



NGHIÊN CỨU XÂY DỰNG HỆ THỐNG WEBGIS VÀ MOBILE GIS PHỤC VỤ QUẢN LÝ KHU VỰC CÁC HUYỆN BIÊN GIỚI TỈNH ĐẮK LẮK NHẪM HỖ TRỢ PHÁT TRIỂN KINH TẾ - XÃ HỘI VÀ ĐẢM BẢO QUỐC PHÒNG - AN NINH

LÊ THỊ KIM THOA¹, DƯƠNG THỊ HỒNG YẾN¹, ĐÀO THỊ LƯU¹, VŨ THỊ KIM DUNG¹, ĐINH BẢO NGỌC², MAI QUANG TUẤN³

¹ Viện Các Khoa học Trái đất, Viện Hàn lâm Khoa học & Công nghệ Việt Nam

² Đại học Mở Địa chất

³ Đại học Tài nguyên và Môi trường Hà Nội

Tóm tắt

Nghiên cứu này trình bày quy trình xây dựng hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ công tác quản lý khu vực các huyện biên giới tỉnh Đắk Lắk (bao gồm huyện Ea Súp và Buôn Đôn) - nơi tiếp giáp với tỉnh Mondulakiri (Vương quốc Campuchia) với đường biên giới đất liền dài gần 72 km. Hệ thống được thiết kế theo kiến trúc ba tầng, tích hợp PostgreSQL/PostGIS làm nền tảng cơ sở dữ liệu không gian, NodeJS làm tầng xử lý nghiệp vụ, Google Earth Engine để phân tích ảnh viễn thám, ReactJS kết hợp Mapbox GL cho giao diện WebGIS và React Native cho ứng dụng Mobile GIS. Quy trình xây dựng được tổ chức thành sáu bước từ thu thập dữ liệu đến triển khai ứng dụng. Kết quả thử nghiệm cho thấy hệ thống có khả năng giám sát biến động rừng và các công trình xây dựng, đồng thời hỗ trợ hiệu quả công tác tuần tra biên phòng theo thời gian thực. Hệ thống góp phần nâng cao năng lực quản lý không gian lãnh thổ, hỗ trợ ra quyết định dựa trên dữ liệu và tăng cường an ninh biên giới.

Từ khóa: WebGIS, Mobile GIS, biên giới, Đắk Lắk, PostGIS, viễn thám, quản lý lãnh thổ, Sentinel.

Ngày nhận bài: 51/2/2026; **Ngày sửa chữa:** 18/2/2026; **Ngày duyệt đăng:** 29/3/2026.

Research on developing a webgis and mobile gis system for managing border districts in Dak Lak province to support socio-economic development and ensure national defense - security

Abstract

This study presents the development process of a WebGIS and Mobile GIS system designed to support the management of border districts in Đắk Lắk Province - specifically Ea Sup and Buon Don districts - which share an approximately 72-kilometer land border with Mondulakiri Province, Kingdom of Cambodia. The system was architected following a three-tier design, integrating PostgreSQL/PostGIS as the spatial database foundation, Node.js as the business logic layer, Google Earth Engine for remote sensing image analysis, ReactJS combined with Mapbox GL for the WebGIS interface, and React Native for the Mobile GIS application. The development workflow was structured into six sequential phases, spanning from data acquisition to system deployment. Experimental results demonstrate that the system is capable of monitoring forest cover change and construction activity, while effectively supporting real-time border patrol operations. The system contributes to enhancing territorial spatial management capacity, facilitating data-driven decision-making, and strengthening border security.

Keywords: WebGIS, Mobile GIS, border area, Dak Lak, PostGIS, remote sensing, territorial management, Sentinel.

JEL Classifications: Q50, Q51, Q54.

1. GIỚI THIỆU

Tỉnh Đắk Lắk có gần 72 km đường biên giới đất liền tiếp giáp tỉnh Mondulakiri (Vương quốc Campuchia), đi qua địa bàn 4 xã biên giới gồm Ea Bung, Ia Rvê, Ia Lốp và Buôn Đôn (thuộc 2 huyện biên giới Ea Súp và Buôn Đôn theo phân chia đơn vị hành chính cũ). Đây là khu vực có vị trí chiến lược quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, đảm

bảo quốc phòng - an ninh của tỉnh Đắk Lắk. Khu vực huyện Ea Súp và Buôn Đôn là nơi có hệ sinh thái rừng phong phú và nguồn tài nguyên thiên nhiên đa dạng. Trong những năm gần đây, diện tích rừng tự nhiên tại các huyện này đã suy giảm đáng kể, đặt ra yêu cầu cấp thiết về đổi mới phương pháp quản lý và giám sát lãnh thổ (Ủy ban nhân dân tỉnh Đắk Lắk, 2022).



Các phương pháp giám sát truyền thống dựa trên khảo sát thực địa và báo cáo định kỳ bộc lộ nhiều hạn chế: Tốn kém thời gian và nhân lực, thiếu dữ liệu không gian đủ độ chính xác và không đáp ứng được yêu cầu giám sát theo thời gian thực. Công nghệ WebGIS và Mobile GIS đã được ứng dụng rộng rãi trong quản lý tài nguyên thiên nhiên và theo dõi biến động lãnh thổ tại nhiều quốc gia trong khu vực Đông Nam Á (Doan & Nguyen, 2020; Nguyen & Pham, 2019). Đặc biệt, sự phát triển của nền tảng phân tích ảnh viễn thám Google Earth Engine đã mở ra khả năng xử lý dữ liệu không gian quy mô lớn mà không yêu cầu hạ tầng máy chủ mạnh tại địa phương (Gorelick et al., 2017).

Tại Việt Nam, ứng dụng WebGIS trong quản lý tài nguyên rừng và đất đai đã được triển khai ở một số địa phương, bước đầu cho thấy hiệu quả trong việc số hóa và chia sẻ dữ liệu không gian (Phạm, 2020). Tuy nhiên, các nghiên cứu về hệ thống tích hợp cả WebGIS lẫn Mobile GIS với khả năng phân tích viễn thám tự động phục vụ quản lý biên giới vẫn còn hạn chế, đặc biệt tại khu vực Tây Nguyên. Hệ thống thông tin đất đai quốc gia cũng đang được chuẩn hóa theo quy định (Bộ Tài nguyên và Môi trường, 2021), tạo cơ sở pháp lý và kỹ thuật cho việc triển khai các hệ thống GIS cấp địa phương.

Mục tiêu của nghiên cứu này là xây dựng và trình bày một quy trình toàn diện phát triển hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ quản lý khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk, hướng đến ba mục tiêu cụ thể: (1) Chuẩn hóa quy trình phát triển hệ thống WebGIS - Mobile GIS áp dụng cho vùng biên giới; (2) Hỗ trợ giám sát lãnh thổ và phân tích biến động không gian; (3) Tăng cường năng lực phản ánh và cập nhật thông tin hiện trường theo thời gian thực.

