



Ứng dụng viễn thám và công nghệ GIS trong xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống giao thông: Nghiên cứu trường hợp tại tỉnh Sơn La, Việt Nam

Đào Đình Cham¹, Nguyễn Thanh Bình^{1*}, Nguyễn Ngọc Thăng¹, Ngô Đức Anh²

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

²Trung tâm Vũ trụ Việt Nam, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

Email tác giả liên hệ: thanhbinhhdtl@gmail.com

DOI: 10.5281/zenodo.15205298

Tóm tắt:

Việc xây dựng cơ sở dữ liệu (CSDL) hệ thống giao thông đóng vai trò quan trọng trong quản lý và quy hoạch phát triển hạ tầng giao thông, đặc biệt ở khu vực miền núi, nơi có địa hình phức tạp như tỉnh Sơn La. Nghiên cứu này ứng dụng ảnh viễn thám (Sentinel-2, Landsat-8 và ảnh quang học độ phân giải cao) kết hợp Hệ thống thông tin địa lý (GIS) để xây dựng CSDL hệ thống giao thông cho khu vực nghiên cứu. Thông qua các bước tiền xử lý ảnh, phân loại có giám sát và trích xuất thông tin không gian, hệ thống CSDL gồm các lớp: đường giao thông, cầu – hầm, và điểm giao thông trọng yếu đã được thiết lập. Kết quả so sánh với dữ liệu thực địa cho thấy độ chính xác đạt 89%, trong đó lớp đường giao thông đạt 91,3%. Kết quả nghiên cứu cho thấy, hệ thống CSDL GIS có khả năng cung cấp thông tin chi tiết về mạng lưới giao thông, hỗ trợ đánh giá và quy hoạch hệ thống đường bộ tại các khu vực miền núi.

Từ khóa: Viễn thám, GIS, cơ sở dữ liệu giao thông, quản lý hạ tầng giao thông, Sơn La.

Ngày nhận bài: 14/03/2025 Ngày sửa lại: 28/03/2025 Ngày chấp nhận đăng: 31/03/2025 Ngày xuất bản: 14/04/2025

Application of Remote Sensing and GIS Technologies in Developing a Road Transportation Database: A Case Study in Son La Province, Vietnam

Dao Dinh Cham¹, Nguyen Thanh Binh^{1*}, Nguyen Ngoc Thang¹, Ngo Duc Anh²

¹Institute of Earth Sciences, Viet Nam Academy of Science and Technology

²Vietnam National Space Center, Viet Nam Academy of Science and Technology

Corresponding Author Email: thanhbinhhdtl@gmail.com

Abstract:

The development of a road transportation database plays a crucial role in infrastructure management and planning, especially in mountainous areas with complex terrain such as Son La province. This study integrates remote sensing imagery (Sentinel-2, Landsat-8, and high-resolution satellite images) with GIS technology to build a comprehensive transportation database for the entire study area. Through image preprocessing, supervised classification, and spatial information extraction, the GIS database was constructed with key data layers: road networks, bridges and tunnels, and major traffic nodes. Validation against field survey data shows an overall accuracy of 89%, with the road network layer reaching 91.3%. The results demonstrate that, the GIS-based transportation database can provide detailed information on road infrastructure, supporting evaluation and planning efforts in mountainous regions.

Keywords: Remote sensing, GIS, transportation database, infrastructure management, Son La.

Submission received: 14/03/2025

Revised: 28/03/2025

Accepted: 31/03/2025

Published: 14/04/2025

1. Giới thiệu

Hệ thống giao thông đóng vai trò quan trọng trong phát triển kinh tế - xã hội, đặc biệt là tại các khu vực miền núi như tỉnh Sơn La, nơi địa hình phức tạp gây ra nhiều thách thức trong công tác quy hoạch và quản lý. Việc xây dựng một cơ sở dữ liệu (CSDL) giao thông chính xác và cập nhật không chỉ hỗ trợ việc ra quyết định mà còn giúp tối ưu hóa phát triển hạ tầng, nâng cao chất lượng dịch vụ giao thông.

Trong bối cảnh đó, công nghệ viễn thám và Hệ thống thông tin Địa lý (GIS) đã chứng minh hiệu quả trong việc thu thập, phân tích và quản lý dữ liệu giao thông. Viễn thám cho phép thu nhận dữ liệu nhanh chóng trên diện rộng, trong khi GIS cung cấp nền tảng để lưu trữ, trực quan hóa và phân tích không gian. Các nghiên cứu trước đây trên thế giới đã áp dụng



thành công công nghệ viễn thám và GIS để xây dựng và cập nhật CSDL giao thông, nhưng tại Việt Nam, nhất là ở khu vực miền núi, ứng dụng này còn ít được sử dụng.

Nhiều nghiên cứu đã tập trung vào việc ứng dụng viễn thám và GIS trong quản lý và xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống đường giao thông. Chẳng hạn, nghiên cứu của Kurniawan et al. (2020) [6] đã sử dụng ảnh Sentinel-2 và phương pháp phân loại học máy (machine learning) để tự động nhận dạng hệ thống đường giao thông ở các khu vực đô thị của Indonesia, giúp nâng cao độ chính xác so với các phương pháp truyền thống. Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng việc kết hợp giữa viễn thám và thuật toán AI (Artificial Intelligence) có thể cải thiện độ chính xác trong nhận dạng đường lên đến 85%.

