

ĐÁNH GIÁ BIẾN ĐỘNG SỬ DỤNG ĐẤT/LỚP PHỦ KHU VỰC TỈNH ĐẮK LẮK GIAI ĐOẠN 1989 - 2021 TỪ DỮ LIỆU ẢNH VỆ TINH LANDSAT ĐA THỜI GIAN TRÊN NỀN TẢNG DIỆN TOÁN ĐÁM MÂY GOOGLE EARTH ENGINE

Trần Xuân Biên¹, Lưu Thùy Dương¹, Trịnh Lê Hùng²

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

²Học viện Kỹ thuật quân sự, Hà Nội

Tóm tắt

Lớp phủ bề mặt có vai trò rất quan trọng trong điều tiết nguồn nước, hạn chế lũ lụt, thoái hóa đất cũng như bảo tồn hệ sinh thái. Trong những năm qua, sử dụng đất/lớp phủ có sự thay đổi sâu sắc do tác động của quá trình phát triển kinh tế - xã hội, sự gia tăng dân số cũng như ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Với những ưu điểm nổi bật so với các phương pháp nghiên cứu truyền thống, dữ liệu viễn thám đã được sử dụng rộng rãi trong giám sát và đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ ở quy mô khu vực, quốc gia. Hiện nay, do sự phát triển mạnh mẽ của các hệ thống vệ tinh viễn thám, việc xử lý dữ liệu viễn thám đa thời gian gặp rất nhiều thách thức do hạn chế về hạ tầng lưu trữ. Bài báo này trình bày kết quả đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk từ dữ liệu ảnh viễn thám Landsat đa thời gian trên nền tảng Google Earth Engine (GEE) giai đoạn 1989 - 2021. Đây là một giải pháp phù hợp và hiệu quả trong xử lý dữ liệu lớn viễn thám, giúp tiết kiệm công sức và kinh phí khi nghiên cứu ở một khu vực rộng lớn.

Từ khóa: Sử dụng đất/lớp phủ; Viễn thám; Landsat; Google Earth Engine; Đắk Lắk.

Abstract

Assessing land use/cover changes in Dak Lak province in the period 1989 - 2021 from multi-temporal Landsat satellite image data using Google Earth Engine platform

Land cover plays a very important role in regulating water sources, limiting floods, soil degradation as well as preserving ecosystems. In recent years, land use/land cover has changed profoundly due to the impact of socio-economic development, population growth as well as the effects of climate change. With outstanding advantages compared to traditional research methods, remote sensing technology has been widely used in monitoring and assessing land use/land cover changes at regional and national scales. Currently, due to the strong development of remote sensing satellite systems, processing multi-temporal remote sensing data faces many challenges due to limited storage infrastructure. This article presents the results of assessing land use/land cover changes in Dak Lak province from Landsat multi-temporal data on the Google Earth Engine (GEE) platform for the period 1989 - 2021. This is a suitable and effective solution for processing large remote sensing data, helping to save effort and costs when researching in a large area.

Keywords: Land use/land cover; Remote sensing; Landsat; Google Earth Engine; Dak Lak.

