

Hiện thị hình ảnh vệ tinh trên nền tảng web ở chế độ gần thời gian thực

Đào Khánh Hoài¹, Trương Văn Tuấn¹, Ngô Ngọc Thủy¹, Bùi Thế Truyền¹

¹Học viện Kỹ thuật Quân sự, Hà Nội, Việt Nam

Email tác giả liên hệ: truong.tuan.mta@gmail.com

<https://doi.org/10.5281/zenodo.21071774>

Tóm tắt:

Trong thời gian gần đây, số lượng vệ tinh quan sát Trái đất và nguồn ảnh vệ tinh miễn phí phục vụ nghiên cứu môi trường và giảm thiểu thiệt hại do thiên tai ngày càng tăng đã khiến các kho dữ liệu ảnh vệ tinh của các cơ quan và tổ chức nghiên cứu không gian địa lý ngày càng đa dạng về loại hình và dung lượng. Nhu cầu truy cập dữ liệu và làm việc từ xa đã dần thay thế các phương pháp truy cập trực tiếp. Ảnh vệ tinh thường có phạm vi phủ rộng và kích thước lớn, do đó việc truy cập và trực quan hóa trực tuyến cũng tạo ra một số thách thức đối với các kho dữ liệu ảnh vệ tinh lớn. Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất một mô hình kiến trúc dữ liệu dựa trên nền tảng phân tán Hadoop, kết hợp các khung phần mềm và hệ thống quản lý cơ sở dữ liệu mở, đồng thời xây dựng một dịch vụ Web cho phép trực quan hóa dữ liệu ảnh vệ tinh trên Internet ở chế độ gần thời gian thực. (www.geobay.vn/geosat).

Từ khóa: Hệ thống phân tán; Dữ liệu không gian địa lý; Kho dữ liệu lớn; Trực quan hóa; Thời gian thực.

Ngày nhận bài: 26/03/2026 Ngày sửa lại: 05/04/2026 Ngày chấp nhận đăng: 15/04/2026 Ngày xuất bản: 30/06/2026

Web-Based Satellite image visualization in near real-time mode

Dao Khanh Hoai¹, Truong Van Tuan¹, Ngo Ngoc Thuy¹, Bui The Truyen¹

¹Le Quy Don Technical University, Ha Noi, Viet Nam

Corresponding Author Email: truong.tuan.mta@gmail.com

Abstract

In recent times, the increasing number of earth observation satellites and free satellite image sources for environmental research purposes and mitigation of damage caused by natural disasters has made the satellite image data warehouses of geospatial research agencies and organizations increasingly diverse in types and large in capacity. The need to access data and work remotely has gradually replaced direct access methods. Satellite images often have a wide spatial coverage and large size, so online access and visualization also creates some challenges for large satellite image data repositories. In this paper, the authors propose a data architecture model based on the Hadoop distributed platform that combines software frameworks and open database management systems, and at the same time build a Web service that allows visualization of satellite image data over the Internet in near real-time mode.

Keywords: Distributed Systems; Geospatial Data; Big Data Warehouse; Visualization; Real-time Processing.

Submission received: 26/03/2026

Revised: 05/04/2026

Accepted: 15/04/2026

Published: 30/06/2026

1. Giới thiệu

Các kho lưu trữ hình ảnh vệ tinh của các cơ quan và tổ chức địa không gian tham gia vào nghiên cứu và sản xuất bản đồ đang phát triển nhanh chóng cả về số lượng và dung lượng. Sự phát triển này mang lại những cơ hội đáng kể để khai thác tiềm năng của dữ liệu, nhưng cũng đặt ra một số thách thức trong việc quản lý các tập dữ liệu lớn này. Một thách thức điển hình là việc truy cập và hiển thị hình ảnh vệ tinh qua Internet. Các nhà nghiên cứu đã tiếp cận và giải quyết thách thức này theo nhiều cách khác nhau [5] [6]. Cùng với sự phát triển của dữ liệu hình ảnh vệ tinh, các công nghệ lưu trữ, cơ sở dữ liệu và khung xử lý dữ liệu không gian cũng đã có những tiến bộ ấn tượng. Các hệ thống lưu trữ nguyên khối truyền thống đã được thay thế bằng các hệ thống phân tán, chẳng hạn như Hệ thống Tập của Google và HDFS của Hadoop [2], tiếp theo là các công nghệ đám mây như Google Cloud, Microsoft Azure và Amazon Web Services. Các cơ sở dữ liệu dữ liệu lớn hướng

