

PHÁT HIỆN CHÁY RỪNG SỬ DỤNG DỮ LIỆU VỆ TINH SENTINEL-3 SLSTR KHU VỰC XÃ KHÁNH BÌNH TÂY, HUYỆN TRẦN VĂN THỜI, TỈNH CÀ MAU

Đoàn Thị Nam Phương^{1,2}, Nguyễn Văn Trung^{1,2,*}, Lê Thị Thu Hà^{1,2}

¹Trường Đại học Mở - Địa chất

²Nhóm nghiên cứu Công nghệ Địa tin học trong Khoa học Trái đất (GES),

Trường Đại học Mở - Địa chất

Tóm tắt

Dữ liệu vệ tinh đa phổ Sentinel-3A/3B SLSTR cung cấp khả năng giám sát nhiệt độ bề mặt Trái đất để phát hiện các khu vực xảy ra cháy rừng. Phát hiện cháy rừng dựa vào sự chênh lệch nhiệt độ bề mặt khu vực cháy và nhiệt độ môi trường trung bình của khu vực xung quanh (300 K). Công việc này được thực hiện khi sử dụng hai kênh phổ MIR (3.74 μm) và kênh phổ TIR (10.85 μm) của cảm biến Sentinel-3 SLSTR. Hai kênh phổ này được sử dụng do sự khác biệt tăng đối với khu vực không xảy ra cháy rừng và khác biệt giảm đối với khu vực xảy ra cháy rừng. Ngoài ra, các kênh phổ khác của dữ liệu Sentinel-3 SLSTR giúp loại trừ các khu vực bị mây che và các dữ liệu bổ trợ về các lớp phủ đất, trong đó có các lớp thực phủ giúp khoanh vùng các khu vực rừng cũng được kết hợp để đưa ra kết quả khu vực xảy ra cháy rừng cuối cùng. Dữ liệu vệ tinh đa phổ Sentinel-3 có tính hiệu quả trong việc phát hiện cháy rừng trong cả ban ngày và ban đêm do sử dụng các kênh phổ hồng ngoại và khả năng cung cấp dữ liệu hàng ngày đêm với chiều rộng dải quét (từ 740 đến 1.400 km) bao phủ một phạm vi rộng lớn. Dữ liệu này có thể kết hợp với dữ liệu MODIS để giúp phát hiện nhanh các sự kiện cháy ở các khu vực rừng có ít người sinh sống.

Từ khóa: Sentinel-3; SLSTR; Cháy rừng; Cà Mau.

Abstract

Detection of forest fire using Sentinel-3 SLSTR data in Khanh Binh Tay commune, Tran Van Thoi district, Ca Mau province

Sentinel-3A/3B SLSTR multispectral satellite data provide the ability to monitor the earth's surface temperature to detect areas of wildfires. Forest fire detection is based on the difference in surface temperature of the fire area and the average ambient temperature of the surrounding area (300K). This work was performed using two spectral channels Sentinel-3 SLSTR MIR (3.74 μm) and spectral channels Sentinel-3 SLSTR TIR (10.85 μm). These two spectral channels are used because the difference increases for areas without wildfires and the difference decreases for areas with wildfires. In addition, other spectral channels of Sentinel-3 SLSTR data exclude areas covered by clouds, and supporting data on land cover classes, including vegetation classes help localize forest areas, which are combined to give the final wildfire area result. Sentinel-3 multispectral satellite data is effective in detecting forest fires during both day and night due to the use of infrared spectral channels and the ability to provide daily and nightly data with a wide scanning range (from 740 to 1,400 km) covering a large area. This data can be combined with MODIS data to help quickly detect fire events in sparsely populated forest areas.

Keywords: Sentinel-3; SLSTR; Forest fire; Ca Mau.

BBT nhận bài: 27/02/2026; Phản biện xong: 11/3/2026; Chấp nhận đăng: 27/3/2026

*Tác giả liên hệ, Email: nguyenvantrung@humg.edu.vn

DOI: <https://doi.org/10.63064/khtnmt.2026.823>

1. Đặt vấn đề

Cháy rừng làm xáo trộn một khu vực lớn với nhiều loại quần xã sinh vật hơn bất kỳ tác nhân nào khác [2, 7, 21]. Cháy rừng cũng thải ra khói có tác động đáng kể đến Trái đất gồm thành phần khí quyển và hóa học, chất lượng không khí và cân bằng bức xạ [9]. Quan sát Trái đất qua vệ tinh (EO) trở nên quan trọng đối với việc định lượng một cách linh hoạt các sự kiện cháy rừng ở quy mô từ nhỏ đến lớn, rời rạc [17]. Các yêu cầu về dữ liệu cháy rừng không chỉ mở rộng cho các nghiên cứu khoa học mà còn cho việc tạo ra và cung cấp thông tin hữu ích hỗ trợ giám sát và ra quyết định theo thời gian thực. Ngoài ra, các kết quả quan trắc được mô tả bằng các bức tranh tự nhiên về cảnh quan và tác động của khói ảnh hưởng tới chất lượng không khí mà con người cần quan tâm.