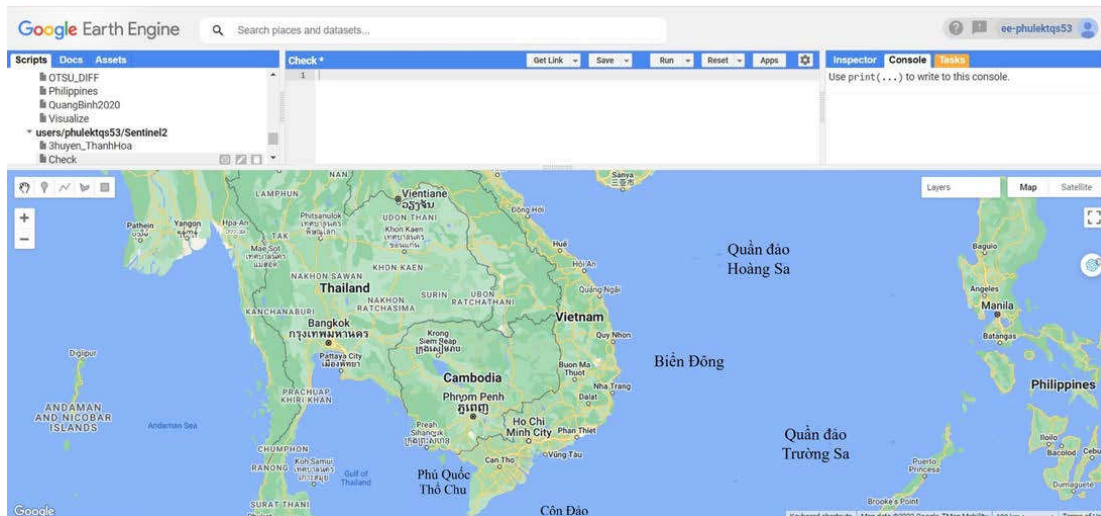
1. Mở đầu

Lớp phủ bề mặt có vai trò quan trọng, ảnh hưởng đến các quá trình trao đổi năng lượng bề mặt và hoạt động như một mặt phân cách giữa đất và khí quyển. Trong những năm qua, do tác động của sự phát triển kinh tế - xã hội, sự gia tăng dân số dẫn đến sự suy giảm nhanh chóng lớp phủ thực vật, cả về diện tích và chất lượng. Giám sát và đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ là một yêu cầu có tính cấp thiết, cung cấp thông tin kịp thời cho các mô hình nghiên cứu khí hậu, môi trường cũng như phục vụ công tác quản lý nhà nước. Có rất nhiều phương pháp để đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ, tuy nhiên phương pháp phổ biến và hiệu quả nhất là sử dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian. Do độ phân giải không gian tốt, chu kỳ cập nhật ngắn, dữ liệu viễn thám được sử dụng rộng rãi trên thế giới trong phát hiện thay đổi lớp phủ bề mặt Trái đất.

Trong 50 năm qua, kể từ khi Landsat 1 - vệ tinh nghiên cứu tài nguyên đầu tiên trên thế giới được đưa thành công lên quỹ đạo, cho đến nay đã có hàng trăm hệ thống vệ tinh viễn thám khác nhau của nhiều quốc gia trên thế giới đã và đang hoạt động, cung cấp nguồn dữ liệu viễn thám khổng lồ, đa thời gian, đa chủng loại. Điều này cũng dẫn đến khó khăn về hạ tầng lưu trữ khi xử lý dữ liệu lớn viễn thám. Việc sử dụng các nền tảng địa không gian mở trong xử lý trực tuyến dữ liệu viễn thám đa thời gian là một tiếp cận phù hợp và hiệu quả hiện nay, nhất là với các địa phương còn gặp khó khăn về cơ sở hạ tầng viễn thám [1 - 4].

Google Earth Engine là một nền tảng phân tích không gian địa lý dựa trên điện toán đám mây cho phép người dùng trực quan hóa và phân tích hình ảnh vệ tinh Trái đất. Bộ dữ liệu của GEE lưu trữ dữ liệu viễn thám của các hệ thống vệ tinh trong giai đoạn 40 năm qua, cùng với các công cụ tính toán cần thiết để phân tích và khai thác kho dữ liệu khổng lồ đó mà không cần phải tải về máy tính. Không những thế, dữ liệu từ GEE có thể sử dụng trên các phần mềm khác như QGIS, GIS, Foris để tối ưu hóa dữ liệu [5]. Nền tảng được sử dụng miễn phí với mục đích nghiên cứu, giáo dục và mục đích phi lợi nhuận danh mục dữ liệu công khai của GEE bao gồm nhiều bộ dữ liệu raster lên đến 5 triệu gigabyte (5 petabyte). Với một kho dữ liệu viễn thám khổng lồ, người dùng có thể truy cập trang web <https://earthengine.google.com/> để khám phá các nguồn dữ liệu hiện có của nó [11].

GEE làm việc thông qua giao diện trực tuyến của ứng dụng JavaScript (API) được gọi là Code Editor. Trên giao diện này, người dùng có thể viết và chạy các tập lệnh để chia sẻ và lặp lại các quy trình phân tích cũng như xử lý dữ liệu không gian địa lý. Code Editor giúp người dùng thực hiện toàn bộ các chức năng có trong Earth Engine. Người dùng có thể sử dụng trực tiếp các bộ dữ liệu này vào tập lệnh của mình chỉ bằng một cú nhấp chuột. Bên cạnh đó, người dùng cũng có thể tạo một tập lệnh khác tùy theo mục đích nghiên cứu của mình bằng cách truy cập <https://code.earthengine.google.com/>.