Tại Việt Nam, nghiên cứu của Nguyễn Văn Hùng và cộng sự (2021) [8] đã ứng dụng ảnh UAV (Unmanned Aerial Vehicle) kết hợp với dữ liệu GIS để cập nhật hệ thống đường giao thông tại tỉnh Quảng Nam. Kết quả nghiên cứu cho thấy UAV có thể cung cấp dữ liệu ảnh có độ phân giải cao, giúp nâng cao chất lượng bản đồ giao thông và hỗ trợ công tác quy hoạch hạ tầng một cách hiệu quả. Tuy nhiên, nghiên cứu này cũng chỉ ra rằng việc ứng dụng UAV trên diện rộng còn gặp nhiều khó khăn do hạn chế về điều kiện thời tiết và chi phí triển khai.

Bên cạnh đó, tại Trung Quốc nghiên cứu của Chen et al. (2019) [1] đã sử dụng dữ liệu viễn thám đa thời gian để theo dõi sự thay đổi của hệ thống đường giao thông trong quá trình đô thị hóa. Nghiên cứu này nhấn mạnh tầm quan trọng của việc kết hợp dữ liệu ảnh vệ tinh với GIS để theo dõi sự mở rộng của mạng lưới giao thông đường bộ và đánh giá tác động của nó đến môi trường và phát triển đô thị.

Do đó, nhóm tác giả thực hiện nghiên cứu này nhằm ứng dụng công nghệ viễn thám và GIS để xây dựng CSDL hệ thống đường giao thông tại tỉnh Sơn La. Cụ thể, nghiên cứu tập trung vào các mục tiêu ứng dụng viễn thám để thu thập và cập nhật dữ liệu về hệ thống đường giao thông. Từ đó xây dựng và tích hợp dữ liệu giao thông vào GIS để hỗ trợ quy hoạch và quản lý kết hợp đánh giá độ chính xác và khả năng ứng dụng của CSDL GIS trong thực tế.

Nghiên cứu này không chỉ góp phần cung cấp nguồn dữ liệu giao thông có độ tin cậy cao mà còn mở ra hướng đi mới trong ứng dụng công nghệ số vào quản lý giao thông ở khu vực miền núi Việt Nam.

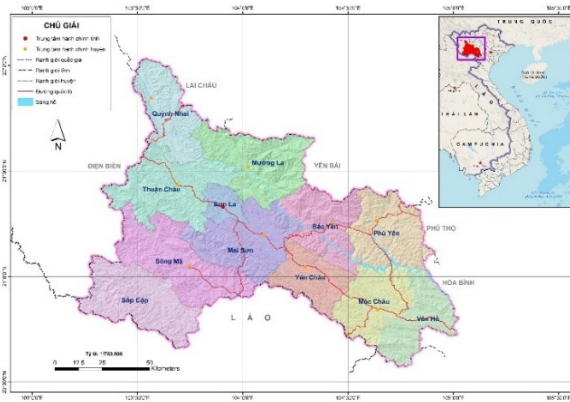
2. Phương pháp nghiên cứu

2.1 Khu vực nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu được lựa chọn là tỉnh Sơn La, nằm ở vùng Tây Bắc Việt Nam, với vị trí địa lý từ 20°39' đến 22°02' vĩ độ Bắc và từ 103°11' đến 105°02' kinh độ Đông. Sơn La có diện tích khoảng 14.125 km², tiếp giáp với các tỉnh: Điện Biên, Lai Châu, Yên Bái, Phú Thọ, Hòa Bình, Thanh Hóa và có đường biên giới dài 250 km giáp với Lào (Hình 1).

Hệ thống đường giao thông của tỉnh Sơn La bao gồm các tuyến quốc lộ quan trọng như Quốc lộ 6, 37, 279, cùng với mạng lưới đường tỉnh, đường huyện và đường giao

thông nông thôn. Địa hình chủ yếu là đồi núi với độ cao trung bình 600-700 m so với mực nước biển, gây nhiều thách thức cho công tác xây dựng và quản lý hệ thống đường giao thông. Đặc biệt, điều kiện thời tiết và lượng mưa lớn trong mùa mưa có thể ảnh hưởng đến sự ổn định của cơ sở hạ tầng giao thông.



Hình 1: Khu vực nghiên cứu tại tỉnh Sơn La, Việt Nam

Việc ứng dụng viễn thám và công nghệ GIS trong xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống đường giao thông tại Sơn La giúp cải thiện công tác quy hoạch, quản lý và bảo trì mạng lưới giao thông. Thông tin không gian thu nhận từ ảnh viễn thám kết hợp với dữ liệu hiện có sẽ hỗ trợ đánh giá hiện trạng giao thông, phát hiện các tuyến đường ảnh hưởng bởi sạt lở, xói mòn,

đồng thời giúp tối ưu hóa việc mở rộng và nâng cấp hạ tầng giao thông trong tương lai.

