

XÂY DỰNG HỆ THỐNG THÔNG TIN THỦY LỢI TỈNH BẾN TRE

Đỗ Thành Long⁽¹⁾, Trần Thái Bình⁽¹⁾, Lê Ngọc Trâm Anh⁽¹⁾

⁽¹⁾Trung tâm Vũ trụ Việt Nam

Ngày nhận bài: 20/3/2025; ngày chuyển phản biện: 21/3/2025; ngày chấp nhận đăng: 18/4/2025

Tóm tắt: Bài báo trình bày nghiên cứu ứng dụng công nghệ WebGIS mã nguồn mở để xây dựng hệ thống thông tin hỗ trợ quản lý công trình thủy lợi tại Tỉnh Bến Tre. Hệ thống tích hợp các dữ liệu về công trình thủy lợi, thủy văn và số liệu quan trắc độ mặn, mực nước. Hệ thống cung cấp các chức năng như hiển thị bản đồ tương tác, biểu đồ và thống kê, nhờ đó hệ thống giúp theo dõi nguồn nước và lập kế hoạch vận hành công trình hiệu quả. Kết quả cho thấy việc ứng dụng công nghệ WebGIS nguồn mở để xây dựng hệ thống thông tin thủy lợi là hoàn toàn khả thi, bên cạnh đó hệ thống cũng góp phần nâng cao năng lực quản lý cho cán bộ địa phương, đồng thời hỗ trợ người dân và doanh nghiệp ứng phó với biến đổi khí hậu. Đây là một công cụ đầy hứa hẹn cho quản lý thủy lợi bền vững tại Bến Tre.

Từ khóa: Thủy lợi, hệ thống thông tin, WebGIS, Bến Tre.

1. Mở đầu

Bến Tre là một tỉnh nằm ở hạ lưu Sông Cửu Long, sở hữu hệ thống sông ngòi, kênh rạch dày đặc, tạo điều kiện thuận lợi cho phát triển nông nghiệp, đặc biệt là các ngành trồng trọt và nuôi trồng thủy sản. Tuy nhiên, tỉnh cũng đang đối mặt với những thách thức nghiêm trọng từ biến đổi khí hậu, nổi bật là tình trạng xâm nhập mặn, gây ảnh hưởng tiêu cực đến sản xuất nông nghiệp và quản lý nguồn nước [1]. Một trong những mục tiêu quan trọng của Tỉnh Bến Tre trong giai đoạn 2021-2025 là nâng cao hiệu quả quản lý và khai thác công trình thủy lợi, nhằm ứng phó với biến đổi khí hậu, đảm bảo an ninh nguồn nước và hướng tới phát triển nông nghiệp bền vững [2]. Dù vậy, công tác lưu trữ và quản lý dữ liệu phục vụ quản lý công trình thủy lợi tại Bến Tre vẫn còn tồn tại nhiều hạn chế. Việc lưu trữ bằng giấy tờ hoặc tập tin số theo phương thức truyền thống gây khó khăn trong việc quản lý, tra cứu và chia sẻ thông tin, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu diễn biến phức tạp, đòi hỏi người quản lý cần nắm bắt kịp thời các thay đổi để đưa ra quyết định nhanh chóng và chính xác [3].

Liên hệ tác giả: Đỗ Thành Long
Email: dothanhlonggis@gmail.com

Với sự phát triển vượt bậc của công nghệ thông tin và hệ thống thông tin địa lý (GIS), đặc biệt là công nghệ WebGIS mã nguồn mở, đã mở ra cơ hội xây dựng các ứng dụng có khả năng thu thập, lưu trữ, quản lý và khai thác dữ liệu không gian một cách trực tuyến, linh hoạt và hiệu quả [4]. Trên thế giới, nhiều nghiên cứu đã chứng minh tính hiệu quả của GIS và WebGIS trong việc quản lý tài nguyên nước và công trình thủy lợi, góp phần nâng cao năng suất, hỗ trợ ra quyết định và thích ứng với biến đổi khí hậu [5], [6], [7]. Việc ứng dụng công nghệ này không chỉ là xu hướng của các quốc gia phát triển mà còn trở thành nhu cầu cấp thiết đối với các địa phương như Bến Tre, nơi chịu ảnh hưởng nặng nề từ các vấn đề môi trường và khí hậu.

Dựa trên nền tảng WebGIS mã nguồn mở, nghiên cứu này đã phát triển một hệ thống thông tin tích hợp nhằm hỗ trợ quản lý công trình thủy lợi tại Bến Tre. Hệ thống cung cấp các thông tin quan trọng như hạ tầng thủy lợi, dữ liệu thủy văn (mực nước, độ mặn), cùng các thông tin liên quan khác một cách kịp thời và trực quan. Ứng dụng WebGIS trong lĩnh vực thủy lợi không chỉ giúp theo dõi diễn biến tình hình quản lý nguồn nước mà còn hỗ trợ các nhà quản lý đưa ra quyết định trong việc vận hành công trình thủy lợi, từ đó nâng cao hiệu quả khai thác tài nguyên nước và đảm bảo sự phát triển

bền vững cho nông nghiệp Bến Tre trong bối cảnh biến đổi khí hậu ngày càng phức tạp.