Hình 1: Giao diện của Code Editor trên nền tảng GEE

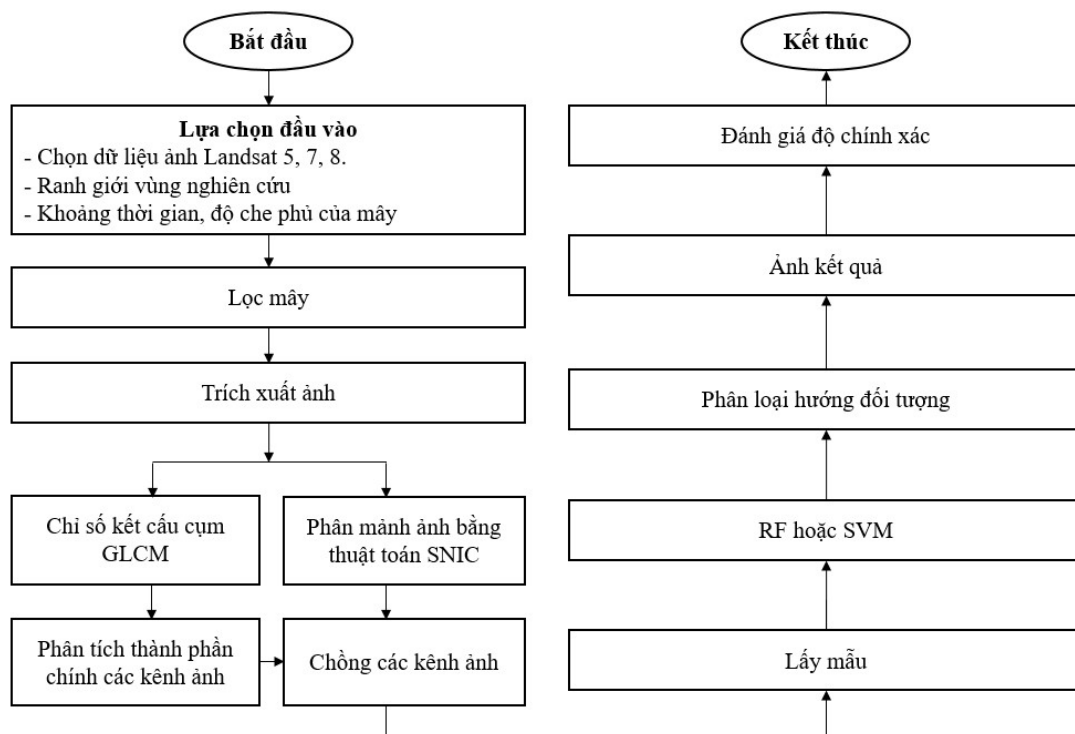
Bằng việc sử dụng và mở rộng ứng dụng với bộ mã lệnh API, các nhà nghiên cứu có thể tùy biến công cụ phục vụ các mục đích khác nhau. Trước hết, GEE hỗ trợ xây dựng chuỗi bản đồ đa thời gian. Ứng dụng này được viết trên nền GEE với giao diện hiển thị chuỗi các lớp dữ liệu đa thời gian như bộ ảnh MODIS và các lớp dữ liệu thời tiết. Hệ thống đã giúp các nhà khoa học dễ dàng tiếp cận thông tin thời tiết, giúp họ tiết kiệm nhiều thời gian và công sức, đồng thời sử dụng được những kết quả mà các lập trình viên trước đó đã xây dựng [11].

Bên cạnh đó, GEE hỗ trợ phân tích với quy mô không gian và thời gian khác nhau. Sức mạnh của GEE nằm ở khả năng tích hợp nhiều bộ dữ liệu khác nhau ở nhiều tỷ lệ và mốc thời gian khác nhau. Ví dụ, một dự án nghiên cứu đang đối mặt với khó khăn trong đánh giá biến động khu vực đất ngập nước khi sử dụng dữ liệu Landsat có độ phân giải không gian tương đối thấp. Với việc tích hợp cơ sở dữ liệu LiDAR cùng ảnh máy bay, GEE đã giúp đánh giá các thay đổi về hiện trạng đất ngập nước và vùng nước

ngập trên bộ dữ liệu có sẵn. Lợi ích mà GEE mang đến không chỉ gói trong khả năng tích hợp, xử lý hàng loạt tập dữ liệu có độ phân giải khác nhau, trong trường hợp này là Sentinel-1, Sentinel-2 và Landsat-8, mà còn tính toán theo chuỗi thời gian nhằm tăng dày mật độ dữ liệu và khả năng nhận dạng các đối tượng dựa trên đặc điểm thay đổi của chúng theo thời gian. Những kết quả đó giúp các nhà khoa học giảm đi nỗi lo và giải quyết sự cố khi ảnh chụp bị mây một cách dễ dàng mà không cần phải tải tất cả các ảnh về như trước kia.

Bài báo này trình bày một giải pháp kỹ thuật xử lý dữ liệu viễn thám đa thời gian trên nền tảng GEE phục vụ đánh giá biến động sử dụng đất/lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk. Bộ dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu là ảnh Landsat TM, ETM+, OLI_TIRS giai đoạn 1989 - 2021. Quá trình xử lý thực hiện hoàn toàn trên nền tảng GEE, người sử dụng chỉ tải về máy tính kết quả phân loại mà không cần phải lưu trữ bộ dữ liệu ảnh viễn thám đầu vào.

2. Quy trình xử lý dữ liệu ảnh viễn thám đa thời gian trên nền tảng GEE



Hình 2: Quy trình xử lý dữ liệu ảnh viễn thám Landsat đa thời gian trên nền tảng GEE

Quy trình xử lý dữ liệu viễn thám Landsat đa thời gian trên nền tảng GEE được trình bày trên Hình 2, trong đó bao gồm các bước cụ thể sau:

Bước 1: Lựa chọn ảnh đầu vào, bao gồm ảnh vệ tinh Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ và Landsat 8 OLI_TIRS. Các ảnh được lựa chọn trong giai đoạn từ 1989 - 2021 ở khu vực tỉnh Đắk Lắk.