2.2. Dữ liệu sử dụng

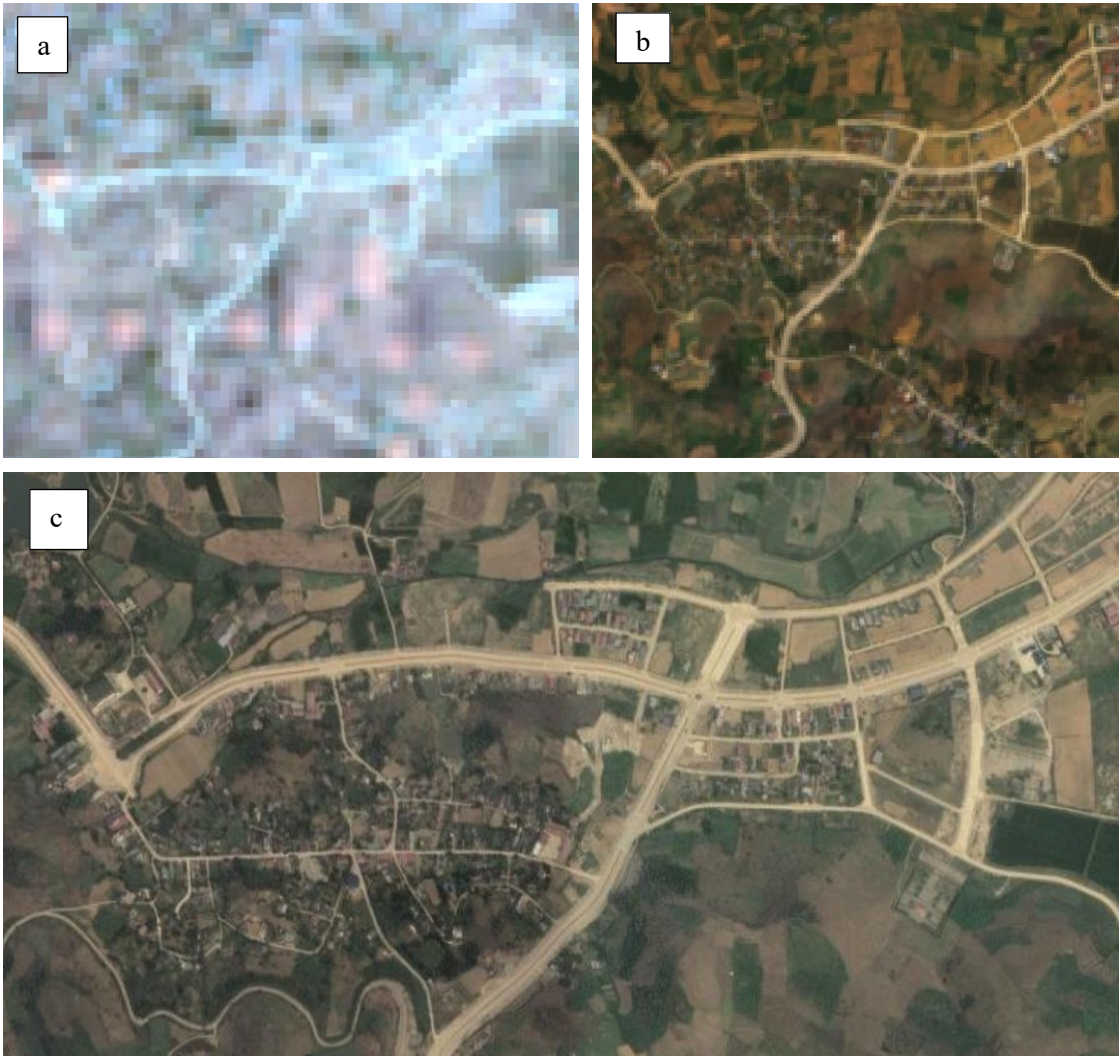
Nghiên cứu sử dụng nhiều nguồn dữ liệu khác nhau nhằm đảm bảo độ chính xác và tính toàn diện trong việc xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống đường giao thông tại tỉnh Sơn La. Các dữ liệu được chia thành bốn nhóm chính: ảnh viễn thám, dữ liệu bản đồ nền, dữ liệu GPS thực địa và dữ liệu hành chính (Bảng 1).

Bảng 1. Danh mục dữ liệu sử dụng trong nghiên cứu

Loại dữ liệu	Nguồn dữ liệu	Mục đích sử dụng
Ảnh viễn thám	Sentinel-2 (10m), Landsat-8 (30m)	Nhận dạng và phân tích tổng quan mạng lưới đường giao thông
	Ảnh quang học độ phân giải cao	Cập nhật chi tiết hệ thống đường tại các khu vực trọng điểm
Dữ liệu bản đồ nền	Google Maps, OpenStreetMap, bản đồ địa chính	Đối chiếu, tham chiếu trong quá trình xử lý dữ liệu
Dữ liệu GPS	Khảo sát thực địa bằng thiết bị GPS cầm tay	Kiểm chứng, hiệu chỉnh dữ liệu viễn thám
Dữ liệu hành chính	Ranh giới tỉnh Sơn La và các huyện trực thuộc	Phân vùng nghiên cứu, quản lý dữ liệu không gian

Ảnh Sentinel-2 - độ phân giải 10m (được thu thập từ Cơ quan Vũ trụ châu Âu (ESA) thông qua nền tảng Copernicus Open Access Hub (<https://scihub.copernicus.eu>)) và Landsat-8 - độ phân giải 30m (Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ (USGS), tải từ EarthExplorer (<https://earthexplorer.usgs.gov>)) được sử dụng để thu thập thông tin về mạng lưới giao thông trên toàn tỉnh Sơn La. Sentinel-2 có ưu thế về tần suất chụp cao (5 ngày/lần), giúp theo dõi sự thay đổi của hệ thống đường theo thời gian. Landsat-8 cung cấp chuỗi dữ liệu dài hạn, hỗ trợ phân tích xu hướng phát triển của hệ thống đường giao thông.