2. Số liệu và phương pháp nghiên cứu

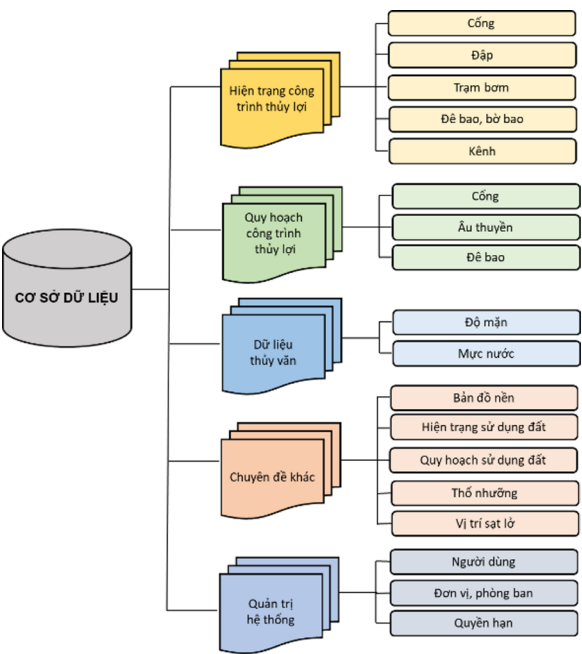
2.1. Dữ liệu

Hệ thống hỗ trợ quản lý công trình thủy lợi tại Bến Tre được xây dựng dựa trên việc tích hợp nhiều nguồn dữ liệu đa dạng nhằm cung cấp thông tin toàn diện và hỗ trợ hiệu quả cho công tác quản lý và ra quyết định. Các loại dữ liệu chính bao gồm (xem Hình 1).

Dữ liệu được thu thập từ nhiều nguồn như khảo sát thực địa thông qua ứng dụng di động, trạm quan trắc tự động, các cơ quan quản lý nhà nước (Công ty TNHH MTV Khai thác công trình thủy lợi Bến Tre, Chi cục Thủy lợi Bến Tre, Đài Khí tượng Thủy văn Bến Tre, Sở Tài nguyên và Môi trường Bến Tre) cùng với dữ liệu vệ tinh và ảnh viễn thám. Quá trình thu thập diễn ra định

kỳ và liên tục để đảm bảo tính cập nhật, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn ngày càng nghiêm trọng tại khu vực.

Dữ liệu sau khi thu thập được tích hợp vào một cơ sở dữ liệu không gian, cho phép lưu trữ, quản lý và truy vấn thông tin không gian cũng như thuộc tính một cách hiệu quả. Hệ thống ứng dụng công nghệ WebGIS để hiển thị dữ liệu dưới dạng bản đồ tương tác, biểu đồ và thống kê, giúp người dùng theo dõi tình hình thủy lợi, xâm nhập mặn và lập kế hoạch vận hành công trình theo không gian và thời gian. Việc duy trì cập nhật dữ liệu thường xuyên và đảm bảo chất lượng thông tin đóng vai trò quan trọng, nhằm cung cấp dữ liệu chính xác, kịp thời cho các nhà quản lý và người dân trong quản lý nguồn nước và ứng phó với các thách thức từ biến đổi khí hậu.



Hình 1. Danh mục dữ liệu

2.2. Phương pháp nghiên cứu

+ Phương pháp thu thập dữ liệu

Nhóm nghiên cứu tiến hành thu thập các dữ liệu thứ cấp và sơ cấp từ nhiều nguồn khác nhau để tổng hợp thành bộ cơ sở dữ liệu phục vụ quản lý công trình thủy lợi. Các dữ liệu về công trình thủy lợi được thu thập trực tiếp từ Công ty TNHH MTV Khai thác Công trình thủy lợi Bến

Tre kết hợp với số liệu từ Chi cục Thủy lợi Tỉnh Bến Tre. Bên cạnh đó, dữ liệu khí tượng thủy văn được thu thập từ Đài Khí tượng Thủy văn Bến Tre, dữ liệu nền và hiện trạng sử dụng đất được thu thập từ Sở Tài nguyên và Môi trường Tỉnh Bến Tre. Cơ sở dữ liệu sau khi xây dựng hoàn chỉnh sẽ được kết nối với các chức năng của phần mềm.

+ Phương pháp chuyển đổi, chuẩn hóa và biên tập cơ sở dữ liệu

Các dữ liệu bản đồ được thu thập nằm ở nhiều định dạng khác nhau như AutoCAD, MapInfo, MicroStation, Shapefile. Các dữ liệu này được chuyển đổi về định dạng và hệ tọa độ thống nhất thông qua phần mềm FME của Safe Software [8]. Định dạng sau khi chuyển đổi là Shapefile và sử dụng Hệ quy chiếu VN-2000. Trong đó, nghiên cứu sử dụng các phần mềm GIS chuyên dụng như ArcGIS, QGIS để biên tập và xử lý dữ liệu theo thiết kế của khung cơ sở dữ liệu.