Bước 2: Lọc mây. Do ảnh viễn thám quang học bị ảnh hưởng bởi thời tiết, trên các ảnh Landsat thường bị mây che phủ. Để lọc mây, trong nghiên cứu sử dụng bộ ảnh Landsat tham chiếu bao gồm các tham số như loại ảnh, vị trí, thời gian chụp, mức xử lý, mức độ che phủ của mây. Những ảnh có độ che phủ của mây lớn hơn 80 % không được lựa chọn do chúng có ít giá

trị trong việc lọc mây, hơn nữa các pixels mây trong ảnh có thể tạo ra những nhiều khó kiểm soát trong quá trình tính toán [4, 6, 7].

Bước 3: Lựa chọn thuật toán phân loại. Phương pháp phân loại hướng đối tượng (object oriented classification) được lựa chọn để phân loại sử dụng đất/lớp phủ. Đây là phương pháp phân loại hiện đại, có hiệu quả cao khi phân loại lớp phủ thực vật so với các phương pháp phân loại truyền thống khác. Để phân mảnh (segmentation) phục vụ phân loại hướng đối tượng, trong nghiên cứu sử dụng thuật toán phân mảnh SNIC kết hợp ma trận tương quan cấp độ xám GLCM (Gray-Level Co-occurrence Matrix) và phương pháp phân tích thành phần chính (PCA).

Sau khi phân mảnh, tiến hành lấy mẫu huấn luyện cho các đối tượng lớp phủ và tiến hành phân loại bằng hai phương án: Sử dụng thuật toán Random Forest (RF) kết hợp phân loại hướng đối tượng và sử dụng thuật toán Support Vector Machine (SVM) kết hợp phân loại hướng đối tượng. Để so sánh, trong nghiên cứu cũng tiến hành phân loại lớp phủ bằng phương pháp phân loại dựa trên điểm ảnh (pixel based classification) kết hợp thuật toán RF và SVM.

Bước 4: Đánh giá độ chính xác. Độ chính xác kết quả phân loại được xác định trên cơ sở ma trận sai số. Ma trận sai số này được tính toán thông qua bộ dữ liệu kiểm tra. Ma trận sai số cho phép tính toán độ chính xác tổng thể và các đối tượng phân loại bị nhầm lẫn với các đối tượng khác. Ngoài ra, chỉ số Kappa cũng được sử dụng để đánh giá và so sánh độ chính xác kết quả phân loại giữa các phương án.

3. Kết quả và thảo luận

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là địa bàn tỉnh Đắk Lắk. Đắk Lắk là một trong 5 tỉnh thuộc vùng Tây Nguyên, có tổng diện tích tự nhiên là 1.312.349,5 ha, trong đó diện tích đất lâm nghiệp chiếm 51,6 % tổng diện tích tự nhiên của toàn tỉnh. Tài nguyên rừng Đắk Lắk rất phong phú và đa dạng về các hệ sinh thái các loài động, thực vật. Rừng Đắk Lắk giữ vị trí quan trọng trong đời sống dân sinh kinh tế - xã hội và bảo vệ môi trường sinh thái, bảo vệ đa dạng sinh học, địa chất, cảnh quan thiên nhiên. Rừng Đắk Lắk có chức năng phòng hộ,

bảo vệ nguồn nước, phòng hộ biên giới của tỉnh và là khu vực đầu nguồn, ảnh hưởng dòng chảy các con sông lớn của khu vực Duyên hải miền Trung và Đông Nam Bộ như sông Sêrêpôk, Sông Ba, Sông Hinh, sông Đồng Nai,... Mặc dù vậy, trong những năm qua, sử dụng đất/lớp phủ ở Đắk Lắk đang có những biến động sâu sắc do ảnh hưởng của quá trình phát triển kinh tế - xã hội, sự gia tăng dân số cũng như ảnh hưởng của biến đổi khí hậu.

Bộ dữ liệu ảnh Landsat, bao gồm Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ và Landsat 8 OLI_TIRS giai đoạn 1989 - 2021, chụp vào mùa khô (tháng 01 đến tháng 3) được thu thập và tiền xử lý trên nền tảng GEE, sau đó cắt theo ranh giới khu vực nghiên cứu. Các ảnh đều được chụp vào thời điểm tương đồng trong năm để hạn chế ảnh hưởng đến kết quả phân loại lớp phủ. Minh họa dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat khu vực tỉnh Đắk Lắk được trình bày trên Hình 3.