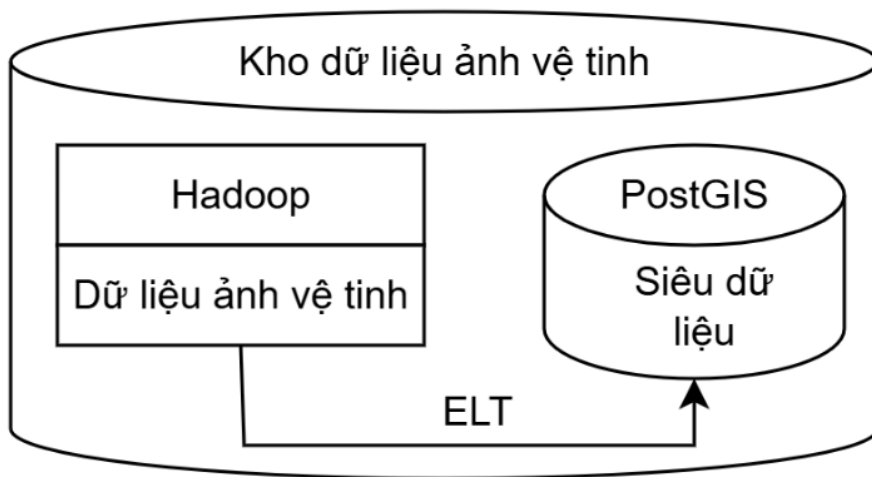
cột, cho phép quản lý khối lượng lớn dữ liệu phi cấu trúc hoặc cấu trúc yếu với tốc độ ghi và truy cập nhanh, đã khắc phục được những hạn chế của các cơ sở dữ liệu quan hệ truyền thống [2]. Hệ thống quản lý cơ sở dữ liệu không gian PostGIS cho phép tạo các bảng có kích thước lên đến 32TB và hỗ trợ nhiều loại phân tích không gian [1]. Hệ thống quản lý dữ liệu lớn HBase cho phép lưu trữ và truy vấn nhanh các loại dữ liệu không cấu trúc hoặc cấu trúc yếu. Mô hình dữ liệu kim tự tháp được áp dụng cho ảnh vệ tinh Himawari-8 và các kỹ thuật xử lý song song cùng mô hình dịch vụ Web được sử dụng để truy vấn và hiển thị dữ liệu ảnh vệ tinh độ phân giải đầy đủ [3]. Các nền tảng dịch vụ không gian địa lý dựa trên đám mây đã được phát triển để cung cấp ảnh vệ tinh qua Internet, cho phép truy cập và xử lý dữ liệu không gian quy mô lớn một cách hiệu quả [7]. Trong nghiên cứu (NC) của nhóm Weipeng Jing và Dongxue Tian đã tiếp cận vấn đề lưu trữ và truy vấn ảnh vệ tinh dựa trên nền tảng phân tán mã nguồn mở Hadoop và Hbase [2]. Các tác giả đã kết hợp hai giai đoạn để tối ưu hóa việc lưu trữ, ghi lại và truy vấn nhanh dữ liệu lớn trong hệ thống quản lý cơ sở dữ liệu phân tán Hbase, bao gồm: Thiết kế mô hình lưu trữ dữ liệu ảnh vệ tinh dựa trên kiến trúc cơ sở dữ liệu hướng cột Hbase; Thiết kế thuật toán ghi song song và truy vấn dữ liệu ảnh trên Hbase. Trong NC[4], nhóm nghiên cứu của Hui.Wu và Kun.Fu đã đề xuất một mô hình quản lý cơ sở dữ liệu ảnh viễn thám dựa trên thông tin siêu dữ liệu ảnh. Các tác giả đã trích xuất siêu dữ liệu của ảnh vệ tinh vào một bảng và sử dụng nền tảng Microsoft Visual Studio 2015 kết hợp với ArcGIS Engine 10.1 để đọc và hiển thị ảnh. Hệ thống quản lý ảnh do nhóm đề xuất có thể thực hiện truy vấn không gian, truy vấn thuộc tính và truy vấn kết hợp không gian-thuộc tính. Mô hình quản lý ảnh hoạt động hiệu quả nhưng chỉ phù hợp cho việc truy vấn và hiển thị trong mạng nội bộ quy mô nhỏ.

Trong các nghiên cứu trên, các nhóm nghiên cứu đã đề xuất các mô hình cấu trúc hệ thống tổng quát để mô tả hoạt động của hệ thống. Tuy nhiên, chưa có mô hình kiến trúc dữ liệu cụ thể hoặc đặc tả dịch vụ Web nào để truy vấn và hiển thị hình ảnh vệ tinh trực tuyến.

Trong các phần tiếp theo của bài báo này, chúng tôi sẽ trình bày kiến trúc dữ liệu, mô hình dịch vụ Web và API để truy vấn và hiển thị dữ liệu trực tuyến ở chế độ gần thời gian thực. Các mô hình này có tính ứng dụng thực tiễn, có tính tái sử dụng để thiết kế và xây dựng các cổng thông tin không gian địa lý quy mô lớn.

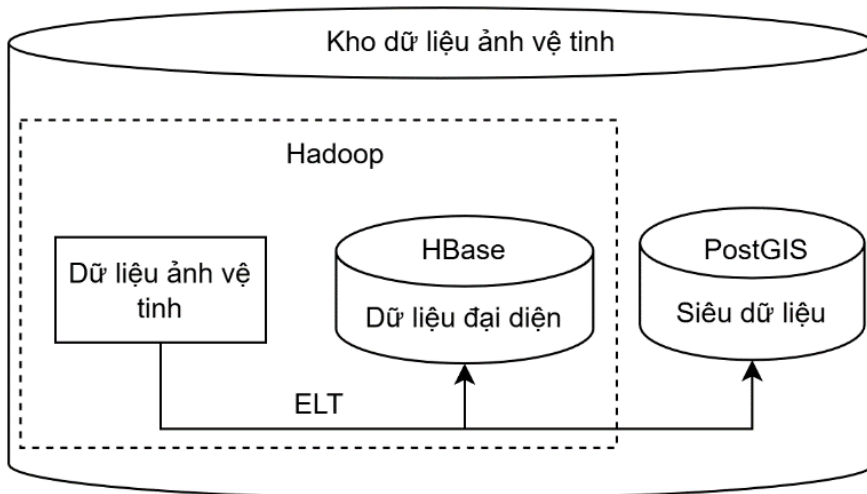
2. Kiến trúc dữ liệu

Ảnh vệ tinh có phạm vi phủ sóng rộng, kích thước lớn từ vài trăm MB đến vài GB. Chúng bao gồm các tệp dữ liệu ảnh và tệp siêu dữ liệu bổ sung. Vì thường được sử dụng cho phân tích đa thời gian, chúng được lưu trữ và quản lý tập trung trong các kho dữ liệu lớn trong thời gian dài. Để đảm bảo tính khả dụng và bảo mật của dữ liệu, các hệ thống lưu trữ phân tán và đám mây thường được sử dụng với băng thông lớn và hệ số sao lưu dữ liệu cao [10]. Trong nghiên cứu này, các tác giả đề xuất hai kiến trúc dữ liệu cơ bản. Thứ nhất, một kiến trúc hai lớp được đề xuất để lưu trữ hình ảnh và quản lý thông tin siêu dữ liệu hình ảnh, bao gồm hai lớp: “Dữ liệu hình ảnh vệ tinh” và “Thông tin siêu dữ liệu”. Nền tảng phân tán Hadoop được chọn để lưu trữ dữ liệu hình ảnh vệ tinh [8], và hệ quản trị cơ sở dữ liệu PostGIS được chọn để lưu trữ thông tin siêu dữ liệu hình ảnh như thể hiện trong Hình 1.



