



Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <https://jmes.humg.edu.vn>



Developing an application within the coastal flood risk warning system: Pilot study in Quang Nam province



Trong Gia Nguyen^{1,2}, Quy Ngoc Bui³, Quang Ngoc Pham^{1,2}, Cuong Van Nguyen^{2,4},
Phuong Thanh Nguyen⁵, Tung Son Vu^{1,5,*}

¹ Hanoi University of Mining and Geology, Hanoi, Vietnam

² Geodesy and Environment Research Group (HUMG), Hanoi, Vietnam

³ VNU - Central Institute for Natural Resources and Environmental Studies (VNU-CRES), Hanoi, Vietnam

⁴ The Vietnam Agency of Seas and Islands, Hanoi, Vietnam

⁵ GeoPro Consulting Joint Stock Company, Hanoi, Vietnam

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16th Feb. 2024

Revised 07th June 2024

Accepted 22nd Aug. 2024

Keywords:

Coastal areas,
Floods,
Mobile applications,
Natural disasters,
WebGIS.

ABSTRACT

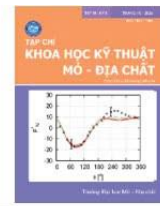
Flooding is one of the common natural hazards in coastal areas of Vietnam, attributed to the influence of climate change. Establishing a robust infrastructure and tools to support flood warning systems is crucial and necessary to enhance the effectiveness of early warnings. An integrated warning mechanism comprises physical components (such as sensors and computers), software applications for data processing and analysis, databases, and stakeholders including governmental agencies and local communities. Among these, community participation is a crucial aspect, aiding in the collection and dissemination of vital information for warning systems during natural disasters. Despite numerous studies focusing on developing support and warning systems for natural disasters in Vietnam, community involvement has not been sufficiently emphasized in the outcomes of these studies. This article presents the results of developing computer programs and mobile applications for flood warning services in coastal areas. Specifically, a flood risk warning map is generated using a 1D-CNN deep learning model experimented in Quang Nam province. The experimental mobile application allows community participation by enabling them to provide real-time information on the flood situation, facilitating the system's analysis, processing, updating, and integration of data into the established database to issue flood risk warnings for the research area.

Copyright © 2024 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: tungvs@geopro.vn

DOI: 10.46326/JMES.2024.65(5).05



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <https://tapchi.humg.edu.vn>

Xây dựng chương trình ứng dụng cho hệ thống cảnh báo nguy cơ ngập lụt các vùng ven biển: Nghiên cứu thí điểm tại tỉnh Quảng Nam

Nguyễn Gia Trọng^{1,2}, Bùi Ngọc Quý³, Phạm Ngọc Quang^{1,2}, Nguyễn Văn Cường^{2,4}, Nguyễn Thanh Phương⁵, Vũ Sơn Tùng^{1,5,*}

¹ Trường Đại học Mỏ - Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Nhóm nghiên cứu Trắc địa cao cấp - môi trường (HUMG), Hà Nội, Việt Nam

³ Viện Tài nguyên và Môi trường, Đại học Quốc gia Hà Nội, Việt Nam

⁴ Cục Biển và Hải đảo, Hà Nội, Việt Nam

⁵ Công ty Cổ phần Tư vấn GeoPro, Hà Nội, Việt Nam

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 16/02/2024

Sửa xong 07/6/2024

Chấp nhận đăng 22/8/2024

Từ khóa:

Ngập lụt,

Thiên tai,

Ứng dụng điện thoại,

Vùng ven biển,

WebGIS.