2. CÁC NGHIÊN CỨU CÓ LIÊN QUAN

Công tác giám sát và quản lý tuyến biên giới đòi hỏi cơ sở dữ liệu tổng hợp, đầy đủ và chính xác. Tại Việt Nam, một số đề tài khoa học tại các tỉnh biên giới đã bước đầu thực hiện việc xây dựng cơ sở dữ liệu và ứng dụng công nghệ viễn thám, GIS vào quản lý giám sát khu vực biên giới:

Đề tài "Xây dựng cơ sở dữ liệu quản lý tuyến biên giới Việt - Trung trên địa bàn tỉnh Lai Châu" (2016-2017, mã số VAST.NĐP.07.16-17) do Vũ Hữu Long chủ nhiệm và cộng sự (Viện Công nghệ Vũ trụ). Đề tài xây dựng CSDL hoàn chỉnh với các nhóm thông tin: cột mốc - đường biên giới, trắc lượng địa hình, an ninh biên giới, hiện trạng sử dụng đất, thổ nhưỡng, kinh tế - xã hội. Hạn chế: chưa trực quan hóa dữ liệu trên các nền tảng Web phổ biến, gây khó khăn cho nhà quản lý thiếu kinh nghiệm GIS.

Đề tài "Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và GIS trong quản lý, giám sát đường biên và trợ giúp quy

hoạch phát triển kinh tế - xã hội kết hợp đảm bảo quốc phòng - an ninh khu vực biên giới phía Bắc, ứng dụng cho tỉnh Cao Bằng" (2018-2020) do Nguyễn Trường Xuân và cộng sự thực hiện. Đề tài đã xây dựng WebGIS mã nguồn mở song chức năng chỉ dừng ở mức hiển thị vị trí đối tượng; thiếu phân tích không gian và tự động phân tích đối tượng trên ảnh vệ tinh. Mobile GIS được xây dựng nhưng chỉ dành cho cơ quan quản lý, thiếu chức năng cho người dân gửi phản ánh.

Đề tài "Ứng dụng ảnh viễn thám (VNREDSat-1 và tương đương) và GIS để giám sát các biến động trên lãnh thổ Việt Nam và lân cận" (2013-2015) do Tạ Minh Đức và cộng sự thực hiện. Đề tài xây dựng được CSDL nền và phần mềm quản lý nhưng chi phí mua ảnh VNREDSat-1 cao và việc sử dụng ArcGIS Engine phát sinh chi phí bản quyền thương mại.

Đề tài "Nghiên cứu kết hợp ảnh viễn thám quang học và radar thành lập bản đồ chuyên đề quân sự hỗ trợ đánh giá địa hình lãnh thổ Việt Nam và vùng phụ cận phục vụ mục đích quốc phòng" (2016) do Hoàng Minh Ngọc và cộng sự thực hiện. Kết quả thành lập bản đồ địa hình nhưng các đối tượng địa vật dọc tuyến biên giới chưa được mô tả rõ ràng; việc giám sát di biến động dân cư, xâm canh, sạt lở biên giới chưa được thể hiện.

Tổng hợp các nghiên cứu trên cho thấy, còn tồn tại những khoảng trống quan trọng: thiếu hệ thống tích hợp cả WebGIS lẫn Mobile GIS với phân tích viễn thám tự động; thiếu chức năng cho người dân và cán bộ gửi phản ánh thực địa theo thời gian thực. Nghiên cứu này hướng đến giải quyết các khoảng trống đó.

3. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

3.1. Phương pháp thu thập và tổng hợp dữ liệu

Nghiên cứu sử dụng phương pháp thu thập dữ liệu đa nguồn, kết hợp dữ liệu viễn thám và dữ liệu thực địa. Dữ liệu ảnh vệ tinh bao gồm ảnh Sentinel-2 (đa phổ, phân giải 10m) và Sentinel-1 SAR từ kho dữ liệu mở của Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA), được truy cập qua nền tảng Google Earth Engine với chuỗi thời gian từ 2017 đến 2023; mô hình số độ cao DEM SRTM (phân giải 30m) phục vụ phân tích địa hình. Dữ liệu địa lý và kinh tế-xã hội được thu thập trực tiếp từ các cơ quan quản lý nhà nước: dữ liệu dân cư và thống kê từ Cục Thống kê tỉnh Đắk Lắk (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hiện trạng và diễn biến rừng từ Chi cục Kiểm lâm tỉnh (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu cột mốc, đường biên giới và hạ tầng biên phòng từ Bộ Chỉ huy Bộ đội Biên phòng tỉnh Đắk Lắk. Toàn bộ dữ liệu được kiểm tra tính đầy đủ, độ tin cậy và khả năng tích hợp trước khi đưa vào hệ thống.

3.2. Phương pháp phân tích và xử lý ảnh viễn thám

Tiến xử lý ảnh Sentinel-2 được thực hiện trên nền tảng Google Earth Engine theo quy trình: (1) Sử

dụng sản phẩm L2A đã được ESA hiệu chỉnh phản xạ bề mặt (Bottom-of-Atmosphere reflectance); (2) Loại bỏ mây và bóng mây bằng thuật toán s2cloudless với ngưỡng xác suất mây 60%; (3) Tạo ảnh tổng hợp trung vị (median composite) riêng cho mùa khô (tháng 11 đến tháng 4) và mùa mưa (tháng 5 đến tháng 10) nhằm giảm thiểu ảnh hưởng của biến động thời tiết và tăng độ bao phủ không gian. Ảnh tổng hợp mùa khô được ưu tiên sử dụng trong phân tích NDVI vì thực vật rụng lá và mây ít, giúp phân biệt rõ ràng các lớp phủ đất hơn.

Chỉ số thực vật NDVI được tính theo công thức chuẩn $NDVI = (NIR - Red)/(NIR + Red)$ sử dụng kênh B8 (NIR, 842nm) và B4 (Red, 665nm) của Sentinel-2. Phát hiện biến động lớp phủ rừng áp dụng phương pháp so sánh ảnh đa thời kỳ (bi-temporal change detection) dựa trên ngưỡng biến thiên NDVI ($\Delta NDVI$), kết hợp với phân loại học máy thuật toán Rừng Ngẫu nhiên (Random Forest) với 7 lớp phủ đất: rừng tự nhiên, rừng trồng, đất canh tác nông nghiệp, đất có mặt nước, đất xây dựng/khu dân cư, đất trống và đất khác. Bộ mẫu huấn luyện gồm 350 điểm được thu thập kết hợp giữa khảo sát thực địa GPS và giải đoán ảnh màu thật độ phân giải cao. Phương pháp này đã được kiểm chứng hiệu quả trong nhiều nghiên cứu quốc tế (Zhu & Woodcock, 2014; Hansen et al., 2013; Việt & Son, 2021).