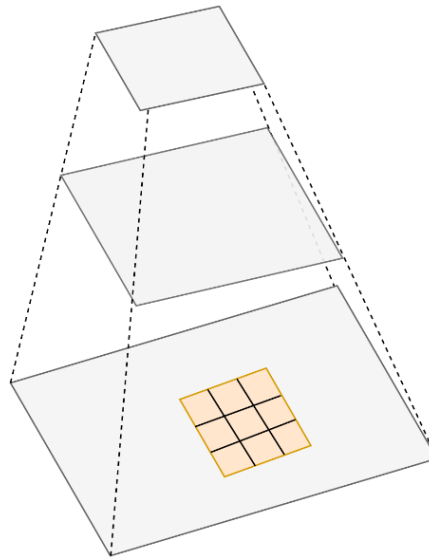
Hình 1. Kiến trúc lưu trữ hình ảnh vệ tinh hai lớp.

Các phương pháp lưu trữ theo kiến trúc hai tầng nêu trên thường được áp dụng khi dữ liệu được quản lý tập trung và các thao tác với dữ liệu hình ảnh và thông tin siêu dữ liệu diễn ra trên mạng nội bộ giữa các phòng ban. Kiến trúc dữ liệu hai tầng sẽ không còn phù hợp với nhu cầu truy vấn thông tin dữ liệu hình ảnh qua Internet. Đặc biệt khi việc hiển thị dữ liệu hình ảnh vệ tinh trên Web trở thành nhu cầu cơ bản và thường xuyên của khách hàng, kiến trúc dữ liệu cần được nâng cấp một cách cơ bản và nhất quán. Để thích ứng với các yêu cầu thực tế về truy cập nhanh và hiển thị hình ảnh vệ tinh trên Web ở chế độ gần thời gian thực, các tác giả đề xuất kiến trúc ba lớp như thể hiện trong Hình 2.



Hình 2. Kiến trúc lưu trữ hình ảnh vệ tinh ba lớp.

Lớp "Dữ liệu đại diện" trong kiến trúc ba lớp được tạo ra từ dữ liệu hình ảnh gốc và được thiết kế với cấu trúc linh hoạt tùy thuộc vào yêu cầu hiển thị hình ảnh vệ tinh cụ thể. Một tiêu chí bất biến là nhu cầu truy cập nhanh, do đó, hệ thống quản lý cơ sở dữ liệu quy mô lớn HBase được chọn cho nghiên cứu này [9]. Để đáp ứng yêu cầu hiển thị gần thời gian thực, nhóm nghiên cứu đã chọn mô hình kim tự tháp, đã được áp dụng trong nhiều nghiên cứu, và chia các lớp kim tự tháp thành các ô hình ảnh, như thể hiện trong Hình 3.

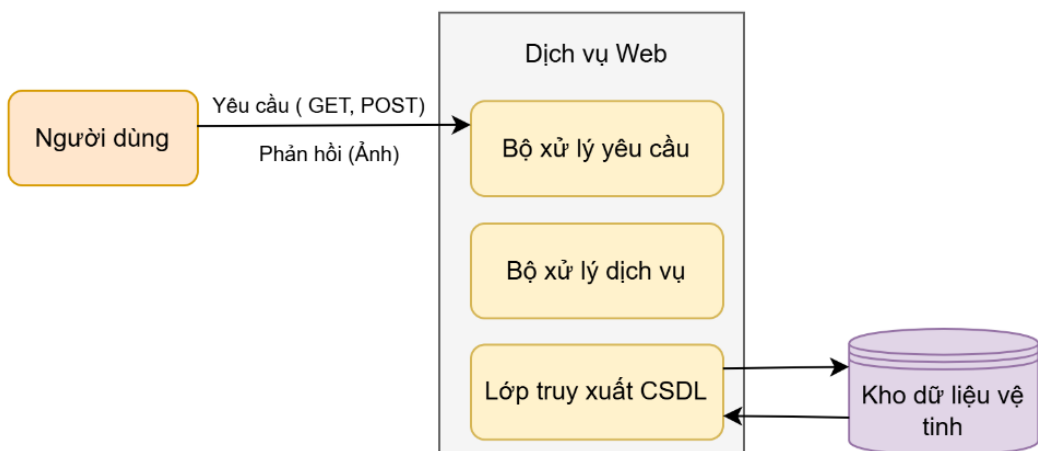


Hình 3. Mô hình lưới ô vuông hình chóp.

Thông tin về số lớp kim tự tháp, vị trí ô và phạm vi ô được trích xuất và quản lý trong một bảng siêu dữ liệu riêng biệt trong PostGIS. Bằng cách này, tại bất kỳ thời điểm nào, máy khách sẽ truy cập vào phần dữ liệu tương ứng dựa trên mức độ thu phóng và phạm vi màn hình hiện tại.