TÓM TẮT

Ngập lụt là một trong những tai biến thiên nhiên phổ biến tại các khu vực ven biển của Việt Nam, do ảnh hưởng của biến đổi khí hậu. Việc xây dựng một hệ thống cơ sở hạ tầng và công cụ hỗ trợ các hệ thống cảnh báo ngập lụt mạnh mẽ là điểm trọng yếu và cần thiết để tăng cường hiệu quả của các cảnh báo sớm. Một cơ chế cảnh báo tích hợp bao gồm các thành phần vật lý (như cảm biến và máy tính), ứng dụng phần mềm để xử lý và phân tích dữ liệu, cơ sở dữ liệu và các bên liên quan bao gồm các cơ quan chính phủ và cộng đồng địa phương. Trong số này, sự tham gia của cộng đồng là một khía cạnh quan trọng, giúp thu thập và phổ biến thông tin quan trọng cho các hệ thống cảnh báo trong các thảm họa tự nhiên. Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu tập trung vào việc phát triển các hệ thống hỗ trợ và cảnh báo cho thảm họa tự nhiên tại Việt Nam, nhưng sự tham gia của cộng đồng vẫn chưa được chú ý nhiều trong kết quả của những nghiên cứu đó. Bài viết này trình bày các kết quả của việc phát triển các chương trình máy tính và ứng dụng di động dành cho dịch vụ cảnh báo ngập lụt tại các khu vực ven biển. Cụ thể, một bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt được tạo ra bằng cách sử dụng mô hình học sâu 1D-CNN được thử nghiệm tại tỉnh Quảng Nam. Ứng dụng di động thử nghiệm cho phép cộng đồng tham gia bằng cách cho họ cung cấp thông tin thời gian thực về tình hình ngập lụt, từ đó hệ thống phân tích, xử lý, cập nhật và tích hợp dữ liệu vào cơ sở dữ liệu đã xây dựng để đưa ra các cảnh báo nguy cơ lụt lội cho khu vực nghiên cứu.