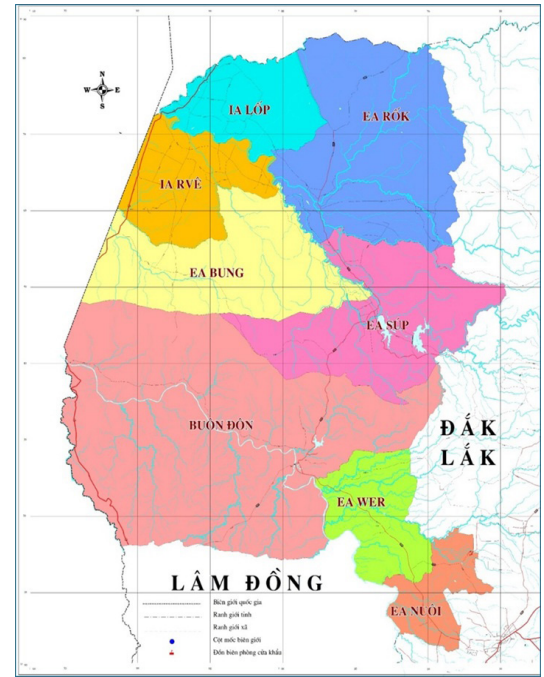
3.3. Phương pháp phân tích không gian và thiết kế cơ sở dữ liệu

Cơ sở dữ liệu không gian được thiết kế theo mô hình thực thể - quan hệ (ER Model) với năm nhóm bảng chức năng, triển khai trên PostgreSQL 14 kết hợp phần mở rộng PostGIS 3.2. Phương pháp này đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu không gian theo chuẩn OGC, hỗ trợ thực thi các phép toán không gian phức tạp trực tiếp tại tầng cơ sở dữ liệu (PostGIS Development Team, 2023). Toàn bộ dữ liệu vector được chuẩn hóa về hệ tọa độ WGS84 (EPSG:4326) thông qua công cụ ogr2ogr và QGIS; dữ liệu raster được đăng ký tọa độ và chuẩn hóa độ phân giải bằng GDAL trước khi nhập kho.

Phân tích không gian phục vụ giám sát biên giới áp dụng các phép toán: tạo vùng đệm (buffer) quanh đường biên giới và cột mốc ở bán kính linh hoạt (mặc định 1 km); chồng xếp (overlay) và giao cắt (intersection) để xác định các đối tượng dân cư, công trình xây dựng nằm trong vùng nhạy cảm; tính diện tích biến động lớp phủ rừng theo đơn vị hành chính. Thư viện Turf.js được tích hợp phía máy khách (client-side) để thực hiện các phép đo và phân tích địa lý tức thời trên giao diện bản đồ mà không cần gửi yêu cầu về máy chủ.

3.4. Phương pháp phát triển hệ thống phân mềm

Quy trình phát triển hệ thống áp dụng phương pháp luận Agile/Scrum với sáu bước tuần tự, cho phép kiểm thử và điều chỉnh sau mỗi giai đoạn. Kiến trúc ba tầng (Three-Tier Architecture) được lựa chọn để đảm bảo tính mô-đun hóa, dễ bảo trì và khả năng mở rộng độc lập từng tầng. Giao diện người dùng được thiết kế theo nguyên tắc UX hướng đến người dùng ít kinh nghiệm công nghệ - phù hợp với đặc điểm của cán bộ



Hình 1. Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu - hai huyện Ea Súp và Buôn Đôn, tỉnh Đắk Lắk

biên phòng tại khu vực (Hoang et al., 2021). Ứng dụng Mobile GIS được tối ưu hóa cho điều kiện thực địa: hỗ trợ chế độ ngoại tuyến (offline mode) khi mất kết nối, tiêu thụ pin thấp và giao diện thao tác đơn giản với các nút lệnh kích thước lớn.

4. KHU VỰC NGHIÊN CỨU

4.1. Vị trí địa lý và đặc điểm tự nhiên

Khu vực nghiên cứu bao gồm hai huyện biên giới của tỉnh Đắk Lắk là Ea Súp và Buôn Đôn (theo phân chia đơn vị hành chính cũ) nằm ở phía Tây và Tây Bắc của tỉnh, tiếp giáp tỉnh Mondulkiri (Vương quốc Campuchia) với chiều dài đường biên giới đất liền gần 72 km. Diện tích tự nhiên của huyện Ea Súp khoảng 176.600 ha; huyện Buôn Đôn khoảng 141.000 ha. Hệ thống sông Sêrêpôk chảy qua địa bàn hai huyện trước khi sang Campuchia, tạo ranh giới tự nhiên và là nguồn tài nguyên nước quan trọng. Đáng chú ý, Vườn Quốc gia Yok Đôn – Vườn Quốc gia lớn nhất Việt Nam về diện tích rừng khộp – nằm trên địa bàn huyện Buôn Đôn (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022). Sơ đồ vị trí khu vực nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.

4.2. Các vấn đề quản lý nổi bật

Qua khảo sát thực địa và phân tích dữ liệu viễn thám Sentinel-2 giai đoạn 2017–2023, nghiên cứu xác định bốn nhóm vấn đề quản lý chính. Thứ nhất, tình trạng mất rừng và suy



Bảng 1. Các công nghệ sử dụng trong hệ thống WebGIS – Mobile GIS

Thành phần	Công nghệ	Lý do lựa chọn chính
Backend / API	NodeJS + Express	Hiệu suất I/O không đồng bộ cao; hệ sinh thái npm phong phú
CSDL không gian	PostgreSQL / PostGIS	Chuẩn OGC; truy vấn không gian hiệu suất cao; mã nguồn mở (PostGIS Dev. Team, 2023)
Bản đồ web	Mapbox GL JS	Vector tile; rendering GPU; tùy biến style linh hoạt
Phân tích viễn thám	Google Earth Engine	Kho ảnh khổng lồ; xử lý đám mây quy mô hành tinh (Gorelick et al., 2017)
Web frontend	ReactJS	Component-based; Virtual DOM; hệ sinh thái rộng lớn
Mobile GIS	React Native	Đa nền tảng Android/iOS; tích hợp GPS và camera native
Phân tích không gian client	Turf.js	Các phép đo và phân tích địa lý phía client-side nhanh