Để xử lý nguồn dữ liệu đa dạng này, hệ thống chia làm 3 nhóm xử lý chính:

Nhóm dữ liệu được đưa trực tiếp vào server và lên web: Dữ liệu thời gian thực (độ mặn, mực nước, nhiệt độ) từ trạm quan trắc được truyền qua GSM/GPRS/4G và lưu vào CSDL PostgreSQL/PostGIS; dữ liệu hiện trường từ ứng dụng di động (độ mặn, sạt lở) được đồng bộ trực tiếp về hệ thống để kiểm duyệt; dữ liệu thời tiết từ Rainviewer và OpenWeatherMap được lấy qua API.

Nhóm dữ liệu xử lý bên ngoài rồi mới đưa vào server: Bản đồ nội suy độ mặn (GeoTIFF) được tạo từ dữ liệu trạm quan trắc bằng Python/SAGA-GIS, sau đó tải lên GeoServer; dữ liệu sử dụng đất, kết quả xử lý xong lưu vào CSDL.

Nhóm dữ liệu được server xử lý: GeoServer tạo các lớp bản đồ (WMS/WFS) từ CSDL để hiển thị trên WebGIS; máy chủ xử lý dữ liệu

thời gian thực để kích hoạt cảnh báo khi độ mặn vượt ngưỡng.

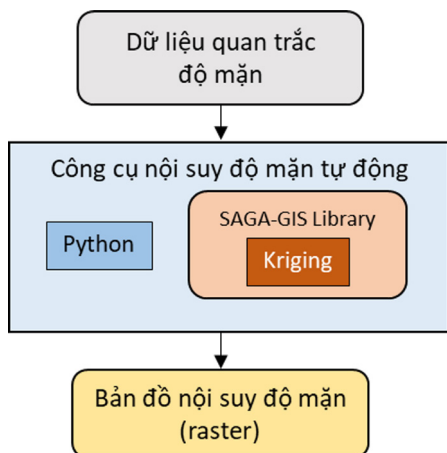
+ Phương pháp nội suy số liệu mặn

Nội suy không gian là kỹ thuật ước tính giá trị tại các điểm chưa biết dựa trên dữ liệu từ các điểm đã biết, với các phương pháp phổ biến như Inverse Distance Weight (IDW), Spline và Kriging, mỗi phương pháp có ưu điểm riêng tùy theo ứng dụng [9]. Trong đó, Kriging được ưa chuộng để nội suy các thông số chất lượng nước như nhiệt độ, độ mặn, pH và chlorophyll-a [10] [11], nhờ sử dụng mô hình thống kê và semi-variogram để xác định mối tương quan không gian [9]. Nghiên cứu của Murphy và cộng sự chỉ ra rằng Kriging vượt trội hơn trong nội suy độ mặn [12]. Nhóm nghiên cứu đã tích hợp Kriging vào công cụ “Phân tích, thống kê dữ liệu” để tự động hóa quy trình lập bản đồ xu thế xâm nhập mặn tại Bến Tre. Sử dụng Python và mô-đun Kriging của SAGA-GIS [13], hệ thống tự động nội suy dữ liệu độ mặn từ các điểm quan trắc, tạo bản đồ raster và hiển thị kết quả trên giao diện WebGIS (xem Hình 2). Đây là nội suy không gian thuần túy, không dựa trên mô hình hóa thủy lực.

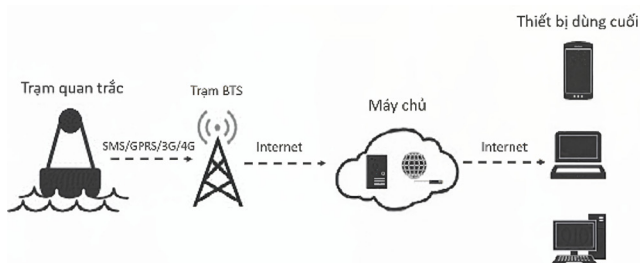
+ Phương pháp kết nối và khai thác dữ liệu từ trạm quan trắc tự động

Nghiên cứu sử dụng mô hình truyền dẫn dữ liệu từ trạm quan trắc về hệ thống như Hình 3.

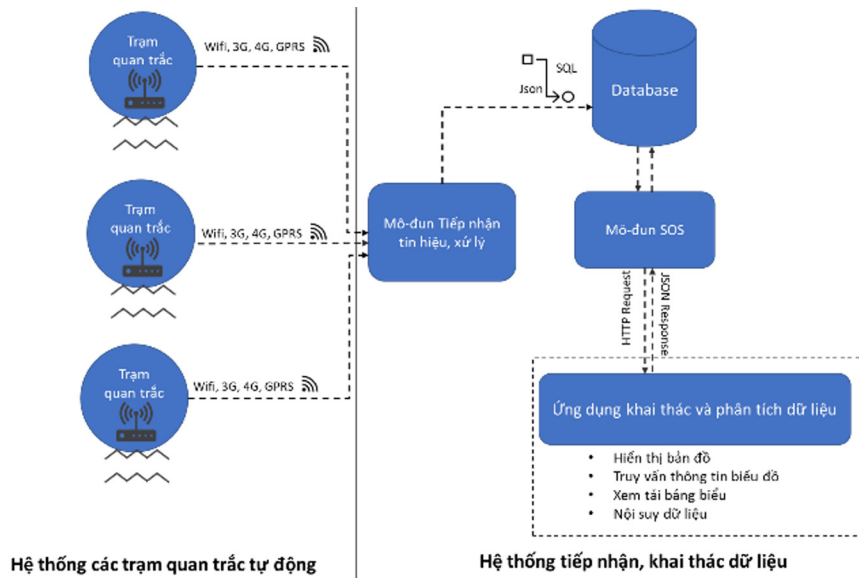
Tất cả thông tin quan trắc đều được lưu trữ tạm ở thiết bị quan trắc. Để chuyển những thông tin này về máy chủ, hệ thống sử dụng các đường truyền không dây như GSM, GPRS, 3G, 4G.