Ngoài ra, ảnh viễn thám độ phân giải cao (SPOT 6/7, VNREDSat-1, Maxar) được sử dụng tại các khu vực trọng điểm nhằm tăng cường độ chính xác trong việc nhận diện và cập nhật hệ thống đường (Hình 2) minh họa sự khác biệt về độ phân giải giữa ảnh Landsat-8, Sentinel-2 và ảnh độ phân giải cao, cho thấy mức độ chi tiết mà mỗi loại ảnh có thể cung cấp.



Hình 2: Hình minh họa chụp từ các khu vực đường giao thông tại Sơn La, so sánh ba loại ảnh Landsat-8 (a), Sentinel-2 (b) và ảnh viễn thám độ phân giải cao (c)

Các bản đồ nền từ Google Maps, OpenStreetMap và bản đồ địa chính được sử dụng để hỗ trợ quá trình đối chiếu và kiểm tra tính chính xác của dữ liệu đường giao thông trích xuất từ ảnh viễn thám. Dữ liệu OpenStreetMap đặc biệt hữu ích trong việc xác định vị trí và các thuộc tính của đường giao thông, trong khi bản đồ địa chính cung cấp thông tin chi tiết về hệ thống giao thông chính thức.

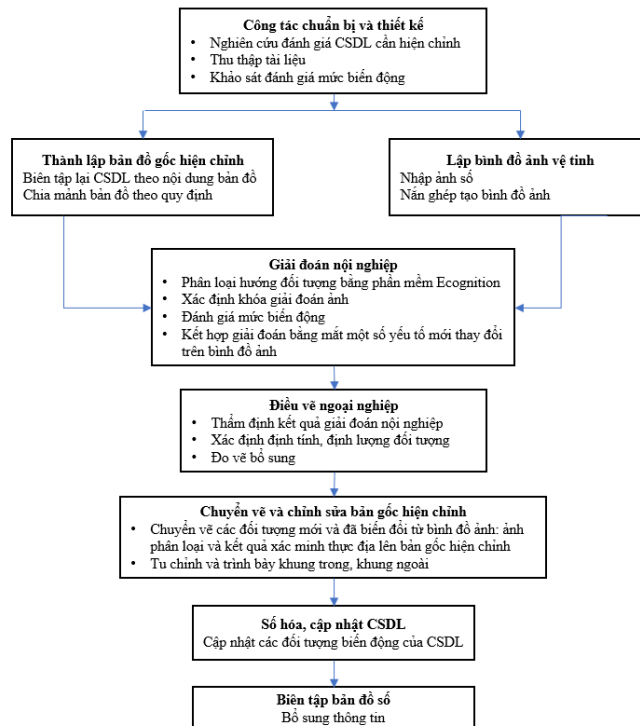
Khảo sát thực địa được tiến hành bằng thiết bị GPS cầm tay để thu thập dữ liệu tọa độ của hệ thống đường giao thông tại một số khu vực điển hình. Dữ liệu này giúp kiểm chứng và hiệu chỉnh kết quả trích xuất từ ảnh viễn thám, đảm bảo độ chính xác của hệ

thống đường trong cơ sở dữ liệu GIS.

Ngoài ra, dữ liệu về ranh giới hành chính của tỉnh Sơn La và các huyện trực thuộc được sử dụng để phân vùng nghiên cứu, hỗ trợ công tác tổ chức và quản lý dữ liệu không gian. Dữ liệu này cũng giúp xác định khu vực trọng điểm cần ưu tiên trong quá trình xây dựng cơ sở dữ liệu giao thông.

2.3. Phương pháp xây dựng CSDL GIS giao thông

Việc xây dựng cơ sở dữ liệu hệ thống đường giao thông sử dụng ảnh viễn thám và công nghệ GIS được thể hiện trong (Hình 3) bao gồm các bước chính: tiền xử lý dữ liệu viễn thám, trích xuất và cập nhật dữ liệu giao thông, tích hợp vào GIS, và phân tích đánh giá.



Hình 3. Sơ đồ quy trình công nghệ xây dựng CSDL giao thông bằng ảnh vệ tinh và GIS

2.3.1. Tiền xử lý dữ liệu viễn thám

Dữ liệu ảnh viễn thám Sentinel-2 (độ phân giải 10 m), Landsat-8 (độ phân giải 30 m) và ảnh độ phân giải cao được hiệu chỉnh hình học để đảm bảo tính chính xác về không gian. Hiệu chỉnh hình học được thực hiện bằng phương pháp **Georeferencing**, sử dụng các điểm không chế mặt đất (Ground Control Points - GCPs) kết hợp với mô hình số độ cao (Digital Elevation Model - DEM). Quá trình hiệu chỉnh hình học tuân theo phương trình biến đổi đa thức bậc hai:

$$x' = a_0 + a_1x + a_2y + a_3xy + a_4x^2 + a_5y^2 \quad (1)$$

$$y' = b_0 + b_1x + b_2y + b_3xy + b_4x^2 + b_5y^2 \quad (2)$$

Trong đó:

- x, y là tọa độ gốc của điểm ảnh,



- x', y' là tọa độ sau hiệu chỉnh,
- $a_0, a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$ và $b_0, b_1, b_2, b_3, b_4, b_5$ là các hệ số của phương trình biến đổi.