Các sản phẩm hoạt động cháy (Active fire - AF) là một trong những bộ dữ liệu vệ tinh EO được sử dụng rộng rãi nhất, mô tả các vị trí cháy rừng vào thời điểm đó. Thông thường, các sản phẩm như vậy cung cấp ước tính của đầu ra công suất bức xạ tần số cao (FRP) liên quan đến tần số, cường độ, mức tiêu thụ nhiên liệu và lượng khói thải [6, 8, 10, 11]. Dữ liệu từ bộ cảm biến đo bức xạ nhiệt độ bề mặt đất và biển (SLSTR) trên các vệ tinh Sentinel-3 (S3) của Châu Âu [4] được sử dụng để tạo ra sản phẩm AF chứa các vị trí, thời gian và ước tính của FRP. SLSTR sử dụng tia hồng ngoại sóng dài (LWIR) trong bộ cảm đo bức xạ có một số điểm

tương đồng với bộ cảm đo bức xạ hồng ngoại trung bình.

Bộ cảm MODIS hoạt động trên vệ tinh Terra và Aqua của NASA. Các sản phẩm AF được tạo từ dữ liệu SLSTR của vệ tinh S3 hiện được sử dụng cùng với bộ cảm MODIS và cuối cùng sẽ thay thế bộ cảm MODIS trên vệ tinh Terra khi nhiệm vụ đó kết thúc vì chức năng giống nhau. Phát hiện cháy AF vào ban đêm từ dữ liệu Sentinel-3 (S3) và sản phẩm FRP đã được tạo ra từ tháng 3 năm 2020, dựa trên dữ liệu được thu thập vào khoảng 22:00 giờ địa phương [18]. Thuật toán được sử dụng để tạo ra Active Fire và FRP vào ban ngày, bổ sung sản phẩm S3 được thực hiện vào khoảng 10:00 giờ địa phương. Trong đó, những khác biệt về thuật toán giữa ban ngày so với ban đêm được trình bày chi tiết, điều này cho thấy hiệu năng tăng lên rất đáng kể khi sử dụng kênh phổ MIR 'F1' cho sản phẩm ban ngày thu được. Điều này thể hiện khả năng phát hiện cháy của dữ liệu AF từ bộ cảm S3 SLSTR cao hơn khi so sánh với dữ liệu AF từ bộ cảm MODIS Terra [22], dữ liệu AF từ bộ cảm VIIRS [20] và cao hơn nhiều so với dữ liệu AF từ bộ cảm TIRS của vệ tinh Landsat-8 [3]. Phát hiện cháy AF Sentinel-3 và FRP là các sản phẩm được tạo ra bởi cả thuật toán ban đêm và ban ngày đều có sẵn thông qua Trung tâm dữ liệu Copernicus (<https://scihub.copernicus.eu/>).

Vệ tinh Sentinel-3A và Sentinel-3B được phóng vào năm 2016 và năm 2018 tương ứng. Mỗi chiếc đều mang cảm biến

Nghiên cứu

SLSTR và các nhiệm vụ này sẽ được thực hiện bởi các vệ tinh Sentinel-3C và -3D trong năm tới. SLSTR được xây dựng dựa trên nguyên lý đo bức xạ quét dọc theo đường [5, 4] cung cấp chi tiết toàn diện về nhiều khía cạnh của công cụ. Hai vệ tinh S3 hoạt động đồng thời cùng nhau cung cấp vùng phủ sóng SLSTR toàn cầu một lần vào ban ngày và một lần vào ban đêm ở xích đạo và tần suất lặp lại lớn hơn ở vĩ độ cao hơn. Kênh phổ MIR được sử dụng phổ biến nhất đối với việc phát hiện AF [17], nhưng MIR quan sát ban ngày do SLSTR thực hiện bị cản trở bởi sự bắt đầu bão hòa ở nhiệt độ nóng hơn khoảng 311 K [18, 19]. Như vậy, dữ liệu SLSTR thậm chí có chứa một vùng cháy lớn trên bề mặt đất được chiếu sáng và sưởi ấm bởi mặt trời ban ngày có thể không thể phân biệt được với các pixel nền không tự nhiên lân cận của nó trong S7. May mắn thay, kênh SLSTR MIR có mức tăng thấp hơn (được gọi là 'F1' và hoạt động với bước sóng trung tâm 3,742 μm) bão hòa trên ~ 450 K và việc sử dụng nó có thể giảm thiểu đáng kể những vấn đề như vậy. Tuy nhiên, so với S7, F1 có một số đặc điểm khiến dữ liệu của nó trở nên phong phú hơn thách thức khi sử dụng cùng với các kênh hồng ngoại nhiệt SLSTR khác và các kênh hồng ngoại nhìn thấy được sử dụng trong quá trình phát hiện AF [18, 19], dẫn đến việc phát hiện AF từ S3 ban ngày thuật toán phức tạp hơn đáng kể so với thuật toán ban đêm.

Các kênh phổ SLSTR S7 và F1 của S3 xuất hiện khá giống nhau nhưng không thực sự giống nhau [19]. Dữ liệu F1 có phạm vi động rộng hơn có ý nghĩa đáng kể về nhiễu, hình dạng và diện tích pixel mặt đất khác với dữ liệu từ S7 [19]. Trong

quá trình quan sát ban ngày ở một số vùng ấm hơn, nhiệt lượng mặt trời và bức xạ phản xạ mặt trời cùng nhau có thể tạo ra độ bão hòa khá rộng trong kênh phổ S7. Kết quả là thuật toán phát hiện SLSTR AF yêu cầu mở rộng hơn bằng việc sử dụng dữ liệu kênh F1 vào ban ngày so với ban đêm, tập trung đặc biệt vào các vùng bề mặt đất nơi bão hòa trong kênh S7 xảy ra ở cả những pixel. Phương pháp được sử dụng để phát triển thuật toán sản phẩm S3 AF ban ngày là giữ tất cả các giai đoạn của thuật toán ban đêm được trình bày chi tiết trong nghiên cứu của nhóm tác giả Xu et al., (2020) [18], nhưng để thay đổi ngưỡng và đầu vào ban ngày so với vào ban đêm.