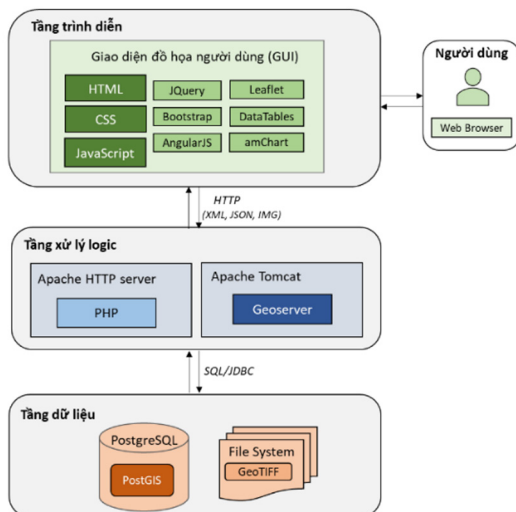
Hình 2. Công cụ nội suy mặn



Hình 3. Mô hình truyền dẫn dữ liệu quan trắc



Hình 4. Sơ đồ triển khai hệ thống quan trắc

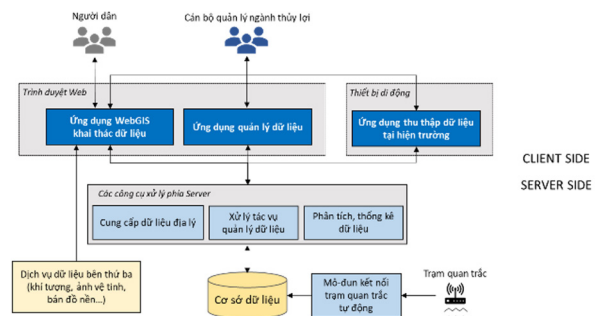


Hình 5. Sơ đồ kiến trúc hệ thống

Để khai thác dữ liệu được truyền về từ các trạm quan trắc, hệ thống sử dụng chuẩn Sensor Observation Service (SOS) [39] nằm trong bộ tiêu chuẩn Sensor Web Enablement (SWE) của OGC/ISO 19156: 2011, được tích hợp vào hệ thống theo sơ đồ tại Hình 4.

+ Phương pháp xây dựng WebGIS

Nhóm nghiên cứu tiến hành xây dựng WebGIS dựa trên công nghệ mã nguồn mở. Mô hình kiến trúc hệ thống gồm 3 tầng (Hình 5): Tầng cơ sở dữ liệu (database), tầng ứng dụng máy chủ (application server) và tầng giao diện



Hình 6. Kiến trúc tổng thể của hệ thống

người dùng (user interface).

Tầng cơ sở dữ liệu (database): Hệ quản trị cơ sở dữ liệu sử dụng là PostgreSQL [14]. Hệ quản trị cơ sở dữ liệu này được đánh giá là một trong các phần mềm mã nguồn mở tốt nhất, cung cấp đầy đủ các tính năng cơ bản của một hệ quản trị cơ sở dữ liệu đồng thời hỗ trợ lưu trữ và làm việc với dữ liệu không gian thông qua thư viện PostGIS [15]. Các dữ liệu không gian và phi không gian được nhóm nghiên cứu đưa vào cơ sở dữ liệu thông qua thư viện mở rộng PostGIS của PostgreSQL và phần mềm QGIS.

Tầng ứng dụng máy chủ (application server): Hệ thống sử dụng Web Server là Apache [16] và Tomcat [17] để xử lý các tác vụ liên quan đến Web trên server. Đồng thời sử dụng thư viện bản đồ mã nguồn mở GeoServer [18] để cung cấp các dịch vụ bản đồ trực tuyến (Web Map Service - WMS) [19].

Tầng giao diện người dùng (user interface): Các trình duyệt web (Google Chrome, Microsoft Edge, Mozilla Firefox,...) trên máy tính người dùng có thể chạy các ứng dụng WebGIS đã được lập trình sẵn. Nhóm nghiên cứu sử dụng ngôn ngữ lập trình PHP kết hợp ngôn ngữ SQL để truy vấn dữ liệu. Ngôn ngữ JavaScript và thư viện mã nguồn mở Leaflet [20] được sử dụng để xây dựng các chức năng giao diện người dùng như: Hiển thị biểu đồ - bản đồ, thu phóng, xem thông tin các đối tượng.