Lớp phủ bề mặt khu vực nghiên cứu được phân loại thành 06 đối tượng: (1) Nước, (2) Rừng tự nhiên, (3) Rừng thưa, (4) Cây công nghiệp, (5) Đất nông nghiệp, (6) Đất ở. Các nghiên cứu trong và ngoài nước cho thấy, phương pháp phân loại hướng đối tượng (object oriented classification) có hiệu quả cao khi phân loại lớp phủ, đặc biệt là lớp phủ rừng so với các phương pháp phân loại dựa trên pixel (pixel based classification). Để nâng cao độ chính xác kết quả phân loại, có thể kết hợp phương pháp phân loại hướng đối tượng và các kỹ thuật học máy

Nghiên cứu

(machine learning) như Random Forest (RF), Support Vector Machine (SVM), Classification And Regression Tree (CART),... [8, 9, 10]. Trong nghiên cứu này, bốn phương pháp phân loại được thử nghiệm để lựa chọn phương pháp phân loại có độ chính xác cao nhất, bao gồm: Phân loại hướng đối tượng kết hợp thuật toán Random Forest (RF); Phân loại dựa trên điểm ảnh + RF; Phân

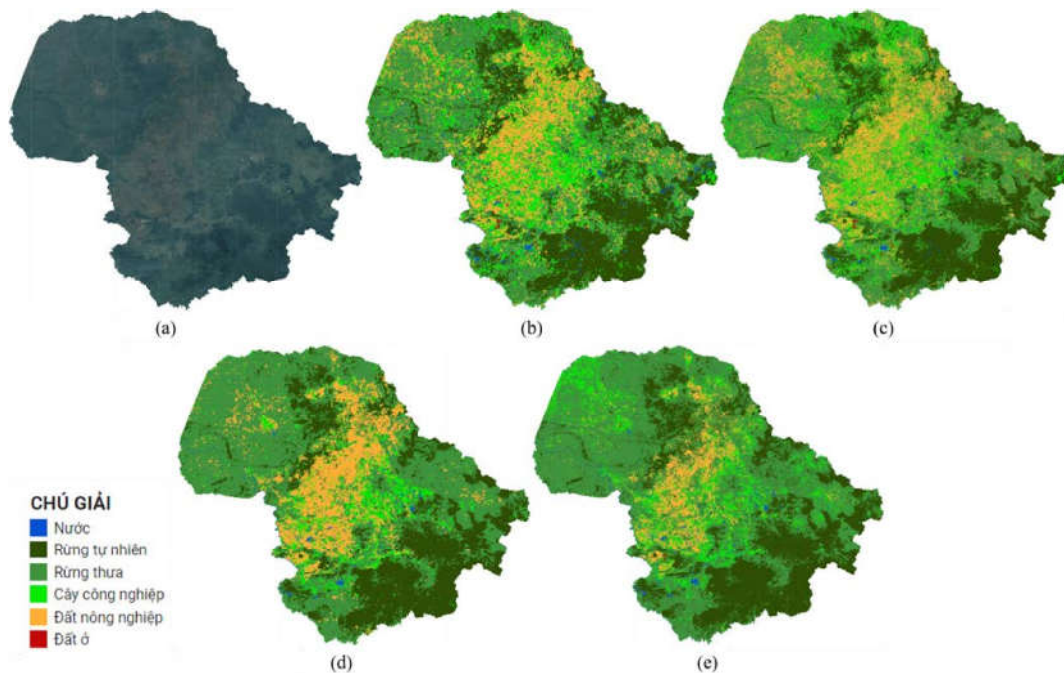
loại hướng đối tượng + SVM và phân loại dựa trên điểm ảnh + SVM. Bộ dữ liệu mẫu bao gồm 250 mẫu, trong đó có 175 mẫu để huấn luyện các mô hình học máy và 75 mẫu để đánh giá độ chính xác của mô hình. Trên Hình 4 và 5 trình bày kết quả phân loại lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk từ ảnh vệ tinh Landsat TM năm 1989 và Landsat 8 OLI_TIRS bằng các thuật toán khác nhau.



Hình 3: Bộ dữ liệu ảnh vệ tinh Landsat đa thời gian giai đoạn 1989 - 2021 khu vực tỉnh Đắk Lắk