Sau hiệu chỉnh hình học, ảnh viễn thám được phân loại bằng phương pháp **phân loại có giám sát (Supervised Classification)**, cụ thể là thuật toán Maximum Likelihood Classification (MLC). Các lớp đối tượng chính bao gồm: đường giao thông, khu dân cư, đất trống, mặt nước và rừng. Kết quả phân loại được tinh chỉnh bằng bộ lọc hình thái học để đảm bảo tính liên tục của hệ thống đường giao thông. Phương trình xác suất hậu nghiệm của lớp i cho một điểm ảnh có giá trị phổ X được tính như sau:

$$P(i|X) = \frac{P((X|i)P(i)}{P(X)} \quad (3)$$

Trong đó:

- $P(i|X)$ là xác suất điểm ảnh thuộc lớp i sau khi quan sát X ,
- $P((X|i)$ là xác suất có điều kiện của X khi biết lớp i ,
- $P(i)$ là xác suất tiên nghiệm của lớp i ,
- $P(X)$ là xác suất biên của tất cả các lớp.

Sau khi phân loại, lớp đường giao thông được tinh chỉnh bằng bộ lọc hình thái học (Morphological Filtering) để loại bỏ nhiễu và cải thiện tính liên tục của đường giao thông.

2.3.2. Trích xuất và cập nhật dữ liệu giao thông

Dữ liệu giao thông được trích xuất từ ảnh viễn thám thông qua thuật toán phát hiện đường giao thông (Road Extraction Algorithm). Phương pháp này sử dụng kỹ thuật **Canny Edge Detection** kết hợp với **Skeletonization** để xác định các tuyến đường chính. Công thức tính toán bộ lọc Sobel trong phát hiện biên được áp dụng như sau:

$$G = \sqrt{G_x^2 + G_y^2} \quad (4)$$

$$G_x = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix} * I, G_y = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad (5)$$

trong đó:

- G_x, G_y là đạo hàm theo hướng ngang và dọc,
- G là độ lớn gradient biểu thị sự thay đổi cường độ ảnh,
- I là ảnh đầu vào.

Kết quả trích xuất được so sánh với dữ liệu đường giao thông từ **Google Maps, OpenStreetMap** và dữ liệu khảo sát thực địa bằng GPS để cập nhật và chỉnh sửa sai lệch.

2.3.3. Tích hợp dữ liệu vào GIS

Sau khi trích xuất và cập nhật, dữ liệu đường giao thông được chuyển đổi vào hệ thống GIS để xây dựng mô hình dữ liệu không gian. Trong nghiên cứu này, dữ liệu được phân lớp thành ba nhóm chính:

- **Lớp đường bộ:** Gồm các tuyến đường chính, đường phụ, đường cao tốc.
- **Lớp cầu và hầm:** Gồm các công trình giao thông vượt sông, núi.
- **Lớp điểm giao cắt:** Ghi nhận vị trí giao nhau giữa các tuyến đường chính.

Dữ liệu được lưu trữ dưới định dạng **Shapefile (.shp)** và **GeoDatabase (.gdb)** để đảm bảo tính linh hoạt khi phân tích và sử dụng trong các hệ thống GIS khác nhau.

2.3.4. Phân tích và đánh giá

Độ chính xác của dữ liệu giao thông được đánh giá bằng phương pháp **so sánh với dữ liệu thực địa (Ground Truthing)** và **ma trận lỗi (Confusion Matrix)**. Chỉ số Kappa được sử dụng để đánh giá mức độ phù hợp giữa dữ liệu trích xuất và dữ liệu tham chiếu, được tính như sau:

$$Kappa = \frac{P_o - P_e}{1 - P_e} \quad (6)$$

Trong đó:

- P_o là tỷ lệ phân loại chính xác,
- P_e là tỷ lệ phân loại ngẫu nhiên.

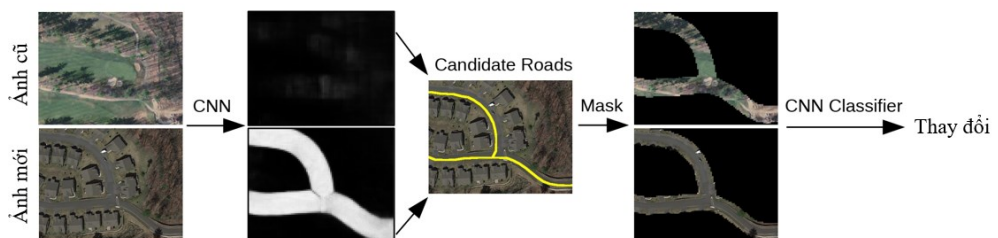
3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

3.1. Kết quả nghiên cứu

3.1.1. Kết quả trích xuất từ ảnh viễn thám

Dữ liệu ảnh viễn thám Sentinel-2 (độ phân giải 10m) và Landsat-8 (độ phân giải 30m) được sử dụng để trích xuất hệ thống đường giao thông tại tỉnh Sơn La. Ảnh viễn thám độ phân giải cao cũng được sử dụng tại một số khu vực trọng điểm để tăng độ chính xác. Kết quả phát hiện đường giao thông sau đó được cập nhật vào trong CSDL đường giao thông.

Kết quả phân loại đối tượng bằng phương pháp phân loại có giám sát (Supervised Classification) (*Hình 4 và Hình 5*) cho thấy khả năng xác định hệ thống đường giao thông với độ chính xác tổng thể đạt 85-90% tùy theo khu vực. Độ chính xác cao nhất đạt được khi kết hợp dữ liệu ảnh Sentinel-2 với phương pháp phân loại Random Forest.