Hệ thống WebGIS được triển khai theo mô hình máy khách - máy chủ (xem Hình 6), mỗi thành phần có vai trò như sau:

Phía máy khách (Client side) bao gồm các thành phần chính như: Người dùng (cán bộ và người dân); Ứng dụng WebGIS khai thác dữ liệu, Ứng dụng quản lý dữ liệu và Ứng dụng thu thập dữ liệu tại hiện trường trên thiết bị di động. Thông qua các ứng dụng này, yêu cầu và phản hồi cho tác vụ của người dùng sẽ được trao đổi với phía máy chủ (Server side) thông qua giao thức HTTP (Hypertext Transfer Protocol).

Phía máy chủ (Server side) sẽ đóng vai trò là môi trường hoạt động của các công cụ chạy phía máy chủ. Công cụ cung cấp dữ liệu địa lý có vai trò kết nối với cơ sở dữ liệu để cung cấp dữ liệu bản đồ số cho các ứng dụng phía người dùng. Các dữ liệu này được cung cấp thông qua các định dạng WFS, WMS, WMTS... Công cụ quản lý dữ liệu được kết nối đến cơ sở dữ liệu để đảm nhận vai trò của các tác vụ về quản lý dữ liệu như thêm mới, cập nhật hoặc xóa dữ liệu. Công cụ phân tích, thống kê dữ liệu có vai trò chính trong việc khai thác các dữ liệu được lưu trữ để phân tích, tính toán nhằm đưa ra các thông tin mới. Từ đó hỗ trợ công tác ra quyết định cho người dùng.

Bên cạnh đó, mô-đun kết nối trạm quan trắc tự động cũng được xây dựng nhằm kết nối và lưu trữ dữ liệu gửi về từ hệ thống các trạm quan

trắc tự động. Dịch vụ dữ liệu của bên thứ ba được tích hợp vào Ứng dụng WebGIS khai thác dữ liệu nhằm truy xuất các thông tin như khí tượng, ảnh vệ tinh, bản đồ nền.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả

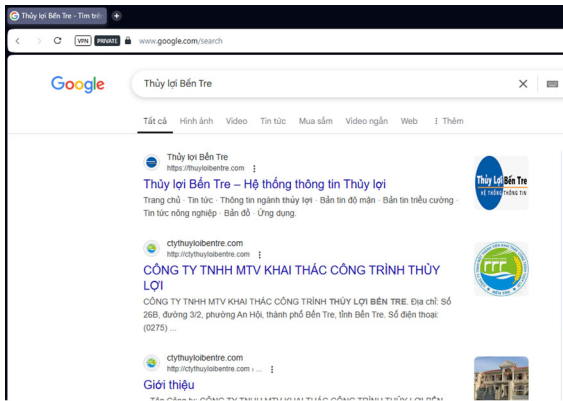
Hệ thống đã được triển khai thành công tại địa chỉ <https://thuyloibentre.com/>, hiện quản lý dữ liệu cho 2.337 công trình thủy lợi, bao gồm cống, đập, trạm bơm và kênh dẫn nước, cùng với dữ liệu mặt nước, độ mặn từ 15 trạm quan trắc thủy văn.

Công nghệ “bản đồ - biểu đồ - số liệu tương tác đa thời gian” được ứng dụng để hiển thị dữ liệu không gian công trình thủy lợi và số liệu thủy văn, hỗ trợ rất tốt cho công tác quản lý và phổ biến thông tin cho người dân. Hệ thống hiện đang giữ vị trí đầu tiên trên công cụ tìm kiếm Google cho từ khóa “Thủy lợi Bến Tre” (ngày 14/04/2025) (xem Hình 7), lượt truy cập đạt trung bình từ 17 đến 61 lượt truy cập mỗi ngày trong tháng (xem Hình 8) cho thấy tính hiệu quả, khả năng đáp ứng nhu cầu thông tin cho người dân của hệ thống.

Chức năng quản lý dữ liệu trực tuyến và phân quyền người dùng cũng đã được triển khai, cho phép cán bộ và người dân truy cập thông tin theo cấp độ, phân quyền phù hợp.

Thời gian cập nhật dữ liệu trung bình giảm từ 24 giờ (phương pháp đo đạc thủ công) xuống còn 15 phút (có thể tùy chỉnh thời gian này dài hoặc ngắn hơn tùy tình hình xâm nhập mặn ngoài hiện trường), điều này cải thiện đáng kể độ kịp thời và chính xác của thông tin. Ví dụ, khi so sánh với các hệ thống dựa trên báo cáo thủ công, hệ thống WebGIS cung cấp khả năng quan sát trực quan vị trí công trình và phân tích biến động thủy văn tức thời, điều mà các phương pháp truyền thống không thể thực hiện hiệu quả (xem Hình 9).

Các công cụ tính toán tự động của hệ thống cũng góp phần giảm thời gian từ quá trình tiếp nhận đủ số liệu mới đến lúc có được thông tin thống kê ảnh hưởng mặn, bản đồ nội suy (xem Hình 10), hiển thị số liệu đến tay người dân, tất cả quá trình đều được tự động hóa, có thể chạy 24/7 liên tục.