2. Dữ liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

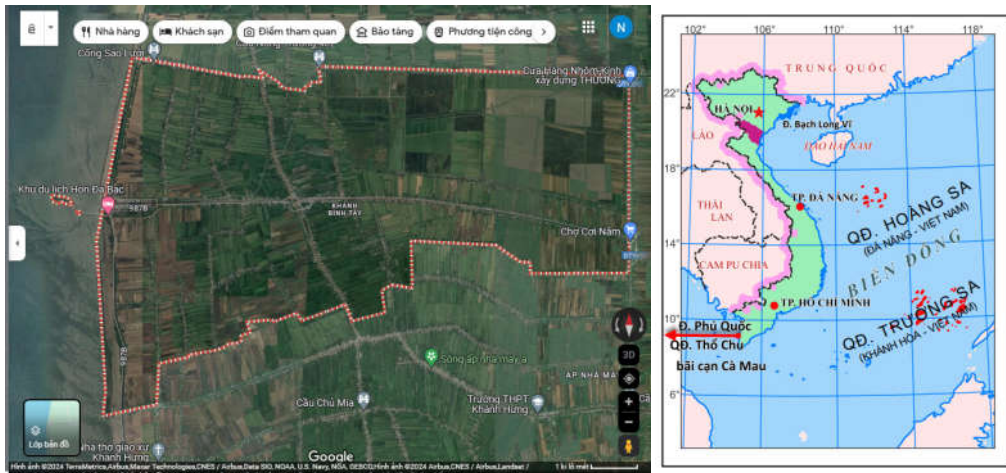
2.1. Khu vực nghiên cứu

Xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau có diện tích tự nhiên 5.456,59 ha (Hình 1), dân số 3.265 hộ, với 13.396 khẩu, có 03 dân tộc anh em sinh sống gồm Kinh, Hoa và Khơme, trong đó dân tộc Khơme 441 hộ, với 1.863 khẩu. Với vị trí địa lý có 4,8 km đường bờ biển. Khai thác, nuôi trồng thủy sản và du lịch phát triển khá mạnh tại địa phương. Hiện nay, xã Khánh Bình Tây có tổng số phương tiện khai thác thủy sản là 329 chiếc, trung bình mỗi năm ngư dân nơi đây khai thác khoảng 6.500 tấn thủy sản các loại. Ngoài đánh bắt thủy sản trên biển thì xã có tổng diện tích nuôi trồng thủy sản 1.450 ha, trung bình mỗi năm cho thu hoạch khoảng 2.500 tấn. Xã có diện tích rừng tràm 150,04 ha. Thời gian qua, lực lượng kiểm lâm đóng trên địa bàn, thường xuyên tuyên truyền, vận động người dân sống trong khu vực rừng tràm

luôn nâng cao ý thức trong việc giữ gìn và bảo vệ rừng [1].

Thời gian phát hiện cháy khoảng 12 giờ, ngày 10/4/2024. Địa điểm cháy tại Đội Quản lý đất Quốc phòng, Cục Hậu cần, Quân khu 9 (Nông trường 402 cũ), thuộc địa giới hành chính ấp Cơi 6B, xã

Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời. Diện tích bị thiệt hại khoảng 40 ha (chưa tiến hành đo đạc thực địa), không thuộc diện tích quy hoạch đất lâm nghiệp trên địa bàn tỉnh. Hiện trạng bị cháy: Cây tràm tái sinh, cây tràm trồng năm 2019 và thực bì gồm cây sậy, dón, choại,...[14].



Hình 1: Ảnh Google Map xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời, tỉnh Cà Mau, bản đồ hành chính Việt Nam [16]

2.2. Dữ liệu sử dụng

Dữ liệu ảnh vệ tinh Sentinel-3 được chọn để làm khu vực nghiên cứu do dữ liệu ảnh vệ tinh này miễn phí và có sẵn tại <https://scihub.copernicus.eu>. Các kênh phổ của dữ liệu Sentinel-3 SLSTR được đưa ra trong Bảng 1. Dữ liệu được cung cấp mỗi ngày một cảnh ảnh ban ngày và một cảnh ảnh ban đêm ở xích đạo và tần suất nhiều hơn ở vĩ độ lớn hơn. Dữ liệu

ảnh vệ tinh Sentinel-3 khu vực nghiên cứu được thu nhận và xử lý ở mức độ 1 vào ban đêm và ban ngày tương ứng với tên các sản phẩm: S3A_SL_1_RBT_20240410T150621_20240410T150921_20240412T010755_0179_111_111_0000_PS1_O_NT_004.SEN3 và S3B_SL_1_RBT_20240411T025916_20240411T030216_20240411T235027_0179_091_360_2700_PS2_O_NT_004.SEN3.