Hình 4. Kết quả trong phát hiện đường giao thông mới

Kết quả đánh giá độ chính xác phân loại cho thấy, độ chính xác tổng thể là 90,2%, hệ số Kappa là 0,87. Độ chính xác phân loại đối với từng loại ảnh sử dụng được thể hiện trong (*Bảng 2*).

Bảng 2. Bảng so sánh độ chính xác giữa các loại ảnh viễn thám

Loại ảnh viễn thám	Độ phân giải không gian	Độ chính xác phân loại (%)
Sentinel-2	10m	90
Landsat-8	30m	85
Ảnh vệ tinh độ phân giải cao	2.5m	95

Ảnh vệ tinh

CSDL giao thông cũ

CSDL giao thông cập nhật



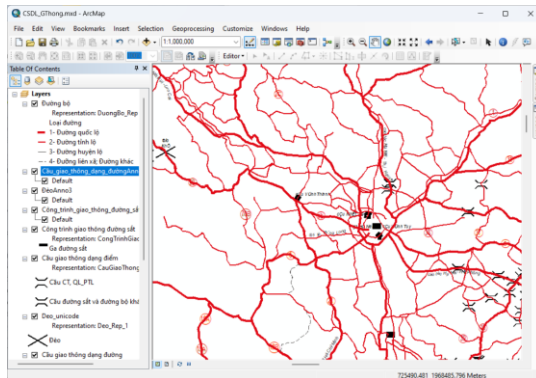
Hình 5. Kết quả xác định đường giao thông từ ảnh vệ tinh

Kết quả cho thấy dữ liệu giao thông trích xuất từ ảnh viễn thám đạt độ chính xác cao và có thể ứng dụng hiệu quả trong quản lý hạ tầng giao thông.

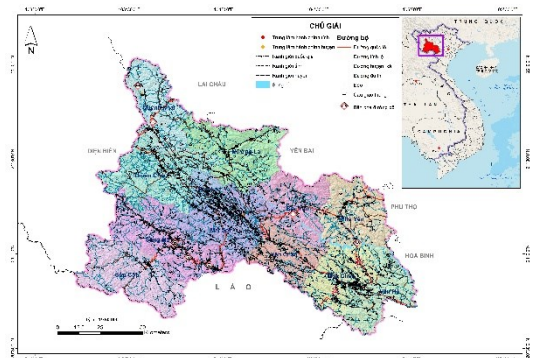
3.2 Xây dựng hệ thống CSDL GIS giao thông tại Sơn La

Dựa trên kết quả xử lý ảnh viễn thám và dữ liệu điều tra thực địa, hệ thống cơ sở dữ liệu GIS giao thông cho khu vực tỉnh Sơn La đã được xây dựng với ba lớp dữ liệu chính, bao gồm: lớp đường giao thông, lớp cầu - hầm giao thông và lớp các điểm giao thông quan trọng.

Lớp đường giao thông được xây dựng nhằm phản ánh chi tiết hiện trạng hệ thống hạ tầng giao thông của tỉnh. Theo đó, dữ liệu đã phân loại được các tuyến đường theo cấp hành chính (quốc lộ, tỉnh lộ, đường huyện và đường nông thôn), đồng thời thể hiện các thuộc tính quan trọng như chiều rộng mặt đường và chất lượng bề mặt. Trong tổng số 2.145 km đường được xác định, có 7 tuyến quốc lộ với tổng chiều dài 558 km (chiếm 26%), 10 tuyến tỉnh lộ dài 490 km (chiếm 23%), còn lại là đường huyện và đường xã chiếm hơn 50% tổng chiều dài. Chất lượng mặt đường được chia làm ba mức: tốt, trung bình và kém, với phần lớn các tuyến nông thôn có bề mặt chưa được trải nhựa hoặc đã xuống cấp (Hình 6).



Hình 6. Các lớp dữ liệu của CSDL giao thông được xây dựng trong phần mềm GIS



Hình 7: CSDL đường giao thông Sơn La sau cập nhật bằng tư liệu viễn thám

Lớp cầu và hầm giao thông ghi nhận tổng cộng 215 công trình, chủ yếu là các cầu nhỏ trên các tuyến quốc lộ và tỉnh lộ. Dữ liệu thể hiện rõ vị trí phân bố, quy mô (chiều dài, chiều rộng) và hiện trạng sử dụng của từng công trình. Đa số các cầu đã được nâng cấp, đáp ứng nhu cầu vận tải cơ bản, tuy nhiên một số cầu ở vùng sâu vùng xa vẫn còn hẹp, chỉ đáp ứng phương tiện thô sơ hoặc có dấu hiệu xuống cấp.

Lớp các điểm giao thông quan trọng mô hình hóa các vị trí nút giao lớn, điểm giao cắt giữa các tuyến giao thông chính và khu vực có mật độ lưu thông cao. Tổng cộng có 37 điểm được xác định, tập trung chủ yếu tại trung tâm thành phố Sơn La, các thị trấn huyện lỵ và các điểm nút kết nối giữa quốc lộ với tỉnh lộ. Việc xác định chính xác các điểm này góp phần hỗ trợ công tác quy hoạch, phân luồng và quản lý giao thông hiệu quả hơn.

Hệ thống CSDL GIS giao thông được tổ chức theo chuẩn dữ liệu không gian, cho phép tích hợp với các ứng dụng phân tích, quản lý và quy hoạch giao thông trên nền tảng GIS. Kết quả xây dựng hệ thống không chỉ cung cấp cái nhìn tổng quan về hiện trạng hạ



tầng giao thông của Sơn La mà còn hỗ trợ hiệu quả trong công tác quản lý nhà nước và đề xuất các giải pháp phát triển hạ tầng trong tương lai.