3. Dịch vụ Web

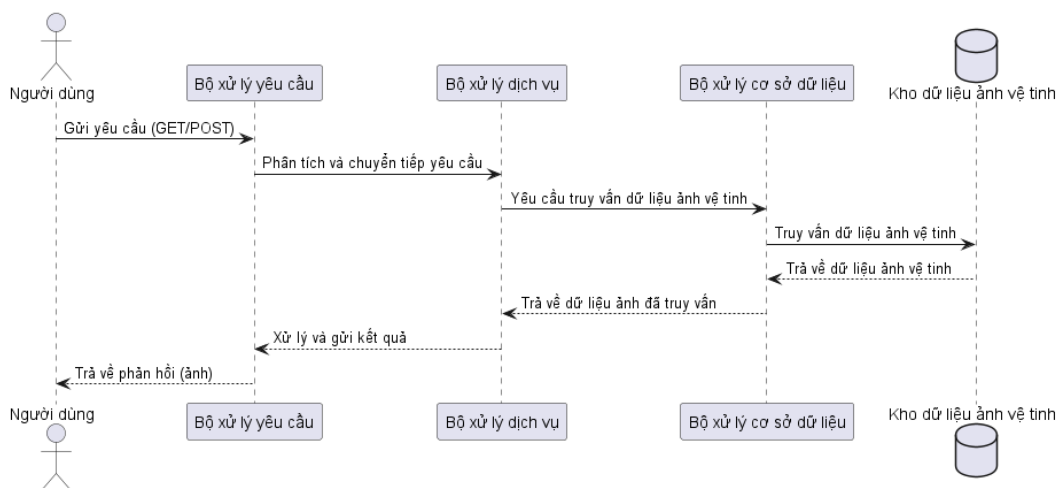
Trong phần này, chúng tôi sẽ trình bày một ứng dụng dịch vụ web để truy vấn và hiển thị dữ liệu hình ảnh vệ tinh trên web. Dịch vụ web này bao gồm hai phần chính: máy khách web và máy chủ web. Máy khách web là giao diện người dùng hoạt động trên trình duyệt web phía máy khách. Người dùng sẽ sử dụng ứng dụng web trong trình duyệt để gửi yêu cầu truy vấn và tìm kiếm dựa trên các tiêu chí khác nhau trên bản đồ nền. Máy khách web chịu trách nhiệm hiển thị siêu dữ liệu, hình ảnh và cung cấp các công cụ tương tác cho dữ liệu viễn thám, chẳng hạn như phóng to và thu nhỏ, đo lường và điều hướng. Máy khách web được phát triển bằng các công nghệ HTML, CSS và JavaScript, sử dụng các thư viện như ReactJS và OpenLayers để hỗ trợ các chức năng hiển thị bản đồ.



Hình 4. Mô hình tổng quát của dịch vụ Web.

Máy chủ Web với hệ thống phân tán phía máy chủ chịu trách nhiệm xử lý các yêu cầu truy vấn thông tin từ máy khách Web. Máy chủ Web thực hiện các tác vụ như truy vấn ảnh vệ tinh và siêu dữ liệu từ cơ sở dữ liệu, xử lý dữ liệu, tối ưu hóa hiệu suất truy vấn và trả về kết quả cho máy khách Web. Máy chủ Web được xây dựng để kết nối với hệ thống cơ sở dữ liệu quy mô lớn (HBase) và tối ưu hóa các truy vấn thông qua Redis để đảm bảo thời gian phản hồi nhanh và khả năng mở rộng cho dữ liệu lớn. Hình 4 thể hiện mô hình tổng quát của dịch vụ Web để truy vấn và trực quan hóa dữ liệu ảnh vệ tinh lớn.

Người dùng thực hiện một thao tác trên trình duyệt, chẳng hạn như tìm kiếm hình ảnh vệ tinh hoặc yêu cầu thông tin chi tiết về hình ảnh vệ tinh, thao tác này sẽ kích hoạt một yêu cầu được gửi đến Dịch vụ Web thông qua giao thức HTTP, sử dụng các phương thức thông thường như GET hoặc POST. Khi yêu cầu đến Dịch vụ Web ở phía máy chủ, Trình xử lý yêu cầu sẽ nhận và phân tích nó. Trình xử lý yêu cầu xác định loại yêu cầu (ví dụ: yêu cầu tìm kiếm hình ảnh theo tọa độ, theo tuyến đường, theo khu vực, yêu cầu truy xuất siêu dữ liệu hình ảnh vệ tinh, v.v.) và chuyển tiếp nó đến các dịch vụ xử lý dữ liệu phía máy chủ. Tiếp theo, yêu cầu được chuyển tiếp đến Trình xử lý dịch vụ. Thành phần này chịu trách nhiệm thực thi logic nghiệp vụ, chẳng hạn như gửi thông tin truy vấn cho các vị trí hoặc khu vực quan tâm cụ thể, hoặc truy vấn thông tin hình ảnh vệ tinh đến lớp Trình xử lý cơ sở dữ liệu, lớp này thực hiện các thao tác truy vấn dữ liệu trong kho dữ liệu.



Hình 5. Sơ đồ trình tự hoạt động của dịch vụ web để truy vấn dữ liệu ảnh vệ tinh.

Mô đun xử lý điều phối cơ sở dữ liệu là thành phần kết nối các dịch vụ xử lý với kho dữ liệu hình ảnh vệ tinh (Kho dữ liệu vệ tinh), thực hiện các truy vấn cần thiết để truy xuất dữ liệu hình ảnh vệ tinh phù hợp. Sau khi truy vấn thành công, dữ liệu hình ảnh vệ tinh được gửi lại cho Mô đun xử lý điều phối. Dữ liệu sau đó được xử lý bởi mô đun lý dịch vụ nếu cần và được gửi đến mô đun xử lý yêu cầu. Mô đun lý yêu cầu sẽ đóng gói dữ liệu thành phản hồi phù hợp và trả lại cho máy khách.

Cuối cùng, máy khách nhận được phản hồi và hiển thị dữ liệu hình ảnh vệ tinh trên giao diện người dùng. Người dùng có thể tiếp tục tương tác (phóng to/thu nhỏ, di chuyển bản đồ, yêu cầu dữ liệu mới, v.v.), và hệ thống sẽ lặp lại quy trình này cho mỗi yêu cầu mới. Các bước của quy trình được mô tả chi tiết trong sơ đồ trình tự ở Hình 5.