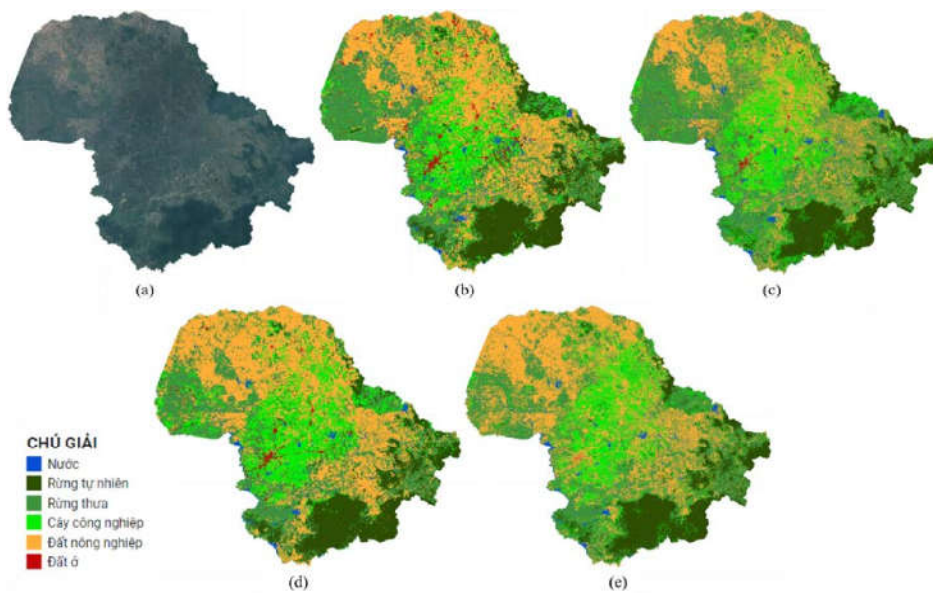
Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại lớp phủ bằng 04 phương án được trình bày trên Hình 6 và 7. Có thể nhận thấy, với cả 02 trường hợp ảnh vệ tinh Landsat năm 1989 và 2021, phương án sử dụng phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp thuật toán máy hỗ trợ vector (SVM) đều cho độ chính xác khi phân loại lớp phủ cao nhất, đạt trên 90 % (giá trị chỉ số Kappa đạt từ 0,90 đến 0,91), cao hơn đáng kể so với phương án kết hợp phân loại hướng đối tượng và thuật toán RF (độ chính xác đạt khoảng trên 85 %, giá trị chỉ số Kappa đạt 0,816 và 0,835 đối với ảnh Landsat năm 2021 và 1989). Ngoài ra, kết quả nhận được cũng cho thấy, phương pháp phân loại hướng đối tượng tỏ ra hiệu

quả hơn so với phương pháp phân loại dựa trên điểm ảnh khi phân loại lớp phủ thực vật. Trong cả 2 trường hợp, độ chính xác phân loại lớp phủ thực vật bằng phương pháp phân loại dựa trên điểm ảnh chỉ đạt trên 83 %. Với ảnh Landsat 7 ETM+ chụp ngày 4/3/2000, độ chính xác kết quả phân loại lớp phủ bằng phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp SVM cũng cao hơn so với các thuật toán khác (cao hơn 3 % so với sử dụng thuật toán RF và hơn 5 % so với thuật toán xác suất cực đại). Từ kết quả này, trong nghiên cứu đề xuất lựa chọn phương pháp phân loại hướng đối tượng kết hợp SVM để tiến hành phân loại và đánh giá biến động lớp phủ thực vật khu vực tỉnh Đắk Lắk.

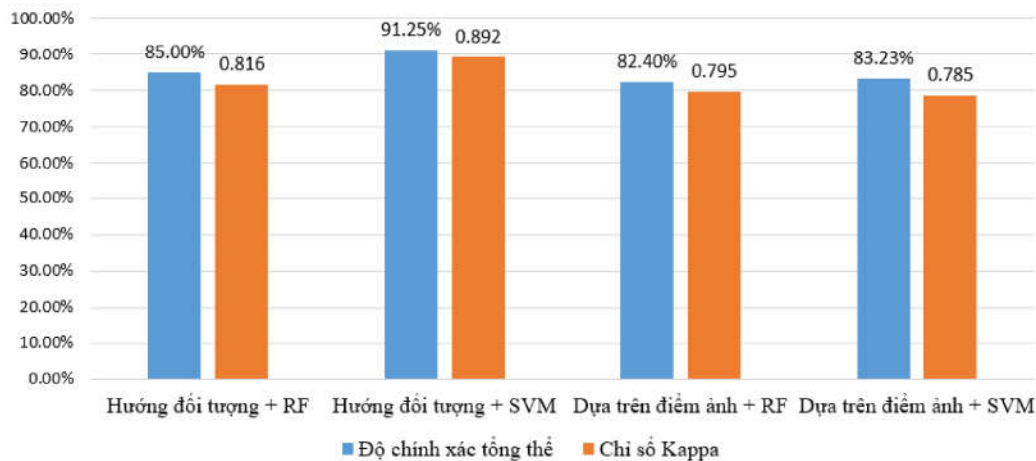


Hình 4: Kết quả phân loại sử dụng đất/lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk từ ảnh vệ tinh Landsat 5 TM năm 1989: (a) Ảnh gốc; (b) Phân loại hướng đối tượng + RF; (c) Phân loại dựa trên điểm ảnh + RF; (d) Phân loại hướng đối tượng + SVM; (e) Phân loại dựa trên điểm ảnh + SVM