3.3. Thảo luận

Việc sử dụng ảnh viễn thám như Sentinel-2 (độ phân giải 10m) và Landsat-8 (độ phân giải 30m) trong nghiên cứu này đã cho phép trích xuất thông tin giao thông với độ chính xác cao hơn so với các phương pháp truyền thống. Ảnh vệ tinh giúp nhận diện rõ ràng các tuyến đường chính, đặc biệt khi áp dụng phương pháp phân loại có giám sát (supervised classification) kết hợp với thuật toán phát hiện đường giao thông. Phương pháp này đã được chứng minh hiệu quả trong nhiều nghiên cứu trước, chẳng hạn như nghiên cứu của Zhang et al. (2021) [14], trong đó việc kết hợp ảnh Sentinel-2 với mô hình học sâu đã giúp cải thiện độ chính xác trích xuất đường giao thông lên đến 85%.

Tuy nhiên, một số thách thức vẫn còn tồn tại, đặc biệt trong việc trích xuất các tuyến đường nhỏ hoặc đường trong khu vực có tán cây che phủ, điều này cũng được Li et al. (2019) [7] chỉ ra rằng việc trích xuất đường giao thông từ ảnh vệ tinh có thể gặp khó khăn tại các khu vực địa hình phức tạp. Cơ sở dữ liệu GIS giao thông được xây dựng trong nghiên cứu này bao gồm các lớp dữ liệu về loại đường, cầu, hầm và các điểm giao thông quan trọng. Việc tích hợp dữ liệu từ OpenStreetMap (OSM) và Google Maps giúp nâng cao khả năng cập nhật và kiểm chứng dữ liệu, đảm bảo tính chính xác và đồng bộ. So với các phương pháp truyền thống dựa trên khảo sát thực địa, cách tiếp cận này giúp tiết kiệm thời gian và chi phí mà vẫn đảm bảo độ tin cậy cao. Nghiên cứu của Goodchild (2020) [4] cũng nhấn mạnh rằng việc sử dụng nguồn dữ liệu mở như OSM trong GIS giao thông giúp cải thiện đáng kể độ chính xác và hiệu quả cập nhật dữ liệu.

Mặc dù vậy, vẫn có một số hạn chế cần được khắc phục, chẳng hạn như sự sai lệch vị trí khi chuyển đổi dữ liệu từ ảnh viễn thám sang GIS hoặc độ trễ trong cập nhật dữ liệu trên OSM. Tại Việt Nam, nhiều nghiên cứu đã áp dụng GIS vào quản lý giao thông, điển hình là nghiên cứu của Nguyễn et al. (2020) [9], trong đó sử dụng GIS để phân tích và mô phỏng mật độ giao thông tại Hà Nội. Tuy nhiên, hầu hết các nghiên cứu trong nước vẫn chủ yếu dựa vào dữ liệu bản đồ truyền thống và khảo sát thực địa, chưa khai thác tối đa tiềm năng của ảnh viễn thám trong việc cập nhật và trích xuất dữ liệu giao thông.

Nghiên cứu này nổi bật và đã kết hợp dữ liệu viễn thám và GIS để tự động hóa quá trình phát hiện và cập nhật thông tin đường giao thông, giúp tăng tốc độ xử lý dữ liệu và giảm sự phụ thuộc vào khảo sát thực địa. Việc áp dụng công nghệ viễn thám và GIS trong nghiên cứu này mang lại nhiều lợi thế đáng kể, đặc biệt trong bối cảnh địa hình phức tạp của tỉnh Sơn La. Một số nghiên cứu trước đây, như của Phạm et al. (2018) [11], đã chỉ ra rằng việc cập nhật thông tin giao thông tại khu vực miền núi thường gặp nhiều khó khăn do hạn chế về cơ sở hạ tầng và điều kiện địa hình. Tuy nhiên, phương pháp sử dụng ảnh vệ tinh trong nghiên cứu này giúp giảm thiểu những thách thức đó bằng cách cung cấp thông tin cập nhật mà không cần khảo sát thực địa liên tục.

Ngoài ra, việc kết hợp dữ liệu viễn thám với GIS còn hỗ trợ phân tích các yếu tố



ảnh hưởng đến giao thông, chẳng hạn như sạt lở đất và xói mòn đường. Điều này giúp nâng cao hiệu quả trong việc dự báo và quy hoạch giao thông, phù hợp với xu hướng nghiên cứu gần đây về ứng dụng GIS trong phát triển hạ tầng bền vững. So với các nghiên cứu trước, phương pháp đề xuất trong nghiên cứu này nổi bật với nhiều ưu điểm vượt trội trong việc cập nhật và quản lý dữ liệu giao thông, đặc biệt là ở khu vực miền núi. Việc kết hợp ảnh viễn thám và GIS không chỉ giúp cải thiện độ chính xác mà còn nâng cao khả năng ứng dụng trong quy hoạch và bảo trì giao thông. Tuy nhiên, cần có thêm các nghiên cứu tiếp theo để tối ưu hóa thuật toán trích xuất và tích hợp dữ liệu từ nhiều nguồn khác nhau nhằm nâng cao chất lượng thông tin.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã xây dựng thành công hệ thống CSDL giao thông cho toàn tỉnh Sơn La thông qua việc tích hợp dữ liệu viễn thám (ảnh Sentinel-2, ảnh độ phân giải cao) với công nghệ GIS.