4. Thực nghiệm và thảo luận

Trong phần này, Nhóm nghiên cứu trình bày một triển khai thử nghiệm của kiến trúc dịch vụ Web được mô tả trong các phần trước. Dữ liệu thử nghiệm bao gồm một tập dữ liệu hiện có về ảnh vệ tinh quang học Landsat 8 và Sentinel 2, với tổng dung lượng hơn 2TB, được thu thập từ các nhà cung cấp dữ liệu miễn phí như Cục Khảo sát Địa chất Hoa Kỳ, Copernicus Open Access Hub và SentinelHub. Ngoài ra, hệ thống đồng thời vận hành một máy chủ bản đồ ảnh vệ tinh đa tỷ lệ với hơn 2TB dữ liệu. Kết quả thử nghiệm của nghiên cứu này có thể được kiểm chứng trên Web không gian địa lý tại www.geobay.vn/geosat.

4.1. Hệ thống phân tán để triển khai kho dữ liệu không gian địa lý quy mô lớn

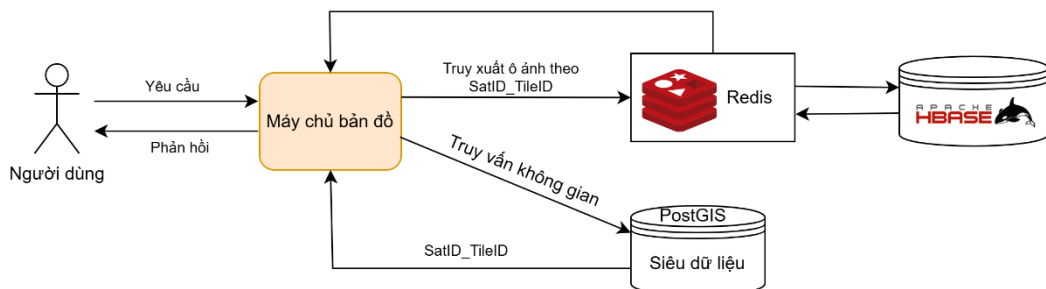
Hệ thống phần cứng được triển khai trên một cụm gồm sáu máy tính, bao gồm một máy chủ Web và năm máy tính đa năng được sử dụng để chạy hệ thống Hadoop phân tán và cơ sở dữ liệu HBase phân tán. Máy chủ Web được trang bị hai bộ xử lý, 32 lõi xử lý và 128GB RAM. Các máy tính đa năng có cấu hình cơ bản: bộ xử lý Core i5, 32GB RAM và ổ cứng ngoài có dung lượng 6TB. Mạng LAN tốc độ 1Gbps và kết nối internet có tốc độ tối đa 200Mbps.

Các hệ thống phần mềm được sử dụng để triển khai mô hình dữ liệu bao gồm: hệ điều hành Ubuntu 22.04; máy chủ web Apache2; hệ thống phân tán Hadoop phiên bản 3.4.1; cơ sở dữ liệu bao gồm HBase phiên bản 2.6.2, PostGIS phiên bản 3.5 và Redis phiên bản 7.4.1. Các ngôn ngữ lập trình bao gồm: Java, Python, C# và ReactJS; các thư viện bao gồm: GDAL, GeoTools và PySpark.

Trong hệ thống này, chúng tôi sử dụng Java để xây dựng các tác vụ phía máy chủ, chịu trách nhiệm xử lý các yêu cầu truy vấn dữ liệu hình ảnh vệ tinh, quản lý kết nối với HBase để lưu trữ dữ liệu lớn và Redis để tăng tốc độ truy xuất dữ liệu. Phần backend cung cấp API RESTful để giao tiếp với client. Về phía client, chúng tôi sử dụng ReactJS kết hợp với thư viện OpenLayers để hiển thị bản đồ và hình ảnh vệ tinh trực tiếp trên trình duyệt.

4.2. Hệ thống truy vấn và trực quan hóa ảnh vệ tinh dựa trên web

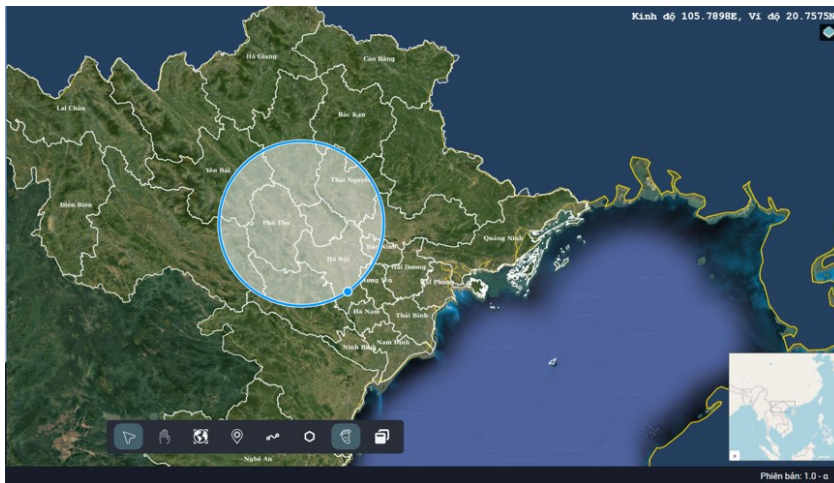
Với kiến trúc phần cứng và hệ thống phần mềm như đã mô tả ở trên, chúng tôi đã xây dựng và triển khai một hệ thống truy vấn và trực quan hóa ảnh vệ tinh gần thời gian thực với các nhiệm vụ cụ thể như Xác định khu vực quan tâm, Truy vấn ảnh vệ tinh trong kho dữ liệu, Trực quan hóa kết quả ảnh viễn thám.