Bảng 1. Các kênh phổ của dữ liệu đa phổ Sentinel-3 SLSTR [23]

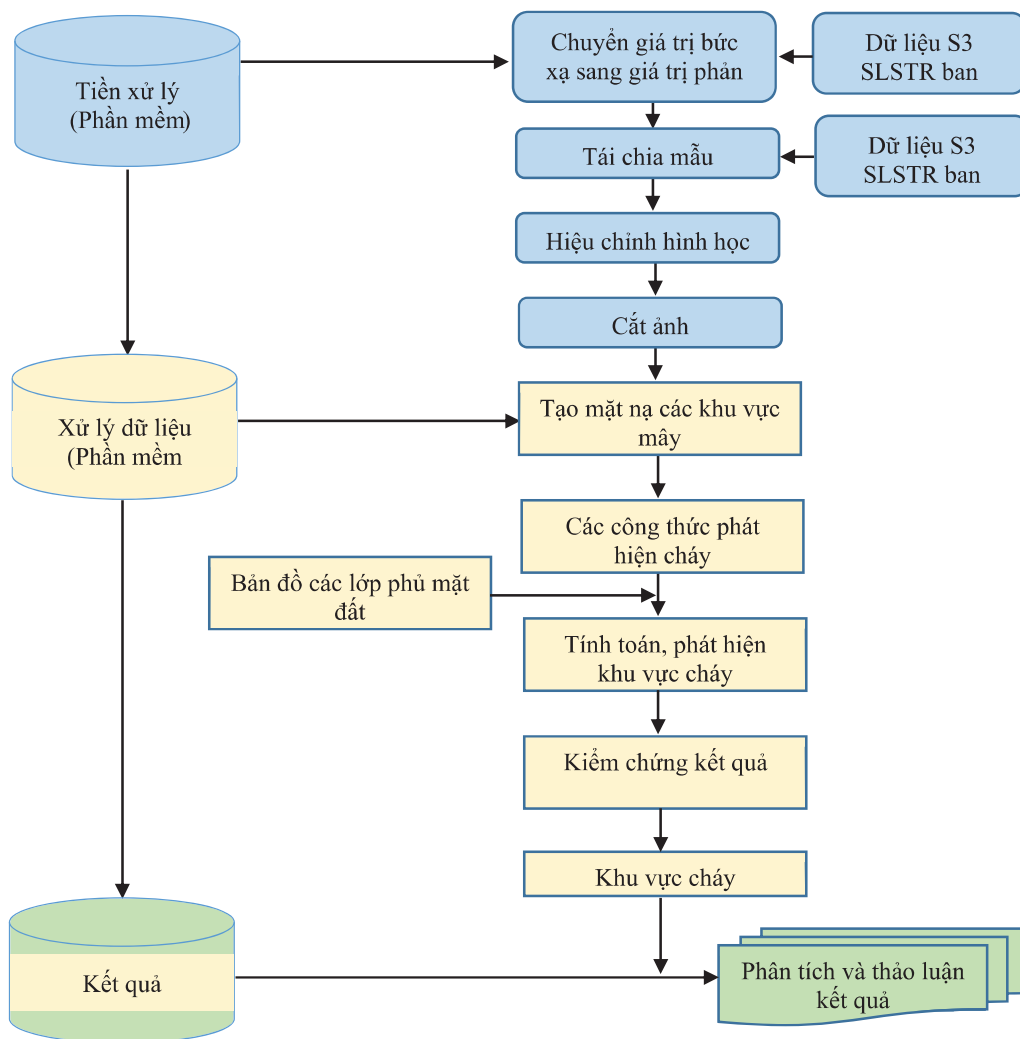
Kênh	Bước sóng trung bình (nm)	Độ rộng (nm)	Chức năng	Chú thích	Độ phân giải (m)
S1	554,27	19,26		Nhìn thấy và cận hồng ngoại	Các kênh phổ phản xạ năng lượng mặt trời
S2	659,47	19,25	Chỉ số NDVI, giám sát thực vật, sol khí		
S3	868	20,60	Chỉ số NDVI, xác định mây, hiệu chỉnh pixel		
S4	1.374,80	20,80	Xác định mây che phủ mặt đất	Hồng ngoại gần	
S5	1.613,40	60,68	Giám sát băng, tuyết và thực vật		
S6	2.255,70	50,15	Trạng thái thực vật và loại bỏ mây		

Nghiên cứu

Kênh	Bước sóng trung bình (nm)	Độ rộng (nm)	Chức năng	Chú thích	Độ phân giải (m)
S7	3.742	398	Nhiệt độ bề mặt đất và biển, hoạt động cháy	Các kênh phổ hồng ngoại nhiệt môi trường xung quanh	1000
S8	10.854,00	776	Nhiệt độ bề mặt đất và biển, hoạt động cháy		
S9	12.022,50	905	Nhiệt độ bề mặt đất và biển		
F1	3.742	398	Hoạt động cháy	Các kênh hồng ngoại nhiệt phát xạ phổ đo cháy	
F2	10.854	776	Hoạt động cháy		

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp tổng thể được áp dụng bao gồm ba bước chính: Tiền xử lý, xử lý dữ liệu và đánh giá kết quả và được thể hiện trong Hình 2.