Hình 7. Vị trí tìm kiếm từ khóa Thủy lợi Bến Tre của hệ thống khi kiểm tra trên trình duyệt ẩn danh (nguồn: Google)



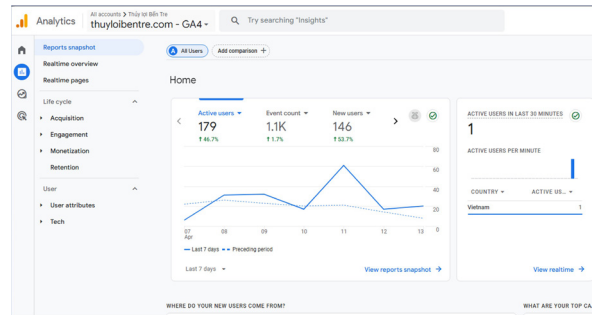
Hình 9. Chức năng thể hiện thông tin theo bản đồ - biểu đồ tương tác đa thời gian

Ngoài các chức năng trên, để hỗ trợ người dùng trong việc quản lý, cập nhật và chia sẻ thông tin, nghiên cứu đã xây dựng một số chức năng như: Quản lý và phân quyền người dùng; quản lý dữ liệu (thêm, xóa, cập nhật). Các chức năng này phục vụ cho các cán bộ thủy lợi ở các đơn vị, phòng ban chuyên môn khác nhau.

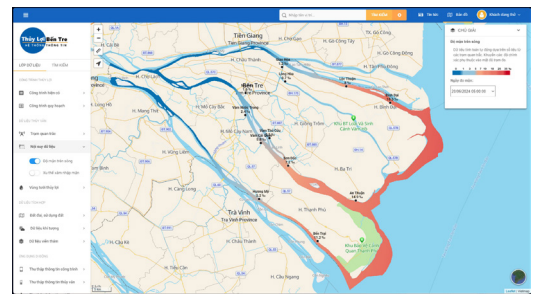
Bên cạnh ứng dụng WebGIS, nghiên cứu đã xây dựng ứng dụng trên thiết bị di động hỗ trợ công tác thu thập dữ liệu tại thực địa như: Mức nước, độ mặn, tình trạng công trình thủy lợi. Ứng dụng này được lập trình dựa trên công nghệ ứng dụng lai (Hybrid Apps). Các dữ liệu này được kết nối và lưu trữ trực tiếp trên server nhằm hỗ trợ các cán bộ đưa ra các quyết định kịp thời.

3.2. Thảo luận

So sánh với các phương pháp quản lý thủy lợi truyền thống, hệ thống này vượt trội nhờ khả năng cập nhật dữ liệu thời gian thực và tích hợp dữ liệu đa nguồn. Tuy nhiên, hệ thống vẫn tồn tại một số hạn chế - dữ liệu hiện tại chủ yếu



Hình 8. Lượt truy cập hệ thống trong tháng (nguồn: Google analytics)



Hình 10. Trực quan hóa số liệu xâm nhập mặn theo không gian

tập trung vào các công trình thủy lợi chính và thông tin thủy văn cơ bản, chưa bao gồm các thông số quan trọng như chất lượng nước hoặc tình trạng môi trường. Để khắc phục những hạn chế này, chúng tôi đề xuất mở rộng phạm vi dữ liệu trong tương lai, bao gồm các thông số môi trường bổ sung như chất lượng nước và tích hợp các mô hình dự báo tiên tiến dựa trên học máy. Các chương trình đào tạo chuyên sâu cũng sẽ được triển khai để nâng cao kỹ năng sử dụng hệ thống cho cán bộ và người dân. Đặc biệt, trong bối cảnh xâm nhập mặn và biến đổi khí hậu gia tăng tại Bến Tre, việc thu thập thêm dữ liệu từ các vùng nhạy cảm thông qua ứng dụng di động sẽ là ưu tiên để tăng cường khả năng thích ứng.

Như vậy, thông qua các chức năng trên của hệ thống, giải pháp này không chỉ nâng cao năng lực quản lý nguồn nước của các cơ quan chức năng mà còn hỗ trợ cộng đồng trong việc ứng phó với các thách thức môi trường, đặc biệt trong bối cảnh biến đổi khí hậu và xâm nhập mặn ngày càng gia tăng như:

- Nâng cao năng lực quản lý: Việc tích hợp dữ liệu không gian và số liệu thủy văn vào một hệ thống duy nhất cung cấp cho các nhà quản lý cái nhìn tổng quan và chi tiết về tình hình nguồn nước. Điều này hỗ trợ đưa ra các quyết định nhanh chóng và chính xác, đặc biệt trong các tình huống khẩn cấp như xâm nhập mặn hoặc thiếu hụt nước cho sản xuất nông nghiệp.

- Hỗ trợ ra quyết định: Ứng dụng WebGIS với các công cụ phân tích không gian và biểu đồ trực quan cho phép theo dõi và lập kế hoạch vận hành công trình hiệu quả. Ví dụ, các biểu đồ biến động mực nước và độ mặn giúp xác định thời điểm cần đóng/mở cống để điều tiết nước.

- Tăng cường khả năng thích ứng của cộng đồng: Hệ thống không chỉ phục vụ các nhà quản lý mà còn cung cấp thông tin cho người dân thông qua khả năng phân quyền linh hoạt. Người dân có thể dễ dàng tiếp cận dữ liệu về tình hình nguồn nước, từ đó chủ động điều chỉnh hoạt động sản xuất và thích ứng với biến đổi khí hậu.