Hình 6. Mô hình truy vấn dữ liệu ảnh vệ tinh.

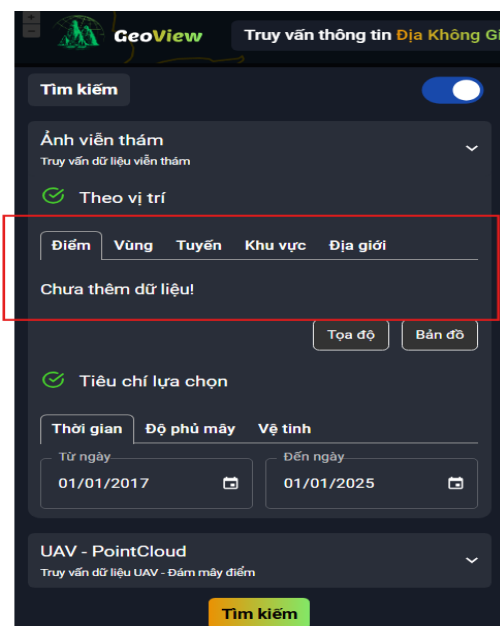
Xác định vùng quan tâm: Người dùng có thể trực tiếp vẽ các vùng quan tâm (điểm, đường thẳng, đa giác) trên bản đồ nền bằng các công cụ tương tác do OpenLayers cung cấp. Các đối tượng hình học này (điểm, đường thẳng, đa giác)

được sử dụng để xác định vùng dữ liệu cần truy vấn. Sau khi người dùng hoàn thành thao tác vẽ, hệ thống sẽ chuẩn hóa dữ liệu hình học thành yêu cầu truy vấn gửi đến máy chủ. Các thử nghiệm đã cho thấy các thao tác vẽ trên bản đồ nền diễn ra mượt mà, không có độ trễ hoặc giật hình, đảm bảo tính linh hoạt và thuận tiện trong quá trình chọn vùng truy vấn.



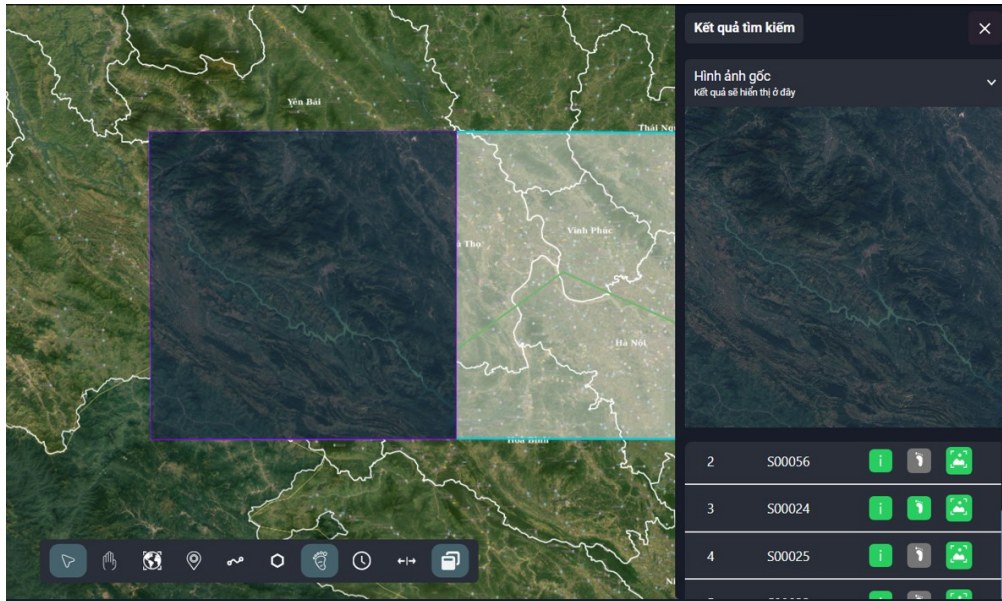
Hình 7. Công cụ xác định khu vực truy vấn dữ liệu.

Truy vấn ảnh vệ tinh trong kho dữ liệu: Hệ thống của chúng tôi cho phép người dùng tìm kiếm, lọc và truy xuất ảnh vệ tinh được lưu trữ trong các cơ sở dữ liệu không gian địa lý lớn (HBase) một cách hiệu quả. Sau khi nhận được tiêu chí truy vấn từ người dùng, hệ thống sẽ thực hiện các tác vụ truy vấn dữ liệu trong kho dữ liệu dựa trên các tiêu chí như tọa độ địa lý, phạm vi thời gian, độ che phủ mây và loại cảm biến để định vị ảnh vệ tinh có liên quan. Sau khi nhận được kết quả truy vấn, hệ thống sẽ gửi kết quả trở lại máy khách (ReactJS, OpenLayer). Chức năng này đảm bảo truy cập nhanh chóng vào lượng lớn dữ liệu hình ảnh.



Hình 8. Các tùy chọn và tiêu chí truy vấn.

Hiện thị kết quả ảnh viễn thám trên trình duyệt web: Sau khi quá trình truy vấn dữ liệu hoàn tất, hệ thống sẽ hiển thị ảnh vệ tinh trực tiếp trên trình duyệt web. Các ô ảnh được truy vấn từ cơ sở dữ liệu máy chủ và trả về từ máy chủ dưới dạng URL, sau đó được gán cho các lớp OpenLayers tương ứng với khu vực được truy vấn. Kết quả thử nghiệm cho thấy các ô ảnh được trả về gần như ngay lập tức bất kể hành vi của người dùng như phóng to hoặc di chuyển khu vực không gian. Màn hình của người dùng không bị lag hoặc giật trong các tình huống thử nghiệm.