Hình 2: Sơ đồ phương pháp phát hiện cháy rừng từ dữ liệu đa phổ Sentinel-3 SLSTR

2.3.1. Tiền xử lý

Quá trình chuyển giá trị bức xạ sang hệ số phản xạ, tái chia mẫu, hiệu chỉnh hình học và cắt khu vực nghiên cứu được thực hiện bằng cách sử dụng các công cụ

trong phần mềm SNAP phiên bản 8.0. Các công cụ xử lý ảnh vệ tinh Sentinel-3 có thể được tìm thấy tại <http://step.esa.int/main/download/>.

Công thức tính chuyển giá trị bức xạ sang hệ số phản xạ như sau:

$$R_{TOA}(\lambda) = \frac{\pi L_{TOA}}{E_0(\lambda) \cos(\theta)} \quad (1)$$

trong đó:

E_0 và θ là bức xạ quang phổ mặt trời và góc thiên đỉnh của mặt trời tại thời điểm thu nhận, tương ứng. Các giá trị bức xạ quang phổ mặt trời được lấy từ siêu dữ liệu sản phẩm mức độ 1 của sản phẩm SLSTR.

Giá trị bức xạ là biến được đo trực tiếp bằng các thiết bị viễn thám. Đó là lượng ánh sáng được đo bằng dụng cụ từ bề mặt của vật thể. Trong sản phẩm SLSTR được biểu thị dưới dạng độ sáng của bề mặt trên mỗi bước sóng đơn vị [$mW \cdot m^{-2} \cdot sr^{-1} \cdot nm^{-1}$ = watt trên mét vuông trên nanomet].

Hệ số phản xạ là tỷ lệ (phần trăm) của lượng ánh sáng rời khỏi mục tiêu và lượng ánh sáng tiến tới mục tiêu. Nó không có đơn vị. Nó là thuộc tính của đối tượng/vật liệu được quan sát.

2.3.2. Xử lý ảnh

2.3.2.1. Tạo mặt nạ các khu vực mây

Dựa vào các đặc trưng phản xạ phổ của mây trên các kênh phổ của sản phẩm SLSTR sau khi đã chuyển đổi sang hệ số phản xạ phổ. Các ngưỡng được sử dụng để khoanh vùng chính xác các đám mây trong khu vực nghiên cứu được áp dụng theo [13] như sau:

Đối với các dữ liệu SLSTR ban ngày sử dụng các ngưỡng theo một trong các công thức sau:

$$(S2_reflectance_an + S3_reflectance_an) > 0.9 \quad (2)$$

$$S9_BT_in < 265 \quad (3)$$

$$((S2_reflectance_an + S3_reflectance_an) > 0.7 \text{ and } S9_BT_in < 285) \quad (4)$$

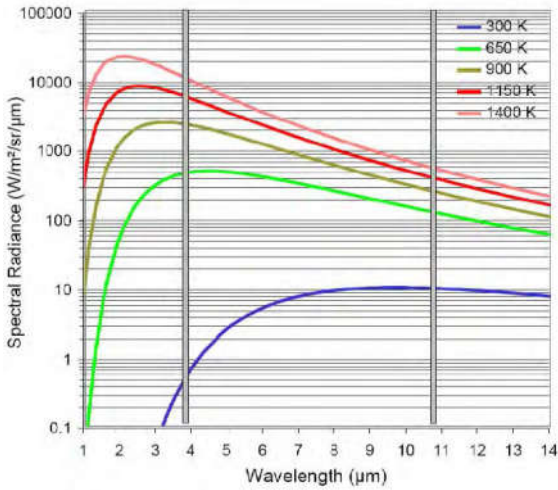
Đối với các dữ liệu SLSTR ban đêm sử dụng các ngưỡng theo công thức (3).

2.3.2.2. Phương pháp phát hiện hoạt động cháy

Trong bước này, một thuật toán đơn giản được áp dụng để xác định các pixel chứa một hoặc nhiều đám cháy đang hoạt động tại thời điểm thu nhận dữ liệu của vệ tinh S3. Cách tiếp cận này khai thác sự khác biệt về phản xạ phổ giữa kênh phổ hồng ngoại trung (MIR) và kênh phổ hồng ngoại nhiệt (TIR) đến các mục tiêu pixel có nhiệt độ cao bất thường. Đặc biệt, thuật toán tìm kiếm một độ bức xạ (nhiệt độ sáng - BT) tăng đáng kể ở bước sóng 3,74 μm so với giá trị đo được độ bức xạ ở bước sóng 10,85 μm được mô tả dưới đây.

Dấu hiệu hoạt động cháy đặc trưng này là kết quả của sự khác biệt lớn về vật đen bức xạ ở bước sóng 4 μm và 11 μm phát ra ở nhiệt độ đốt cháy thực vật được mô tả bởi hàm số Planck. Hình 3 dưới đây cho thấy bức xạ quang phổ phát ra từ các vật thể đen ở môi trường xung quanh Trái đất nhiệt độ (300 K) và phạm vi nhiệt độ có thể xảy ra cháy do thảm thực vật (650 - 1.400 K). Các bước sóng trung tâm của hai kênh phổ Sentinel-3 SLSTR MIR (3,74 μm) và TIR (10,85 μm) là cũng được chỉ ra đúng trong trường hợp này. Theo đó, bức xạ của lớp phủ bề mặt bao gồm cả thực vật ở kênh MIR nhỏ hơn kênh TIR ở nhiệt độ bề mặt 300 K. Tuy nhiên, khi có hoạt động cháy với nhiệt độ lớn hơn 600 K thì xảy ra ngược lại, bức xạ của lớp phủ bề mặt ở kênh MIR lớn hơn kênh TIR.