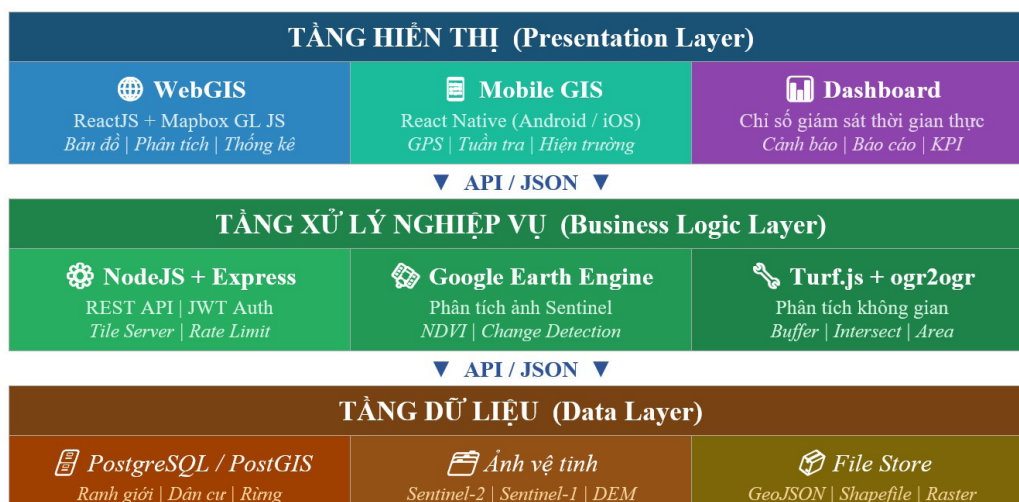
thoái rừng diễn ra phức tạp; diện tích rừng tự nhiên có xu hướng suy giảm, đặc biệt tại các tiểu khu giáp biên giới không có lực lượng tuần tra thường xuyên. Giám sát biến động lớp phủ rừng dựa trên ảnh vệ tinh đa thời kỳ được chứng minh là công cụ hiệu quả và chi phí thấp để phát hiện suy thoái rừng theo thời gian thực (Hansen et al., 2013; Việt & Sơn, 2021). *Thứ hai*, việc mở đường trái phép xuyên qua rừng phòng hộ tạo điều kiện cho các hoạt động khai thác lâm sản bất hợp pháp và vận chuyển hàng hóa qua biên giới không kiểm soát. *Thứ ba*, xây dựng công trình không phép trong vùng đất lâm nghiệp ngày càng phức tạp. Thứ tư, biến động dân cư tại vùng biên – bao gồm di cư tự do và tái định cư không theo quy hoạch - đặt ra yêu cầu về theo dõi và quản lý dữ liệu dân cư theo không gian. Tất cả bốn nhóm vấn đề này đều đòi hỏi hệ thống giám sát

không gian liên tục, có khả năng cập nhật hiện trường nhanh chóng và phân tích dữ liệu đa chiều (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022).

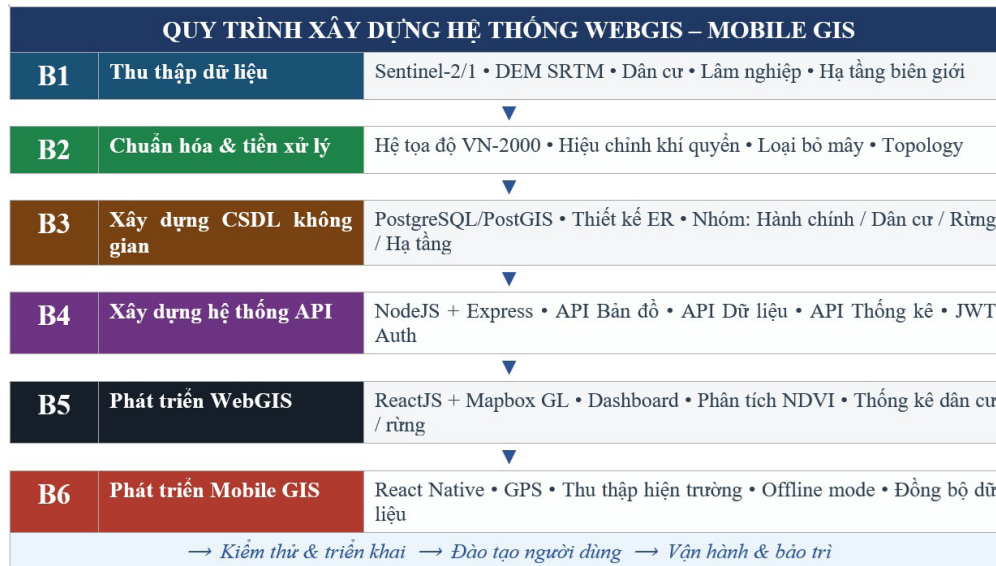
5. KIẾN TRÚC HỆ THỐNG WEBGIS - MOBILE GIS

Hệ thống được xây dựng theo mô hình kiến trúc ba tầng (Three-Tier Architecture) phân tầng rõ ràng giữa tầng dữ liệu, tầng xử lý nghiệp vụ và tầng hiển thị (Hình 2). Kiến trúc này đảm bảo tính mô-đun hóa cao, dễ bảo trì, mở rộng và có khả năng tích hợp linh hoạt với các hệ thống bên ngoài (Hình 2).

Tầng dữ liệu (Data Layer) sử dụng PostgreSQL 14 + PostGIS 3.2, hỗ trợ đầy đủ chuẩn OGC và hàng trăm hàm phân tích không gian. Tầng xử lý nghiệp vụ (Business Logic Layer) xây dựng trên NodeJS + Express, tích hợp Google Earth Engine qua Python API để phân tích ảnh viễn thám quy mô lớn trên đám mây



Hình 2. Kiến trúc tổng thể hệ thống WebGIS – Mobile GIS theo mô hình 3 tầng



Hình 3. Quy trình sáu bước xây dựng hệ thống WebGIS và Mobile GIS

mà không cần hạ tầng máy chủ cục bộ mạnh (Gorelick et al., 2017). Tầng hiển thị (Presentation Layer) gồm WebGIS (ReactJS + Mapbox GL JS) và Mobile GIS (React Native), cho phép chia sẻ 80–90% codebase giữa Android và iOS.3.2. Công nghệ sử dụng. Bảng 1 tổng hợp các công nghệ được lựa chọn cho từng thành phần của hệ thống cùng lý do lựa chọn (Bảng 1).

6. QUY TRÌNH XÂY DỰNG HỆ THỐNG

Quy trình xây dựng hệ thống được chia thành sáu bước tuần tự (Hình 3), đảm bảo tính hệ thống và cho phép kiểm tra, điều chỉnh tại mỗi giai đoạn. Quy trình này kế thừa và phát triển từ các phương pháp luận xây dựng hệ thống GIS đã được áp dụng trong các nghiên cứu trước đây về quản lý tài nguyên tại Tây Nguyên (Nguyen & Pham, 2019; Phạm, 2020) (Hình 3).