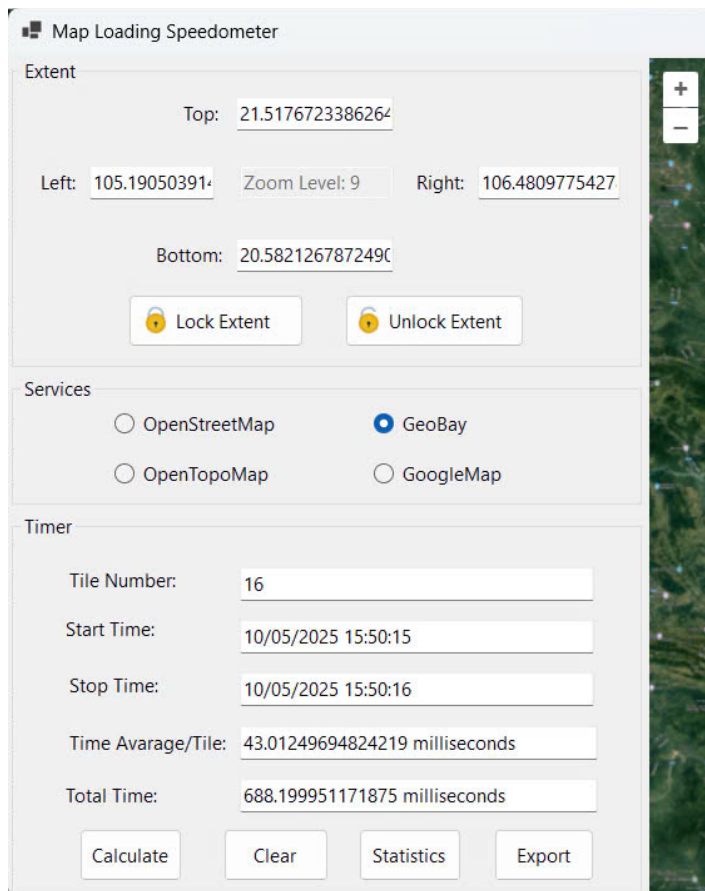
Hình 9. Trực quan hóa dữ liệu ảnh viễn thám trên nền Web.

4.3. Đánh giá định lượng hệ thống hiển thị hình ảnh vệ tinh trên web

Trong lĩnh vực Dữ liệu lớn, khái niệm "gần thời gian thực" khá mơ hồ, vì "gần" được hiểu như thế nào sẽ khác nhau tùy thuộc vào ứng dụng và trang web, tùy thuộc vào tốc độ kết nối internet thực tế từ cả phía máy khách và máy chủ. Trong ứng dụng truy vấn hình ảnh vệ tinh trực tuyến từ các kho dữ liệu lớn và hiển thị dữ liệu hình ảnh trên web, chúng tôi đã thử nghiệm truy vấn dữ liệu hình ảnh (không sử dụng bộ nhớ đệm của máy khách) từ các máy chủ không gian địa lý lớn như GoogleMaps, Openstreetmaps, Mapnik, OpenTopoMap. Thời gian trung bình để tải và hiển thị một ô hình ảnh là từ 0,02 đến 0,25 giây. Thời gian tải toàn bộ khung hình gồm 16 ô là từ 0,32 đến 4 giây. Chúng tôi sẽ thử nghiệm dịch vụ web của mình bằng phương pháp thực nghiệm này.

Để đánh giá chất lượng dịch vụ web về tốc độ tải, nhóm nghiên cứu đã thiết kế và xây dựng một công cụ phần mềm để đo thời gian tải các ô hình ảnh theo phạm vi không gian và mức độ thu phóng tùy chỉnh. Công cụ "Đo Tốc Độ Tải Bản Đồ" được xây dựng trên ngôn ngữ lập trình C# kết hợp với Javascript để tính toán thời gian tải các ô bản đồ từ các máy chủ dịch vụ hình ảnh và bản đồ khác nhau về trình duyệt web của người dùng. Thời gian được tính bằng giây, từ khi bắt đầu tải các ô bản đồ đến khi kết thúc tải các ô bản đồ trên trình duyệt web. Bảng 1 và hình 11 hiển thị thời gian trung bình được tính toán dựa trên 10 phép đo tại các máy chủ bản đồ truy cập miễn phí khác nhau trên toàn thế giới. Các giá trị đo được bao gồm:

số lượng ô bản đồ đã tải xuống, thời gian bắt đầu tải, thời gian kết thúc, thời gian trung bình để tải 1 ô bản đồ, tổng thời gian tải các ô bản đồ.

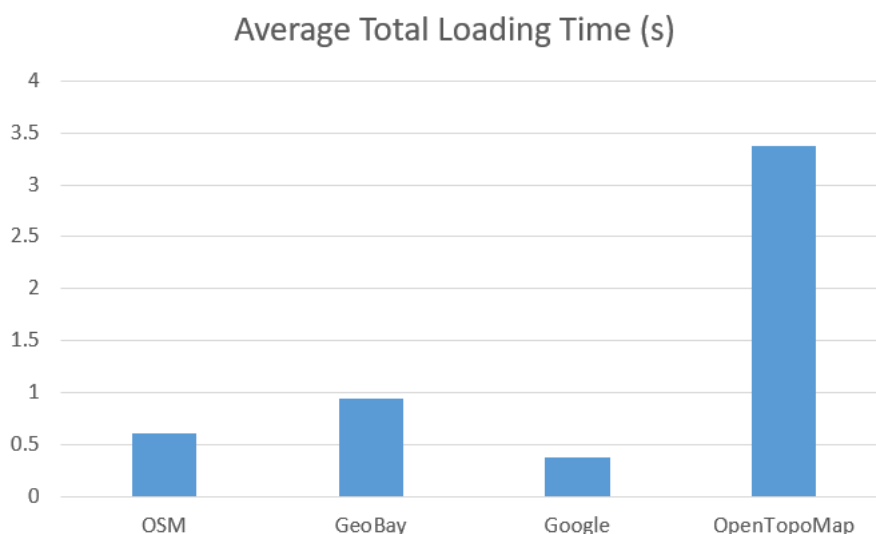


Hình 10. Công cụ đo tốc độ tải bản đồ.