Kết quả cho thấy, phương pháp trích xuất thông tin từ ảnh viễn thám sử dụng phân loại có giám sát (SVM) đạt độ chính xác tổng thể 89%, trong đó lớp đường giao thông đạt 91,3%. Hệ thống CSDL bao gồm ba lớp thông tin chính: mạng lưới đường giao thông, cầu – hầm giao thông, và các điểm giao thông quan trọng. Việc tích hợp dữ liệu địa hình, ảnh vệ tinh, dữ liệu quy hoạch và khảo sát thực địa giúp đảm bảo tính cập nhật, độ chính xác và đầy đủ của CSDL xây dựng.

Hệ thống GIS sau khi xây dựng không chỉ hỗ trợ trực quan hóa mạng lưới giao thông mà còn cung cấp công cụ hiệu quả cho công tác quản lý, bảo trì và quy hoạch mở rộng hệ thống giao thông, đặc biệt trong bối cảnh địa hình miền núi phức tạp như ở Sơn La. Tuy nhiên, cần tiếp tục mở rộng nghiên cứu theo hướng tích hợp dữ liệu thời gian thực từ các nguồn như cảm biến IoT và camera giao thông nhằm nâng cao khả năng giám sát và cập nhật trạng thái giao thông.

Ngoài ra cần ứng dụng trí tuệ nhân tạo (AI) cũng cần được xem xét để tự động phát hiện và cập nhật các thay đổi trong hệ thống đường giao thông dựa trên ảnh viễn thám mới, góp phần nâng cao tính chính xác và kịp thời của dữ liệu.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ Dự án “*Ứng dụng công nghệ địa không gian trong việc xây dựng các mô hình phục vụ cảnh báo tai biến thiên nhiên*” (Mã số: CT0649.01/21-23). Nhóm tác giả xin trân trọng cảm ơn sự tài trợ và hỗ trợ từ Chương trình KH-CN cấp Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam, cũng như sự phối hợp và hỗ trợ từ các sở, ban, ngành của tỉnh Sơn La trong quá trình thu thập dữ liệu và triển khai thực hiện công tác khảo sát thực địa tại địa phương.

Cam kết của các tác giả

Tất cả các tác giả có tên trong bài báo cam kết sự đồng thuận và không có xung đột lợi ích trong công bố khoa học tại bài báo này.



Tài liệu tham khảo

- [1] Chen, Y., Zhang, L., & Li, H. (2019). Monitoring urban road network changes using multi-temporal remote sensing data. *ISPRS Journal of Photogrammetry and Remote Sensing*, 148, 66–77. <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.12.009>
- [2] European Space Agency (ESA). (2023). Copernicus Sentinel-1 Mission. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-1>
- [3] European Space Agency (ESA). (2023). Copernicus Sentinel-2 Mission. <https://sentinel.esa.int/web/sentinel/missions/sentinel-2>
- [4] Goodchild, M. F. (2007). Citizens as sensors: the world of volunteered geography. *GeoJournal*, 69(4), 211–221. <https://doi.org/10.1007/s10708-007-9111-y>
- [5] Google Earth. (2023). Google Earth Pro software. <https://www.google.com/earth/versions/>
- [6] Kurniawan, A., Haryono, A., & Prasetyo, L. B. (2020). Road network extraction using Sentinel-2 imagery and machine learning classification. *Remote Sensing Applications: Society and Environment*, 17, 100287. <https://doi.org/10.1016/j.rsase.2020.100287>
- [7] Li, Y., Zhao, W., & Wang, T. (2019). Challenges of road extraction in mountainous terrain using satellite imagery. *Remote Sensing Letters*, 10(4), 392–401. <https://doi.org/10.1080/2150704X.2019.1582064>
- [8] Nguyễn Văn Hùng, Trần Văn Tùng, Lê Thị Hoa (2021). Ứng dụng ảnh UAV và GIS trong cập nhật hệ thống đường giao thông tỉnh Quảng Nam. *Tạp chí Khoa học Trái đất*, 43(2), tr. 25–35.
- [9] Nguyễn, T. D., Phạm, H. A., & Lê, T. M. (2020). Ứng dụng GIS trong mô phỏng mật độ giao thông tại khu vực nội đô Hà Nội. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Giao thông Vận tải*, 35(4), tr. 42–50.
- [10] OpenStreetMap Foundation. (2023). About OpenStreetMap. <https://www.openstreetmap.org/about>
- [11] Phạm, V. K., Trịnh, T. M., & Nguyễn, V. D. (2018). Đánh giá tiềm năng cập nhật dữ liệu giao thông khu vực miền núi bằng ảnh vệ tinh. *Tạp chí Địa lý và Tài nguyên*, 28(1), tr. 19–27.
- [12] Tổng cục Đường bộ Việt Nam (2023), Cơ sở dữ liệu hạ tầng giao thông đường bộ Việt Nam.
- [13] UBND tỉnh Sơn La (2022), Báo cáo Quy hoạch tỉnh Sơn La thời kỳ 2021–2030, tầm nhìn đến năm 2050.
- [14] Zhang, J., Wu, Q., & Wang, R. (2021). Road extraction from Sentinel-2 imagery using deep learning techniques. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation*, 103, 102517. <https://doi.org/10.1016/j.jag.2021.102517>