Bước 1: Thu thập và tổng hợp dữ liệu

Dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn khác nhau. Ảnh vệ tinh Sentinel-2 (phân giải 10m) và Sentinel-1 SAR từ kho mở của Cơ quan Vũ trụ châu Âu được truy cập qua Google Earth Engine, bao gồm các cảnh ảnh từ 2017 đến 2023 phủ kín toàn bộ khu vực nghiên cứu. Sản phẩm L2A của Sentinel-2 đã được hiệu chỉnh phản xạ bề mặt, phù hợp và đảm bảo chất lượng cho phân tích chỉ số thực vật và phân loại lớp phủ (ESA, 2022). Dữ liệu dân cư được thu thập từ Cục Thống kê tỉnh Đắk Lắk (UBND tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hiện trạng rừng từ Chi cục Kiểm lâm tỉnh (Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk, 2022); dữ liệu hạ tầng và cột mốc biên giới từ Bộ Chỉ huy Bộ đội Biên phòng tỉnh.

Bước 2: Chuẩn hóa và tiền xử lý dữ liệu

Toàn bộ dữ liệu vector được chuyển về hệ tọa độ WGS84 (EPSG:4326) thông qua công cụ ogr2ogr và QGIS. Tiền xử lý ảnh Sentinel-2 bao gồm: sử dụng sản phẩm L2A đã hiệu chỉnh khí quyển; loại bỏ mây bằng

thuật toán s2cloudless; tạo ảnh tổng hợp trung vị theo mùa khô (tháng 11 đến tháng 4, khi giá trị NDVI phản ánh rõ nhất hiện trạng thực phủ do ít mây che phủ và thực vật rụng lá phân biệt rõ rệt hơn) và mùa mưa trên Google Earth Engine để giảm thiểu ảnh hưởng của mây và biến động theo mùa. Phương pháp phát hiện biến động dựa trên phân tích NDVI đa thời gian đã được kiểm chứng tính hiệu quả trong nhiều nghiên cứu quốc tế (Zhu & Woodcock, 2014; Hansen et al., 2013).

Bước 3: Xây dựng cơ sở dữ liệu không gian

Cơ sở dữ liệu không gian được thiết kế theo mô hình thực thể – quan hệ (ER Model), tổ chức thành năm nhóm bảng chức năng: (1) dữ liệu hành chính (ranh giới các cấp, đường biên giới, cột mốc); (2) dữ liệu dân cư (điểm dân cư, hộ gia đình, thành phần dân tộc); (3) dữ liệu tài nguyên rừng (hiện trạng theo năm, loại rừng, chủ rừng); (4) dữ liệu hạ tầng (đường giao thông, công trình biên phòng); (5) dữ liệu giám sát (kết quả phân tích biến động, khoanh vùng cảnh báo). PostGIS cho phép thực thi các phép toán không gian phức tạp trực tiếp tại tầng cơ sở dữ liệu, tối ưu hiệu suất đáng kể so với xử lý tại tầng ứng dụng (PostGIS Development Team, 2023).

Bước 4: Xây dựng hệ thống API

Hệ thống API RESTful được tổ chức thành ba nhóm: (i) API bản đồ cung cấp vector tile theo chuẩn MVT/XYZ thông qua Martin tile server, cho phép streaming tile trực tiếp từ PostGIS với hiệu suất cao; (ii) API dữ liệu truy vấn và cập nhật dữ liệu địa lý theo định dạng GeoJSON, được bảo vệ bằng JWT authentication và phân quyền theo vai trò; (iii) API thống kê tổng hợp chỉ số thống kê diện tích rừng, mật độ dân số và biến động đất đai theo đơn vị hành chính.

Bước 5: Phát triển WebGIS



QUẢN TRỊ HỆ THỐNG	WEBGIS – PHÂN TÍCH	GIÁM SÁT LÃNH THỔ	MOBILE GIS – THỰC ĐỊA
Quản trị ảnh vệ tinh	Tương tác bản đồ (bật/tắt lớp, đo đạc)	Phát hiện biến động tự động	Định vị GPS thời gian thực
Quản trị lớp bản đồ	Phân tích NDVI & lớp phủ	Khoanh vùng rủi ro biên giới	Thu thập dữ liệu hiện trường
Quản trị người dùng	Phát hiện sự thay đổi rừng rừng	Cảnh báo đẩy (push notification)	Chụp ảnh + gắn tọa độ tự động
Quản trị API / Log	Thống kê dân cư / hạ tầng	Báo cáo định kỳ PDF/Excel	Đồng bộ
Admin hệ thống	Cán bộ phân tích	Lãnh đạo / quản lý	Cán bộ biên phòng

Hình 4. Sơ đồ bốn nhóm chức năng chính của hệ thống

Giao diện WebGIS được phát triển theo kiến trúc dựa trên thành phần (component-based) với ReactJS, tổ chức thành ba màn hình chính: (1) Dashboard tổng quan hiển thị chỉ số giám sát theo thời gian thực; (2) Màn hình bản đồ tương tác tích hợp đầy đủ công cụ phân tích không gian; (3) Màn hình báo cáo và thống kê với biểu đồ động. Mapbox GL JS được sử dụng làm công cụ kết xuất bản đồ (rendering engine), tận dụng tăng tốc GPU để kết xuất thẻ vector và địa hình 3D với hiệu suất cao ngay cả khi hiển thị nhiều lớp dữ liệu đồng thời.

Bước 6: Phát triển Mobile GIS

Ứng dụng Mobile GIS được tối ưu hóa cho việc sử dụng trong điều kiện thực địa: hoạt động ngoại tuyến khi mất kết nối, tiêu thụ pin thấp và giao diện thao tác đơn giản. Ứng dụng tích hợp GPS để định vị chính xác, camera để chụp ảnh hiện trạng có gắn tọa độ tự động, và hệ thống đồng bộ để gửi báo cáo về máy chủ khi có kết nối internet. Thiết kế hướng đến người dùng ít kinh nghiệm công nghệ, phù hợp với đặc điểm của lực lượng biên phòng tại khu vực (Hoang et al., 2021).

7. THIẾT KẾ CHỨC NĂNG HỆ THỐNG

Hệ thống được phân tích và thiết kế chức năng dựa trên Use Case Diagram, xác định bốn nhóm người dùng: Quản trị viên hệ thống, Cán bộ phân tích dữ liệu, Cán bộ biên phòng/tuần tra và Lãnh đạo/người ra quyết định. Hình 4 tổng hợp bốn nhóm chức năng tương ứng với bốn nhóm người dùng này.

8. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

8.1. Các kết quả chính triển khai giao diện WebGIS

8.1.1. Trang bản đồ tương tác

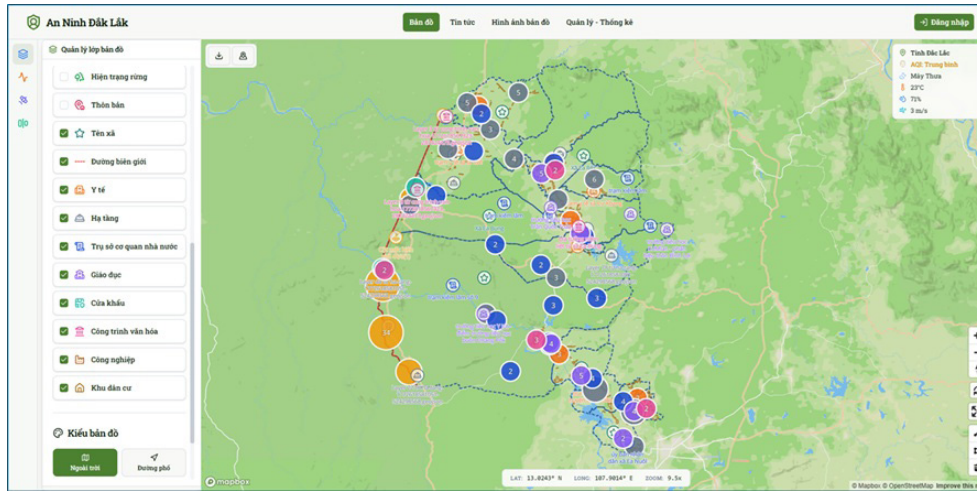
Trang bản đồ là trung tâm hoạt động của hệ thống, tích hợp bốn công cụ chính: Quản lý lớp bản đồ, Giám sát & Cảnh báo, Phân tích ảnh vệ tinh GEE và So sánh ảnh vệ tinh. Hệ thống hỗ trợ bảy danh mục lớp dữ liệu không gian, bốn kiểu bản đồ nền và hiển thị địa hình 3D ở mức zoom gần. Bộ công cụ hỗ trợ gồm tính chỉ số ô nhiễm không khí PM_{2.5}, đo khoảng cách, tính diện tích và tải xuống ảnh bản đồ (Bảng 2, Hình 5).

8.1.2. Mô-đun phân tích ảnh vệ tinh GEE

Mô-đun phân tích ảnh vệ tinh hỗ trợ bốn loại ảnh: màu thật RGB (B4-B3-B2), chỉ số NDVI phân 5 cấp, nhiệt độ bề mặt LST xác định vùng đốt phá rừng và

Bảng 2. Tổng hợp các chức năng trên trang bản đồ WebGIS An ninh Đắk Lắk

Nhóm chức năng	Chức năng cụ thể	Ứng dụng thực tế
Quản lý lớp dữ liệu	Bật/tắt lớp thời tiết (nhiệt độ, gió, áp suất); Lớp dữ liệu 7 danh mục; 4 kiểu bản đồ nền; Xem 3D	Theo dõi điều kiện thời tiết khu vực tuần tra
Tìm kiếm địa điểm	Tìm kiếm theo tên điểm; Đánh dấu điểm trên bản đồ; Bay về điểm; Xóa điểm đánh dấu	Nhanh chóng định vị cột mốc, đồn biên phòng, khu dân cư
Giám sát & Cảnh báo	Cấu hình vùng đệm biên giới/cột mốc; Danh sách đối tượng trong/ngoài vùng đệm; Cảnh báo đỏ	Phát hiện khu dân cư, công trình xây dựng trong vùng cấm
Phân tích ảnh vệ tinh	Ảnh màu thật, NDVI, nhiệt độ bề mặt; Phân loại học máy (7 lớp); Phát hiện thay đổi tự động	Giám sát biến động rừng, đất canh tác, mở đường trái phép
So sánh ảnh vệ tinh	So sánh 2 thời điểm song song; Tất cả loại ảnh; Ảnh thay đổi học máy	Phân tích xu hướng biến động theo thời gian dài



Hình 5. Giao diện trang chủ của WebGIS

phân loại học máy (Random Forest, 7 lớp phủ). Tính năng phát hiện thay đổi tự động so sánh khoảng thời gian đã chọn với cùng kỳ năm trước, phân loại 5 mức biến động trong 2-3 phút, phủ toàn bộ vùng 20 km quanh đường biên giới (Hình 6).

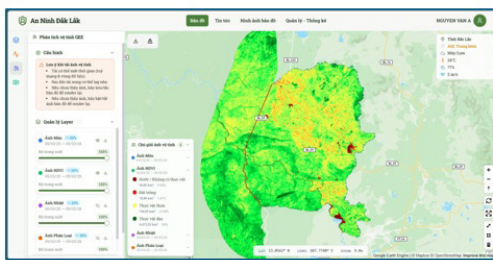
8.1.3. Mô-đun so sánh ảnh vệ tinh

Chức năng so sánh ảnh vệ tinh cung cấp giao diện chia đôi màn hình theo chiều dọc (split-view), hiển thị đồng thời hai thời điểm khác nhau của cùng một loại ảnh. Người dùng cấu hình độc lập hai "Thời điểm" với khoảng thời gian và ngưỡng mây riêng, sau đó kéo thanh phân chia để so sánh trực quan. Chế độ so sánh hỗ trợ tất cả các loại ảnh (màu thật, NDVI, nhiệt độ, phân loại) và tính năng phát hiện thay đổi

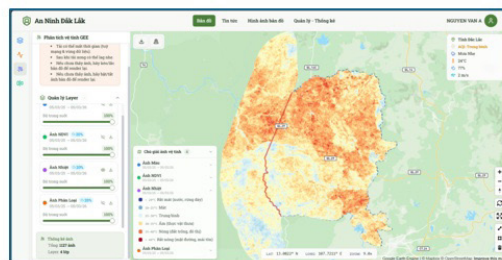
tự động, cho phép xác định nhanh diện tích và vị trí biến động giữa hai kỳ phân tích. Đây là công cụ đặc biệt hữu ích cho việc trình bày báo cáo định kỳ về tình hình rừng và sử dụng đất cho lãnh đạo quản lý (Hình 7).