Thời gian trung bình để tải một ô hình ảnh và tổng thời gian để tải một khung hình ảnh 4x4 ô từ ba máy chủ không gian địa lý phổ biến và máy chủ thử nghiệm của chúng tôi cho thấy kết quả được chấp nhận đối với hệ thống của chúng tôi.

Bảng 1. Các phép đo thời gian tải hình ảnh.

Dịch vụ cung cấp ảnh	Thời gian trung bình hiển thị mỗi ô ảnh (giây)	Tổng thời gian (giây)	Máy tính người dùng
OSM	0.038	0.608	Intel(R) Core(TM) i7-1800H 2.30GHz + Ram 16GB + Operating system: Windows 11-64bit
GeoBay	0.058	0.928	
Google	0.024	0.384	
OpenTopoMap	0.211	3.379	



Hình 11. Biểu đồ thời gian tải tổng trung bình.

5. Kết luận

Thông qua các nhiệm vụ thử nghiệm, Dịch vụ Web được đề xuất đã chứng minh khả năng phản hồi nhanh và ổn định trong việc hiển thị dữ liệu hình ảnh vệ tinh gần thời gian thực trên web. Kiến trúc dữ liệu ba lớp kết hợp với lưu trữ dữ liệu lớn trên các cơ sở dữ liệu phân tán như HBase và truy vấn nhanh thông qua Redis đã loại bỏ các nút thắt cổ chai về băng thông và giảm đáng kể thời gian phản hồi. Các thao tác, từ truy vấn các ô hình ảnh từ cơ sở dữ liệu phân tán đến hiển thị dữ liệu hình ảnh vệ tinh trên trình duyệt web, đều đạt được thời gian xử lý thấp. Giao diện hỗ trợ các thao tác tương tác như vẽ vùng truy vấn (điểm, đường, đa giác), điều chỉnh mức độ thu phóng bản đồ và cập nhật dữ liệu bản đồ cơ sở gần thời gian thực, đảm bảo trải nghiệm người dùng mượt mà và trực quan.

Lời cảm ơn

Các tác giả xin gửi lời cảm ơn tới tổ chức Copernicus Open Access Hub và Sentinel Hub đã cung cấp nguồn dữ liệu ảnh vệ tinh phục vụ cho quá trình xây dựng hệ thống. Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Học viện Kỹ thuật quân sự, Viện Kỹ thuật Công trình Đặc biệt đã tài trợ kinh phí nghiên cứu. Bài báo này được thực hiện trong khuôn khổ đề tài mã số 25.03.03.

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] Ning Guo et al., “An Efficient Tile-Pyramids Building Method for Fast Visualization of Massive Geospatial Raster Datasets. *Journal of Advances in Electrical and Computer Engineering*”, J. Advances in Electrical and Computer Engineering, Vol. 16, No. 4, pp. , (2016). doi: <https://doi.org/10.4316/aece.2016.04001>
- [2] Jing, W., Tian, D., “An improved distributed storage and query for remote sensing data”, Proc. International Conference on Identification, Information and Knowledge in the Internet

- of Things, ScienceDirect, No. 129, pp. 238-247, (2018). doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2018.03.071>
- [3] Ken, T. M., , Atsushi, H., Koichi, T., Kazunori, Y., Kazuya, M., Yoshiaki, N, Yasushi, I., Eizen, K., Takamichi, M., Praphan Pavarangkoon, “*A web-based real-time and full-resolution data visualization for Himawari-8 satellite sensed images*”, *Earth Science Informatics*, 11, 217-237, (2018).. doi: <https://doi.org/10.1007/s12145-017-0316-4>
- [4] Wu, H., Fu, K., “*A Management of Remote Sensing Big Database on Standard Metadata file and Database Management System*”, *The International Archives of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences*, XLII-3/W10, 653-657, (2020). doi: <https://doi.org/10.5194/isprs-archives-xlii-3-w10-653-2020>
- [5] Hajjaji, Y., Boulila, W., Imed, R. F., “*An improved tile-based scalable distributed management model of massive high-resolution satellite images*”, *Knowledge-Based and Intelligent Information & Engineering Systems: Proceedings of the 25th International Conference KES2021*, 192, 2931-2942, (2021). doi: <https://doi.org/10.1016/j.procs.2021.09.065>
- [6] Liu, X., Sun, W., “*Optimization Strategy for Building Tile Pyramid of Massive Remote Sensing Images* *Sensors and Materials*, 35(1), 335-346, (2023). doi: <https://doi.org/10.18494/sam4228>
- [7] Gorelick, N., Hancher, M., Dixon, M., Ilyushchenko, S., Thau, D., Moore, R., “*Google Earth Engine: Planetary-scale geospatial analysis for everyone*” *Remote Sensing of Environment*, 202, 18–27 (2017). doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2017.06.031>
- [8] Wu, J., Xiong, J., Dai, H., Wang, Y., Xu, C., “*MIX-RS: A Multi-Indexing System Based on HDFS for Remote Sensing Data Storage*”, *Tsinghua Science and Technology*, 27(4), 743–756 (2022). doi: <https://doi.org/10.26599/tst.2021.9010082>
- [9] Silva, L. F., Lima, J. V. F., “*An evaluation of relational and NoSQL distributed databases on a low-power cluster*”, *The Journal of Supercomputing*, 79(12), 13402–13420 (2023). doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-023-05166-7>
- [10] He, L., Qian, Z., Shang, F., “*A novel predicted replication strategy in cloud storage*”, *The Journal of Supercomputing*, 76, 4838–4856 (2020). doi: <https://doi.org/10.1007/s11227-018-2647-4>