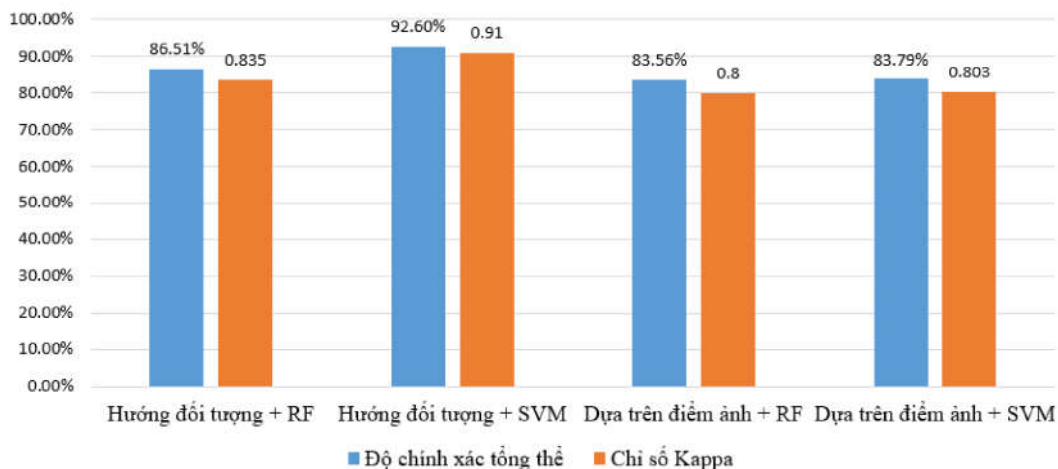
Nghiên cứu



Hình 5: Kết quả phân loại sử dụng đất/lớp phủ khu vực tỉnh Đắc Lắc từ ảnh vệ tinh Landsat 8 năm 2021: (a) Ảnh gốc; (b) Phân loại hướng đối tượng + RF; (c) Phân loại dựa trên điểm ảnh + RF; (d) Phân loại hướng đối tượng + SVM; (e) Phân loại dựa trên điểm ảnh + SVM



Hình 6: So sánh, đánh giá độ chính xác kết quả phân loại sử dụng đất/lớp phủ năm 2021



Hình 7: So sánh, đánh giá độ chính xác kết quả phân loại sử dụng đất/lớp phủ năm 1989

Kết quả phân loại các đối tượng sử dụng đất/lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk giai đoạn 1989 - 2021 được thể hiện trong Bảng 1. Có thể nhận thấy, diện tích rừng tự nhiên và rừng thưa (rừng khộp) có xu hướng suy giảm trong giai đoạn 1989 - 2021, trong đó diện tích rừng tự nhiên năm 2021 đạt trên 1.802 km², bằng 54,4 % so với năm 1989. Diện tích rừng thưa (rừng khộp) năm 2021 đạt 3.716,64 km², bằng 56,0 % so với năm 1989 (6.636,92 km²).

Ngược lại, diện tích đất nông nghiệp, cây công nghiệp có sự gia tăng đáng kể trong giai đoạn này, tăng khoảng 2,5 lần so với năm 1989. Đất ở cũng có sự gia tăng rất nhanh chóng, từ 13,25 km² năm 1989 lên 160,68 km² năm 2021 (gia tăng khoảng 13 lần). Diện tích mặt nước cũng có xu hướng gia tăng, tuy nhiên sự biến động không nhiều. Điều này có thể giải thích do sự xuất hiện của một số hồ chứa nước phục vụ hoạt động nông nghiệp ở Đắk Lắk trong giai đoạn 1989 - 2021.

Bảng 1. Kết quả xác định diện tích các đối tượng lớp phủ khu vực tỉnh Đắk Lắk giai đoạn 1989 - 2021 (km²)

Năm	Mặt nước	Rừng tự nhiên	Rừng thưa	Cây công nghiệp	Đất nông nghiệp	Đất ở
1989	70,08	3.315,85	6.636,92	1.030,77	1.985,70	13,25
1995	145,57	2.769,24	5.503,67	1.389,66	3.085,05	21,75
2000	145,11	2.693,25	4.339,16	1.821,40	4.014,91	38,92
2005	147,91	1.969,48	4.221,90	2.220,74	4.404,36	86,88
2010	155,66	1.954,28	4.273,70	2.217,65	4.329,26	121,93
2015	138,41	1.835,96	3.939,22	2.559,51	4.548,26	132,46
2021	177,94	1.802,02	3.716,64	2.520,49	4.676,06	160,68

4. Kết luận

Dữ liệu ảnh Landsat 5 TM, Landsat 7 ETM+ và Landsat 8 OLI_TIRS giai đoạn 1989 - 2021 được thu thập và tiền xử lý trên nền tảng GEE, sau đó tiến hành lọc mây và cắt theo ranh giới tỉnh Đắk Lắk. Để phân loại lớp phủ bề mặt, trong nghiên cứu cũng thử nghiệm với 04 phương án: Phân loại hướng đối tượng + RF; Phân loại dựa trên điểm ảnh + RF; Phân loại hướng đối tượng + SVM và phân loại dựa trên điểm ảnh + SVM. Kết quả thử nghiệm với 02 cảnh ảnh Landsat năm 1989 và 2021 đều cho thấy, phương án kết hợp phân loại hướng đối tượng và thuật toán SVM cho độ chính xác cao nhất (trên 90 %, chỉ số Kappa đạt trên 0,90). Từ kết quả này, trong nghiên cứu đã đề xuất lựa chọn phương pháp phân loại lớp phủ bề

mặt trên cơ sở kết hợp phân loại hướng đối tượng và thuật toán máy hỗ trợ vector (SVM).