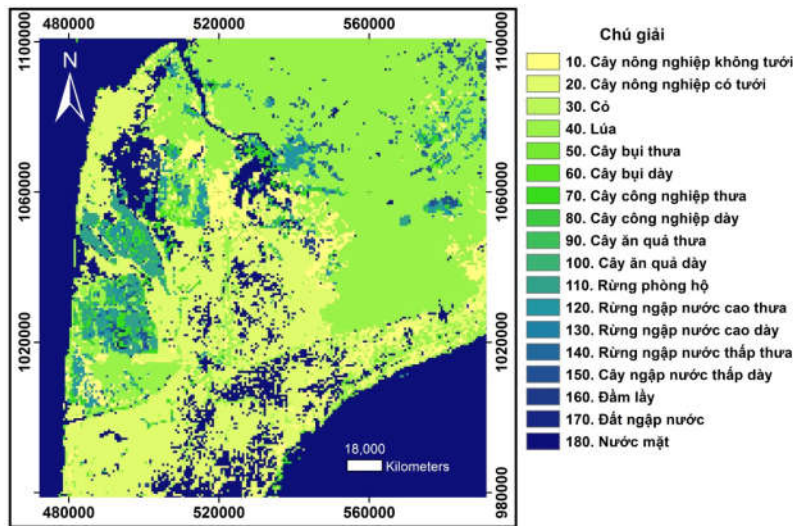
Nghiên cứu



Hình 3: Sentinel-3 Active Fire: Phát hiện cháy và đánh giá năng lượng bức xạ cháy (ESA)

2.3.2.3. Bổ sung bản đồ các lớp phủ bề mặt

Ngoài ra, trong quá trình xử lý cần sử dụng mặt nạ các đám mây để loại trừ các khu vực có hoạt động cháy. Bên cạnh đó, cần bổ sung bản đồ các lớp phủ bề mặt để khoanh vùng các khu vực có thực vật nơi có thể xảy ra cháy rừng. Trong nghiên cứu này, dữ liệu các lớp phủ bề mặt “land_cover_CCILandCover-2015” được cung cấp để lựa chọn các vùng có thực phủ (Hình 4).



Hình 4: Bản đồ các lớp phủ bề mặt khu vực nghiên cứu

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính toán, phát hiện khu vực cháy

Việc tính toán để phát hiện khu vực cháy sử dụng các ngưỡng đối với phương pháp đã đề xuất ở tiểu mục 2.3.2.2 kết hợp với số liệu mặt nạ các đám mây và sự khoanh vùng các loại thực phủ lấy từ bản đồ các lớp phủ bề mặt để chiết tách các khu vực cháy trên dữ liệu thu nhận ở thời điểm xảy ra cháy trong khu vực nghiên cứu.

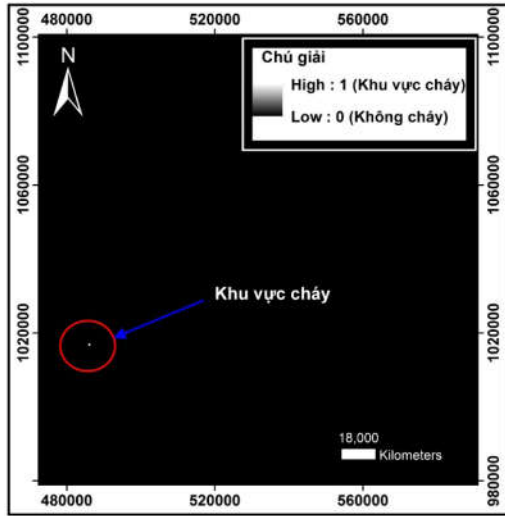
Đối với các dữ liệu SLSTR ban ngày sử dụng các ngưỡng theo một trong các công thức sau:

$$F1_BT_in > 325 \text{ and } (F1_BT_in - F2_BT_in) > 18 \text{ and } cloud_mask == 0 \text{ and 'land_cover_CCILandCover-2015'} >= 50 \text{ and 'land_cover_CCILandCover-2015'} <= 110 \tag{5}$$

Đối với các dữ liệu SLSTR ban đêm sử dụng các ngưỡng theo một trong các công thức sau:

$$F1_BT_in > 315 \text{ and } (F1_BT_in - F2_BT_in) > 15 \text{ and } cloud_mask == 0 \text{ and 'land_cover_CCILandCover-2015'} >= 50 \text{ and 'land_cover_CCILandCover-2015'} <= 110 \tag{6}$$

Kết quả của quá trình xử lý tính toán theo công thức (5) và công thức (6) đã đưa ra khu vực xảy ra cháy rừng ở Hình 5.



Hình 5: Kết quả khu vực cháy tính toán từ dữ liệu Sentinel-3 SLSTR đêm 10/4/2024 và ngày 11/4/2024

3.2. Đánh giá độ chính xác

Việc đánh giá độ chính xác được so sánh với vị trí phát hiện cháy chiết tách từ dữ liệu Sentinel-3 SLSTR ban đêm và ban ngày thu nhận trong quá trình xảy ra cháy và vị trí diện tích rừng tràm bị cháy trên thực địa (Hình 6). Kết quả đánh giá cho thấy hoàn toàn trùng khớp về vị trí tọa độ khu vực đã xảy ra cháy trên dữ liệu tính toán và thực địa.