Mặc dù nghiên cứu sử dụng các công nghệ GIS có sẵn, tuy nhiên hệ thống đã tích hợp các chức năng của GIS với các hệ thống khác như IoT, các thiết bị di động, và tự động hóa quy trình, tạo ra một hệ thống quản lý thủy lợi khép kín và hiệu quả. Hệ thống được tùy chỉnh cho nhu cầu quản lý xâm nhập mặn tại Bến Tre, bao gồm phát triển chức năng tích hợp giữa chức năng tự động nội suy khi có dữ liệu mới từ các trạm quan trắc (IoT), tự động tích hợp dữ liệu nội suy mới cho GeoServer để cung cấp dịch vụ bản đồ tự động, tức thời. Kết nối với hệ thống WebGIS để hỗ trợ hiển thị dữ liệu thời gian thực. So với các hệ thống GIS truyền thống, giải pháp này cung cấp khả năng xử lý dữ liệu đa nguồn và tự động hóa, cảnh báo, mang lại giá trị vượt trội trong quản lý nguồn nước - Đây là tính mới, sáng tạo của nghiên cứu này so với các hệ thống truyền thống.

4. Kết luận

Nghiên cứu đã phát triển một hệ thống tích hợp gồm WebGIS mã nguồn mở, ứng dụng di động và trạm quan trắc tự động, cung cấp thông tin cập nhật để quản lý thủy lợi và hỗ trợ cộng đồng tại Bến Tre. Hệ thống sử dụng kiến trúc client-server: Phía máy khách có giao diện WebGIS và ứng dụng di động, phía máy chủ xử lý dữ liệu địa lý, API và phân tích thống kê. Quá trình vận hành khép kín từ thu thập dữ liệu độ mặn đến phân tích tự động được thực hiện bằng Python, các thư viện GIS (GeoPandas, SAGA-GIS) và phương pháp Kriging để nội suy, cùng với tiêu chuẩn OGC SOS để tích hợp trạm quan trắc.

Hệ thống triển khai tại <https://thuyloibentre.com/>, quản lý dữ liệu cho 2.337 công trình thủy lợi và thông tin từ 15 trạm quan trắc thủy văn (mực nước, độ mặn). So với phương pháp thủ công, hệ thống cải thiện đáng kể khả năng trực quan hóa dữ liệu không gian và hỗ trợ ra quyết định nhờ tích hợp dữ liệu đa nguồn, rút ngắn đáng kể thời gian từ lúc có số liệu thô về độ mặn, thủy văn đến khi các thông tin phân tích, thống kê được công bố cho người dân. Tuy nhiên, dữ liệu hiện chỉ tập trung vào công trình chính và thông số cơ bản, thiếu yếu tố như chất lượng nước hay môi trường. Tương lai, nghiên cứu đề xuất mở rộng dữ liệu, bổ sung thông số môi trường và tích hợp mô hình dự báo tiên tiến để tăng khả năng ứng phó biến đổi khí hậu, đặc biệt là xâm nhập mặn tại Bến Tre.

Như vậy, hệ thống thông tin thủy lợi dựa trên WebGIS mã nguồn mở không chỉ là một giải pháp hiệu quả trong việc hiện đại hóa công tác quản lý thủy lợi tại Bến Tre, mà còn là tiền đề cho những cải tiến sâu rộng hơn cho các lĩnh vực khác trong bối cảnh số hóa dữ liệu, số hóa quy trình mà chính phủ đang khuyến khích [21], [22].

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng: Trần Thái Bình, Đỗ Thành Long; Xử lý số liệu: Lê Ngọc Trâm Anh; Thiết kế, xây dựng hệ thống: Đỗ Thành Long, Trần Thái Bình, Lê Ngọc Trâm Anh; Triển khai: Đỗ Thành Long.