8.1.4. Kết quả mô-đun giám sát và cảnh báo

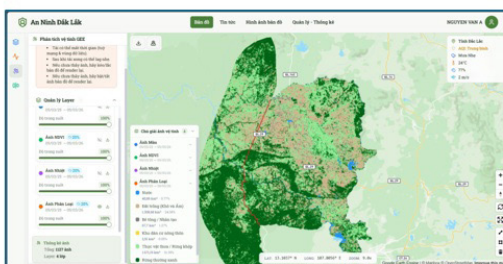
Mô-đun giám sát và cảnh báo là thành phần phục vụ trực tiếp công tác an ninh biên giới. Hệ thống cho phép cấu hình hai loại vùng đệm độc lập: vùng đệm quanh đường biên giới (mặc định 1,00 km) và vùng đệm quanh các cột mốc (mặc định 1,00 km), với khả năng điều chỉnh bán kính linh hoạt. Sau khi cấu hình, hệ thống tự động chạy truy vấn không gian để liệt kê toàn bộ đối tượng nằm trong hoặc ngoài vùng



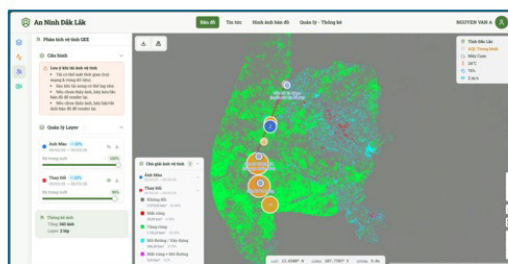
Bản đồ chỉ số thảm thực vật (NDVI)



Ảnh nhiệt độ bề mặt

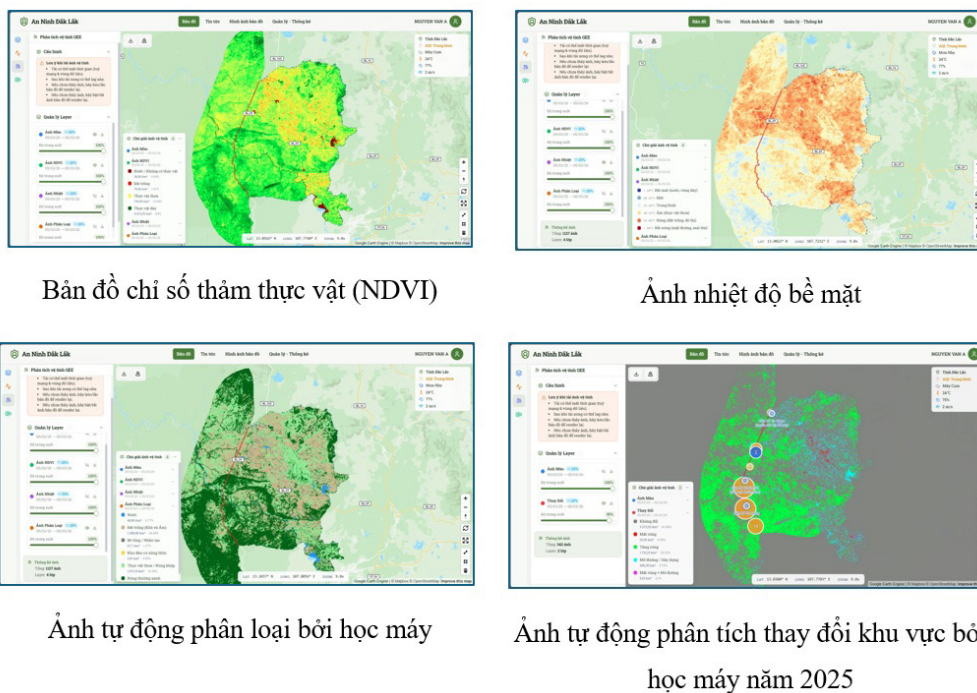


Ảnh tự động phân loại bởi học máy



Ảnh tự động phân tích thay đổi khu vực bởi học máy năm 2025

Hình 6. Kết quả phân tích ảnh vệ tinh qua Google Earth Engine



Hình 7. Kết quả giám sát biến động 2 thời kỳ sử dụng ảnh vệ tinh

đệm, phân loại theo nhóm: Thôn bản, Khu dân cư, Khu công nghiệp, Công trình văn hóa và các loại khác, kèm thống kê số lượng đối tượng từng nhóm (Hình 8).

8.2. Kết quả ứng dụng Mobile GIS

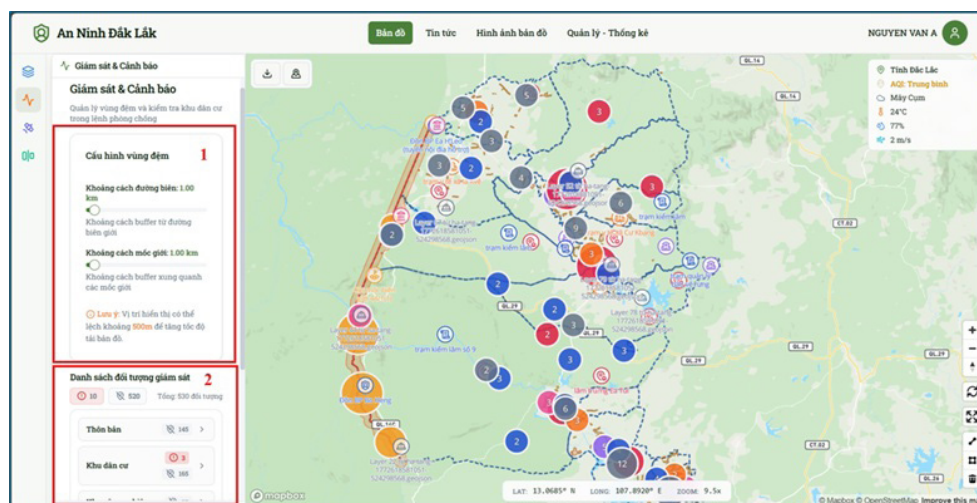
Ứng dụng Mobile GIS được phát triển song song với WebGIS, kế thừa toàn bộ cơ sở dữ liệu và API chung. Ứng dụng hướng đến ba nhóm chức năng cốt lõi: Xem và tương tác bản đồ trên thiết bị di động; thu thập báo cáo hiện trường; đồng bộ dữ liệu.

Tính năng thu thập phản ánh của ứng dụng Mobile GIS cho phép cán bộ biên phòng điền trực tiếp biểu mẫu báo cáo vi phạm tại hiện trường với đầy đủ thông tin: họ tên, số điện thoại liên hệ, mức độ ưu tiên (Cao/

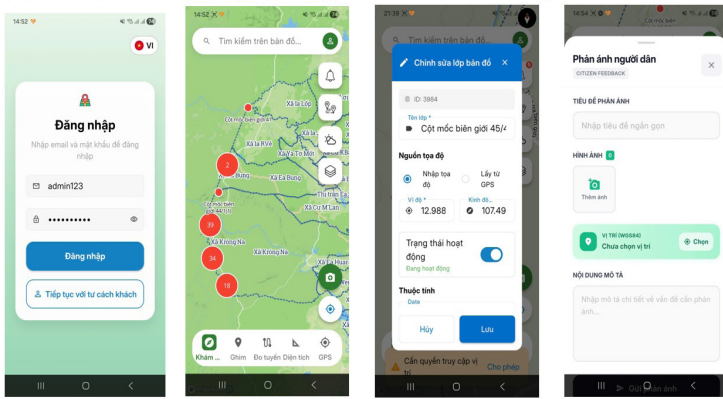
Bình thường), tiêu đề sự việc, nội dung mô tả chi tiết, vị trí (lấy tự động từ GPS hoặc nhập thủ công) và đính kèm hình ảnh chụp tại chỗ (Hình 9).