Hình 6: Vụ cháy đã thiêu rụi hoàn toàn 40 ha rừng tràm tại Đội quản lý đất quốc phòng (Nông trường 402 cũ, xã Khánh Bình Tây, huyện Trần Văn Thời) [15]

Mặc dù đã có các khó khăn phát hiện cháy rừng đối với dữ liệu Sentinel-3

SLSTR ban ngày do sự phản xạ phổ mạnh của ánh sáng mặt trời lên các kênh phổ. Nhưng các kết quả tính toán phát hiện cháy rừng đối với dữ liệu Sentinel-3 SLSTR ban ngày đã góp phần tăng thêm thông tin hữu ích bổ sung về phát hiện cháy cho dữ liệu Sentinel-3 SLSTR ban đêm. Kết quả này khẳng định dữ liệu Sentinel-3 SLSTR ban ngày và ban đêm có thể phát hiện được sự tăng nhiệt độ của đối tượng thực vật để cảnh báo cho kiểm lâm có thể kiểm tra có khả năng xuất hiện đám cháy sớm nhất có thể nhằm ngăn chặn cháy rừng và ảnh hưởng đến môi trường đất, không khí. Dữ liệu Sentinel-3 SLSTR có độ phân giải không gian 500 m và 1.000 m nên hạn chế trong việc phát hiện các đám cháy nhỏ.

4. Kết luận

Phát hiện cháy rừng sử dụng dữ liệu Sentinel-3 SLSTR ban ngày và ban đêm liên tục hàng ngày, đêm là thông tin ban đầu quan trọng. Bên cạnh đó, sự kết hợp với các nguồn thông tin và các phát hiện cháy của dữ liệu MODIS với sự kiểm chứng tại thực địa sẽ giúp phát hiện sớm khả năng cháy rừng nhằm giảm thiểu thiệt hại để bảo vệ rừng và môi trường sống. Các kết quả phát hiện cháy và kiểm chứng ở thực địa đã khẳng định tính hiệu quả của dữ liệu được sử dụng trong khu vực nghiên cứu. Các sự kiện cháy rừng có hậu quả lớn do sự phát hiện muộn và phương pháp phòng cháy, chữa cháy chưa thực sự hiệu quả. Kết quả nghiên cứu của bài báo giúp ích cho việc phát hiện cháy ở các khu vực rừng ở vùng sâu, xa ít người biết trong điều kiện có dữ liệu cung cấp sớm nhất có thể. Các vệ tinh Sentinel-3C và 3D sẽ sớm được đưa lên quỹ đạo để tăng

cường và thay thế các vệ tinh Sentinel-3A và 3B đảm bảo sự giám sát liên tục.

Chú dẫn: Bài báo được thực hiện trước khi sáp nhập tỉnh, có nghĩa là thông tin trong bài viết này (về địa lý, hành chính) dựa trên tình hình trước khi một số tỉnh được sáp nhập hoặc chia tách. Điều này quan trọng vì nó có thể ảnh hưởng đến tính chính xác của các số liệu hoặc tên gọi địa phương được đề cập.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Anh Thu (2015). *Xã Khánh Bình Tây: tiềm năng phát triển kinh tế và du lịch biển đảo*. https://tranvanthoi.camau.gov.vn/wps/portal/?1dmy&page=htvt.trangchitiet&uril=wcm%3Apath%3A/tvtlibrary/tvtsite/tintucsukien/vanhoaxahoi/admin_00324.

[2]. Bowman, D.M.J.S., Balch, J.K., Artaxo, P., Bond, W.J., Carlson, J.M., Cochrane, M.A., D'Antonio, C.M., DeFries, R.S., Doyle, J.C., Harrison, S.P., Johnston, F.H., Keeley, J. E., Krawchuk, M.A., Kull, C.A., Marston, J.B., Moritz, M.A., Prentice, I.C., Roos, C.I., Scott, A.C., Swetnam, T.W., Van der Werf, G.R., Pyne, S.J., (2009). *Fire in the Earth system*. Science 324, 481 - 484.

[3]. Chatterjee, R.S., Singh, N., Thapa, S., Sharma, D., Kumar, D., (2017). *Retrieval of land surface temperature (LST) from landsat TM6 and TIRS data by single channel radiative transfer algorithm using satellite and ground-based inputs*. Int. J. Appl. Earth Obs. Geoinf. 58, 264 - 277.

[4]. Coppo, P., Ricciarelli, B., Brandani, F., Delderfeld, J., Ferlet, M., Mutlow, C., et al., (2010). *SLSTR: a high accuracy dual scan temperature radiometer for sea and land surface monitoring from space*. J. Mod. Opt. 57 (18), 1815 - 1830. October 2010.

[5]. Delderfeld, J., Llewellyn-Jones, D.T., Bernard, R., De Javel, Y., Williamson, E.J., Mason, I., Pick, D.R., Barton, I.J., (1986). *The along track scanning radiometer (ATSR) for ERSI*. In: Instrumentation for

Optical Remote Sensing from Space, vol. 589. International Society for Optics and Photonics, p. 114 - 120.

