of image acquisitions.

**Keywords:** CVA method; Landcover change; Change magnitude; Change orientation; Coastal area.