Lời cảm ơn: Bài báo hoàn thành nhờ vào kết quả của nhiệm vụ: “Xây dựng hệ thống thu thập số liệu tự động và hỗ trợ ra quyết định trong công tác quản lý và khai thác công trình thủy lợi Tỉnh Bến Tre trong bối cảnh biến đổi khí hậu”, xin chân thành cảm ơn Sở khoa học và Công nghệ Tỉnh Bến Tre, Công ty TNHH MTV Khai thác công trình thủy lợi Bến Tre, Chi cục Thủy lợi Bến Tre, Đài Khí tượng Thủy văn Bến Tre và Sở Tài nguyên và Môi trường Bến Tre đã hỗ trợ cung cấp số liệu thực hiện nghiên cứu này.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của mình, chưa từng công bố trước đó, không sao chép, đạo văn; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Tổng cục Phòng chống thiên tai (2020), *Báo cáo Tổng hợp tình hình hạn hán, xâm nhập mặn Khu vực miền nam 2019-2020*.
2. Bộ Nông nghiệp và Phát triển nông thôn (2014), *Quyết định số 794 ngày 21 tháng 4 năm 2014 về việc phê duyệt Đề án Tái cơ cấu ngành thủy lợi*.
3. N. Khan Mohammadi (2019), "A Review on GIS in Irrigation and Water Management," *International Journal of Engineering Research & Technology*, vol. 8, no. 05, pp. 853-857.
4. Christian Harder (1998), *Serving Maps on the Internet: geographic information on the world wide web*, no. Environmental Systems Research Institute, 130 pages.
5. J. W. Knox and E. K. Weatherfield (1999), "The Application of GIS to Irrigation Water Resource Management in England and Wales," *Geogr J*, vol. 165, no. 1, p. 90-98, Mar. 1999, doi: 10.2307/3060513.
6. S. Dayyani et al. (2003), "Irrigation and drainage system management using GIS: case study," *The Canadian society for engineering in agriculture, food, and biological systems*, no. 03, p. 11.
7. M. Todorovic and P. Steduto (2003), "A GIS for irrigation management," *Physics and Chemistry of the Earth, Parts A/B/C*, vol. 28, no. 4-5, pp. 163-174, Jan., doi: 10.1016/S1474-7065(03)00023-8.
8. *FME by Safe Software - The All-Data Platform*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://fme.safe.com/>
9. J. Li and A. D. Heap (2008), *A Review of Spatial Interpolation Methods for Environmental Scientists*, Australian Geological Survey Organisation, vol. Geoscience, no. Record 2008/23, p. 137, doi: http://www.ga.gov.au/image_cache/GA12526.pdf.
10. H. A. M. Atta (2020), "Assessment and geographic visualization of salinity of Tigris and Diyala Rivers in Baghdad City", *Environ Technol Innov*, vol. 17, p. 100538, doi: 10.1016/j.eti.2019.100538.
11. M. Karamouz et al. (2005), "Water quality monitoring network for river systems: Application of ordinary kriging," *World Water Congress 2005: Impacts of Global Climate Change - Proceedings of the 2005 World Water and Environmental Resources Congress*, vol. 1, pp. 91-103, doi: 10.1061/40792(173)91.
12. R. R. Murphy et al. (2010), "Comparison of spatial interpolation methods for water quality evaluation in the chesapeake bay," *Journal of Environmental Engineering*, vol. 136, no. 2, pp. 160-171, doi: 10.1061/(ASCE)EE.1943-7870.0000121.
13. *Module Ordinary Kriging*, SAGA-GIS Module Library Documentation (v2.2.2). Online: https://saga-gis.sourceforge.io/saga_tool_doc/2.2.3/statistics_kriging_0.html
14. *PostgreSQL: The world's most advanced open source database*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://www.postgresql.org/>
15. *PostGIS - Spatial and Geographic Objects for PostgreSQL*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://access.crunchydata.com/documentation/postgis/latest/>
16. *Welcome! - The Apache HTTP Server Project*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://httpd.apache.org/>
17. *Apache Tomcat® - Welcome!*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://tomcat.apache.org/>
18. Trần Văn Anh và Mai Văn Sỹ (2013), "Nghiên cứu giải pháp chia sẻ dữ liệu địa lý trên phần mềm mã nguồn mở GeoServer", *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mở - Địa chất*, số 43, 83-87. Truy cập: http://tapchi.humg.edu.vn/public/uploads/files/13._Tran_Van_Anh.doc
19. *Web Map Service (WMS) Standard | OGC Publications*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available:

<https://www.ogc.org/publications/standard/wms/>

20. *Leaflet - a JavaScript library for interactive maps*, Accessed: Mar. 20, 2025. [Online]. Available: <https://leafletjs.com/>
21. TOÀN VẤN: Nghị quyết số 57-NQ/TW về đột phá phát triển khoa học, công nghệ, đổi mới sáng tạo, chuyển đổi số quốc gia, Báo điện tử chính phủ Xây dựng chính sách, pháp luật, 20/3/2025. Trực tuyến: <https://xaydungchinhhsach.chinhphu.vn/toan-van-nghi-quyet-ve-dot-pha-phat-trien-khoa-hoc-cong-nghe-doi-moi-sang-tao-va-chuyen-doi-so-quoc-gia-119241224180048642.htm>
22. Thủ tướng Chính phủ (2020), Quyết định số 749/QĐ-TTg của Thủ tướng Chính phủ: Phê duyệt 'Chương trình Chuyển đổi số quốc gia đến năm 2025, định hướng đến năm 2030', 20/3/2025, Trực tuyến: <https://chinhphu.vn/default.aspx?pageid=27160&docid=200163>.

BUILDING THE IRRIGATION INFORMATION SYSTEM OF BEN TRE PROVINCE

Do Thanh Long⁽¹⁾, Tran Thai Binh⁽¹⁾, Le Ngoc Tram Anh⁽¹⁾

⁽¹⁾Vietnam National Space Center

Received: 20/3/2025; Accepted: 18/4/2025

Abstract: The article presents a study on the application of open source WebGIS technology to build an information system to support the management of irrigation works in Ben Tre province. The system integrates data on irrigation works, hydrology and salinity and water level monitoring data. The system provides functions such as interactive map display, charts and statistics, thereby helping the system monitor water resources and plan effective operation of works. The results show that the application of open source WebGIS technology to build an irrigation information system is completely feasible, besides, the system also contributes to improving the management capacity of local officials, while supporting people and businesses to respond to climate change. This is a promising tool for sustainable irrigation management in Ben Tre.

Keywords: Irrigation, information system, WebGIS, Ben Tre.