[6]. Freeborn, P.H., Wooster, M.J., Hao, W.M., Ryan, C.A., Nordgren, B.L., Baker, S.P., Ichoku, C., (2008). *Relationships between energy release, fuel mass loss, and trace gas and aerosol emissions during laboratory biomass fires*. J. Geophys. Res. Atmos. 113 (D1).

[7]. Johnston, F., Hanigan, I., Henderson, S., Morgan, G., Bowman, D., (2011). *Extreme air pollution events from bushfires and dust storms and their association with mortality in Sydney, Australia 1994 - 2007*. Environ. Res. 111, 811 - 816.

[8]. Kaiser, J.W., Heil, A., Andreae, M.O., Benedetti, A., Chubarova, N., Jones, L., Morcrette, J.J., Razinger, M., Schultz, M.G., Suttie, M., van der Werf, G.R., (2012). *Biomass burning emissions estimated with a global fire assimilation system based on observed fire radiative power*. Biogeosciences 9, 527 - 554.

[9]. Natarajan, M., Pierce, R.B., Schaack, T.K., Lenzen, A.J., Al-Saadi, J.A., Soja, A.J., Charlock, T.P., Rose, F.G., Winker, D.M., Worden, J.R., (2012). *Radiative forcing due to enhancements in tropospheric ozone and carbonaceous aerosols caused by Asian fires during spring 2008*. J. Geophys. Res. Atmos. 117.

[10]. Nguyen, H.M., Wooster, M.J., (2020). *Advances in the estimation of high Spatio-temporal resolution pan-African top-down biomass burning emissions made using geostationary fire radiative power (FRP) and MAIAC aerosol optical depth (AOD) data*. Rem. Sens. Environ. 248, 111971.

[11]. Nguyen, H.M., He, J., & Wooster, M.J. (2023). *Biomass burning CO, PM and fuel consumption per unit burned area estimates derived across Africa using geostationary SEVIRI fire radiative power and Sentinel-5P CO data*. Atmospheric Chemistry and Physics, 23(3), 2089 - 2118.

- [12]. Polehampton, E., C. Cox, D. Smith (RAL Space), D. Ghent (ULEIC), M. Wooster, W. Xu (KCL), J. Bruniquel), C. Henocq (ACRI-ST), S. Dransfeld (ESA) (2023). *Sentinel-3 SLSTR Land User Guide*. ESA.
- [13]. Serco Italia SPA (2018). *Active Fire Detection with Sentinel-3 SLSTR (SNAP) - Portugal* (version 1.2). Retrieved from RUS Lectures at <https://rus-copernicus.eu/portal/the-rus-library/learn-by-yourself/>.
- [14]. Trang thông tin điện tử đảng bộ huyện Trần Văn Thời (2024). *Thông tin về vụ cháy rừng tại Nông trường 402 cũ*. <https://tranvanthoi.camau.dcs.vn/chinh-quyen/thong-tin-ve-vu-chay-rung-tai-nong-truong-402-cu-123492>.
- [15]. Trần An (2024). *Vụ cháy rừng ở Cà Mau: Đơn vị quản lý rừng chưa thực hiện tốt công tác PCCC*. <https://congly.vn/vu-chay-rung-o-ca-mau-don-vi-quan-ly-rung-chua-thuc-hien-tot-cong-tac-pccc-425893.html>.
- [16]. Trần Trung Anh và nnk (2025). *Xây dựng chuỗi bản đồ hành chính Việt Nam tỷ lệ nhỏ phục vụ cho công bố khoa học của Trường Đại học Mở - Địa chất. Đề tài NCKH cấp Cơ sở, mã số NV25-44*.
- [17]. Wooster, M.J., Roberts, G.J., Giglio, L., Roy, D.P., Freeborn, P.H., Boschetti, L., et al., (2021). *Satellite remote sensing of active fires: history and current status, applications and future requirements*. *Rem. Sens. Environ.* 267, 112694.
- [18]. Xu, W., Wooster, M., He, J., Zhang, T., (2020). *First study of Sentinel-3 SLSTR active fire detection and FRP retrieval: nighttime algorithm enhancements and global intercomparison to MODIS and VIIRS AF products*. *Rem. Sens. Environ.* 248, 111947.
- [19]. Xu, W., Wooster, M.J., Polehampton, E., Yemelyanova, R., Zhang, T., (2021). *Sentinel-3 active fire detection and FRP product performance-Impact of scan angle and SLSTR middle infrared channel selection*. *Rem. Sens. Environ.* 261, 112460.
- [20]. Yu, Y., Privette, J.L., Pinheiro, A.C., (2005). *Analysis of the NPOESS VIIRS land surface temperature algorithm using MODIS data*. *IEEE Trans. Geosci. Remote. Sens.* 43, 2340 - 2350.
- [21]. Zhang, T., Wooster, M., de Jong, M., Xu, W., (2018). *How well does the 'small fire boost' methodology used within the GFED4. Is fire emissions database represent the timing, location and magnitude of agricultural burning?*. *Remote sensing.* 10 (6), 823.
- [22]. Wan, Z., Wang, P., Li, X., (2004). *Using MODIS Land Surface Temperature and Normalized Difference Vegetation Index products for monitoring drought in the Southern Great Plains, USA*. *Int. J. Remote Sens.* 25, 61 - 72.
- [23]. <https://ladsweb.modaps.eosdis.nasa.gov/missions-and-measurements/slstr/>.