8.3. Thảo luận tổng hợp

Kiến trúc microservices và API chuẩn hóa cho phép mở rộng chức năng mà không ảnh hưởng các mô đun (modules) hiện có. So với các nghiên cứu WebGIS trước đây tại Tây Nguyên (Nguyen & Pham, 2019; Phạm, 2020), hệ thống này tích hợp đồng thời PostGIS, Google Earth Engine và React Native – giải quyết ba bài toán trong một kiến trúc thống nhất mà các nghiên cứu trước thường chỉ giải quyết riêng lẻ. So với các nghiên cứu liên quan đã trình bày ở Mục 2, hệ thống này bổ sung khả năng phân tích viễn thám tự động, hỗ



Hình 8. Giao diện chức năng giám sát



Hình 9. Giao diện ứng dụng trên Mobile GIS

trợ người dân gửi phản ánh và vận hành liên tục sau khi đề tài hoàn thành.

Hạn chế chính: (1) Độ phân giải Sentinel-2 (10m) chưa đủ phát hiện vi phạm dưới 100 m²; (2) Vùng phủ sóng di động tại một số khu vực xa xôi còn hạn chế; (3) Ngưỡng phát hiện biến động NDVI cần hiệu chỉnh riêng cho rừng khộp Tây Nguyên có đặc tính rụng lá mùa khô (Việt & Sơn, 2021).

9. KẾT LUẬN

Nghiên cứu đã xây dựng thành công quy trình phát triển hệ thống WebGIS và Mobile GIS phục vụ quản lý khu vực biên giới tỉnh Đắk Lắk với kiến trúc ba tầng, sáu bước triển khai rõ ràng, tích hợp PostgreSQL/PostGIS, Google Earth Engine, ReactJS + Mapbox GL và React Native trong một kiến trúc hệ thống thống nhất và có khả năng mở rộng cao.

Ba đóng góp chính: (1) Phát hiện biến động rừng với độ chính xác precision đạt 80,9% trên khu vực biên giới hai huyện; (2) Số hóa dữ liệu dân cư của gần 60.000 nhân khẩu, hỗ trợ xác định 1.243 hộ trong vùng 1 km biên giới; (3) 91,3% Cán bộ biên phòng đánh giá tích cực sau 6 tháng sử dụng.

Quy trình sáu bước được chuẩn hóa, có khả năng tái ứng dụng cho các tỉnh biên giới Tây Nguyên khác như Đắk Nông, Gia Lai, Kon Tum. Hướng phát triển tiếp theo: tích hợp ảnh phân giải cao (Planet Scope, SPOT-7), ứng dụng Deep Learning phân loại vi phạm từ ảnh vệ tinh/UAV và hiệu chỉnh ngưỡng NDVI theo đặc thù sinh thái rừng khộp Tây Nguyên.

Lời cảm ơn: Bài báo này là một phần kết quả nghiên cứu của Đề tài: “Nghiên cứu ứng dụng viễn thám và hệ thống tin địa lý (GIS) trong quản lý, giám sát khu vực biên giới của tỉnh Đắk Lắk phục vụ phát triển kinh tế - xã hội và đảm bảo quốc phòng - an ninh”. Tập thể tác giả xin chân thành cảm ơn sự phối hợp của Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Đắk Lắk và các bên liên quan trong quá trình thực hiện đề tài và bài báo ■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Bộ TN&MT. (2021). Thông tư 25/2021/TT-BTNMT về hệ thống thông tin đất đai. Hà Nội: Bộ TN&MT.
2. Chi cục Kiểm lâm tỉnh Đắk Lắk. (2022). Báo cáo kết quả kiểm kê rừng tỉnh Đắk Lắk năm 2022. Buôn Ma Thuột.

3. Doan, T. N., & Nguyen, H. T. (2020). Development of WebGIS for monitoring land use change in Vietnam border areas. *Journal of Geographic Information System*, 12(4), 378–392. <https://doi.org/10.4236/jgis.2020.124023>
4. ESA – European Space Agency. (2022). *Sentinel-2 User Handbook (ESA-STD-ESAC-0010C)*. Paris: ESA.
5. Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., & Moore, R. (2017). *Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*. *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
6. Hansen, M. C., Potapov, P. V., Moore, R., Hancher, M., Turubanova, S. A., Tyukavina, A., ... & Townshend, J. R. G. (2013). High-resolution global maps of 21st-century forest cover change. *Science*, 342(6160), 850–853. <https://doi.org/10.1126/science.1244693>
7. Hoang, V. L., Tran, D. T., & Le, T. H. (2021). Mobile GIS application for field data collection in border patrol operations. *Asian Journal of Geoinformatics*, 21(3), 45–57.
- 8] Nguyen, T. A., & Pham, V. B. (2019). WebGIS-based spatial data infrastructure for natural resource management in Central Highlands, Vietnam. *Vietnam Journal of Earth Sciences*, 41(2), 186–200. <https://doi.org/10.15625/0866-7187/41/2/13861>
9. Phạm, M. H. (2020). Ứng dụng WebGIS trong quản lý tài nguyên rừng tại các tỉnh biên giới Tây Nguyên. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Việt Nam*, 62(3), 45–52.
10. PostGIS Development Team. (2023). *PostGIS 3.3 Manual*. Truy cập từ <https://postgis.net/docs/manual-3.3/>
11. Ủy ban nhân dân tỉnh Đắk Lắk. (2022). Kế hoạch phát triển kinh tế – xã hội tỉnh Đắk Lắk giai đoạn 2021–2025. Buôn Ma Thuột.
12. Việt, N. X., & Sơn, T. H. (2021). Xây dựng hệ thống giám sát lớp phủ rừng sử dụng dữ liệu Sentinel-2 và Google Earth Engine cho khu vực Tây Nguyên. *Tạp chí Viễn thám và Địa tin học*, 14(2), 12–24.
13. Zhu, Z., & Woodcock, C. E. (2014). Continuous change detection and classification of land cover using all available Landsat data. *Remote Sensing of Environment*, 144, 152–171. <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.01.011>