Kết quả nhận được trong bài báo cũng cho thấy xu thế suy giảm diện tích rừng tự nhiên, rừng khộp ở khu vực tỉnh Đắk Lắk và sự gia tăng nhanh chóng đất nông nghiệp, đất trồng cây công nghiệp cũng như đất ở. Đây là các thông tin quan trọng trong giám sát sự biến động bề mặt, phục vụ công tác quản lý và quy hoạch lớp phủ/sử dụng đất.

Lời cảm ơn: Bài báo có sử dụng một phần số liệu và kết quả của đề tài KH&CN cấp tỉnh Đắk Lắk “Nghiên cứu ứng dụng trí tuệ nhân tạo và công nghệ địa không gian xây dựng hệ thống hỗ trợ phân tích, quản lý tài nguyên rừng trong điều kiện

Nghiên cứu

biến đổi khí hậu ở tỉnh Đắk Lắk". Các tác giả xin chân thành cảm ơn Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đắk Lắk, Ban chủ nhiệm đề tài đã hỗ trợ nhóm nghiên cứu hoàn thành bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Phạm Văn Chiến (2020). *Nghiên cứu các chỉ số nhận biết nước từ ảnh Sentinel-2 trên nền Google Earth Engine: Áp dụng cho thành phố Sa Đéc, tỉnh Đồng Tháp*. Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường, số 60, 113 - 120.

[2]. Nguyễn Văn Hoàng, Huỳnh Thị Kim Nhân, Nguyễn Đình Vượng (2020). *Nghiên cứu ứng dụng nền tảng Google Earth Engine thành lập bản đồ giám sát hạn hán lưu vực sông Đồng Nai vùng Đông Nam Bộ*. Tạp chí Khoa học Thủy lợi và Môi trường, số 58, 47 - 54.

[3]. Trịnh Lê Hùng, Mai Đình Sinh, Nguyễn Như Hùng, Lê Văn Phú (2021). *Tự động phát hiện vùng ngập lụt từ ảnh Sentinel 1 sử dụng nền tảng Google Earth Engine*. Tạp chí Khoa học Kỹ thuật, chuyên san Kỹ thuật công trình đặc biệt, số 8, 29 - 43.

[4]. Trần Anh Tuấn, Nguyễn Đình Dương (2019). *Tạo ảnh không mây phục vụ phân loại lớp phủ với tư liệu Landsat đa thời gian - Nghiên cứu thử nghiệm tại tỉnh Đắk Lắk*. VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences, Vol. 35, No. 4 (2019) 80 - 87.

[5]. Gomes V., Queiroz G., Ferreira K., (2020). *An overview of platforms for big Earth observation data management and analysis*.

Remote Sensing, 12, 1253. Doi:10.3390/rs12081253.

[6]. Foga S., Scaramuzza P., Guo S., Zhu Z., Dilley R., Beckmann T., Schmidt G., Dwyer J., Hughes M., Laue B., (2017). *Cloud detection algorithm comparison and validation for operational Landsat data products*. *Remote Sensing of Environment* 194, 379 - 390, <http://doi.org/10.1016/j.rse.2017.03.026>.

[7]. Jeppesen J., Jacobsen R., Inceoglu F., Toftegaard T., (2019). *A cloud detection algorithm for satellite imagery based on deep learning*. *Remote Sensing of Environment*, 229, 247 - 259.

[8]. Kumar A., Sinha N., (2020). *Classification of forest cover type using Random Forest algorithm*. *Advances in Data and Information Sciences, Part of the Lecture Notes in Networks and Systems book series (LNNS)*, Vol. 94, 395 - 402.

[9]. Talukdar S., Singha P., Mahato S., Shahfahad, Pal S., Liou Y., Rahman A., (2020). *Land use land cover classification by machine learning classifiers for satellite observation - a review..* *Remote Sensing*, Vol. 12(7), 1135. <https://doi.org/10.3390/rs12071135>.

[10]. Yang B., Li S., (2013). *Remote sense image classification based on CART algorithm*. *Advanced Materials Research*, Volumes 864 - 867, 2782 - 2786

[11]. <https://earthengine.google.com/>.
BBT nhận bài: 10/10/2023; Phản biện xong: 20/10/2023; Chấp nhận đăng: 15/12/2023