© 2024 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

*Tác giả liên hệ

E - mail: tungvs@geopro.vn

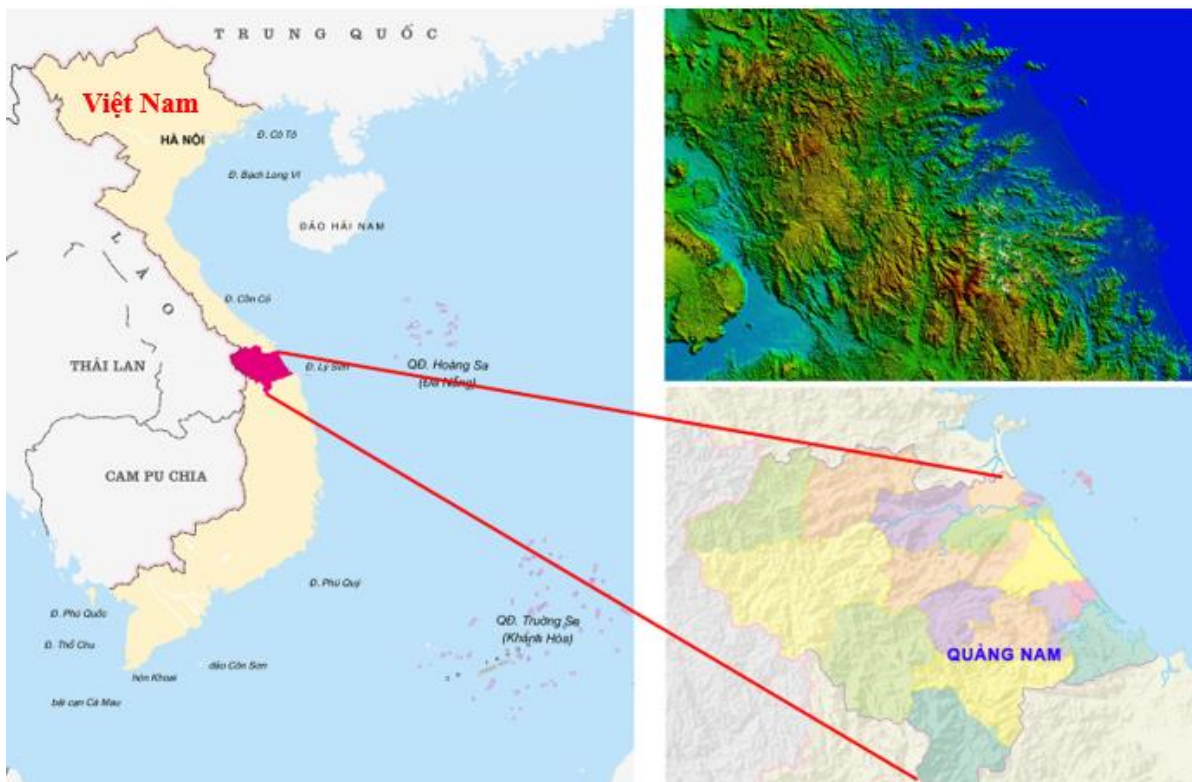
DOI: 10.46326/JM3ES.2024.65(5).05

1. Mở đầu

Ngập lụt là một trong các dạng thiên tai đã và đang xảy ra với cường độ ngày càng gia tăng, đặc biệt là trong bối cảnh biến đổi khí hậu như hiện nay. Một khi thiên tai xảy ra sẽ để lại những hậu quả nặng nề về kinh tế, an sinh xã hội cũng như các vấn đề về môi trường. Công tác nghiên cứu phòng tránh và giảm nhẹ thiên tai trong những năm qua đã và đang được quan tâm nhiều, đặc biệt là các nghiên cứu xây dựng hệ thống cảnh báo thiên tai nói chung và cảnh báo ngập lụt nói riêng. Trong những năm qua, trên thế giới đã có nhiều nghiên cứu về xây dựng hệ thống cảnh báo thiên tai đã và đang được nghiên cứu triển khai tại nhiều nơi trên thế giới (Changjun và nnk., 2018). Các hệ thống cảnh báo thiên tai chủ yếu được phát triển theo hai hướng chính: (1) hệ thống phân tích và cảnh báo dựa trên nền tảng WebGIS (Trần, 2011; Bùi và nnk., 2011; Nguyễn và nnk., 2013; Lê, 2018; Nguyễn & Đình, 2021; Trần và nnk., 2022; Đoàn và nnk., 2022); (2) Hệ thống cảnh báo tích hợp trên thiết bị di động thông minh (Jayashree và nnk. 2017; Salami và nnk., 2018; Syahaneim và nnk., 2018; Mohd Faizal Omar và nnk., 2020). Quá trình

xây dựng hệ thống cảnh báo các nghiên cứu chủ yếu tập trung vào các khía cạnh sử dụng công nghệ hiện đại như: Trí tuệ nhân tạo (AI) (Nguyễn, 2023; Nguyễn và nnk., 2023), học máy (Machine Learning - ML) (Salami và nnk., 2018; Nguyen và nnk., 2023), Internet vạn vật - IoT (Jayashree và nnk., 2017; Iswanto và nnk., 2021), Hệ thống tin địa lý (GIS), WebGIS, cũng như các mô hình phân tích không gian (Nguyễn và nnk., 2023; Duminda và nnk., 2019, 2020),...

Ở một hướng tiếp cận khác Đỗ Trọng Tuấn (Đỗ & Nguyễn, 2012) đã xây dựng hệ thống giúp có thể theo dõi được tai biến thiên tai thông qua hình ảnh. Hình ảnh thiên tai từ thực địa mà các máy quay ghi nhận được sẽ được truyền về trung tâm quản lý và cộng đồng thông qua mạng internet. Các tác giả (Vũ và nnk., 2021) đã xây dựng giải pháp truyền thanh không dây. Đây là giải pháp hiệu quả bởi khi thiên tai xảy ra, các hệ thống truyền thanh có dây và liên quan đến lưới điện có khả năng rất lớn bị phá hủy và không hoạt động được. Tác giả Trần Văn Trung và cộng sự (Trần và nnk., 2020) cũng đã nghiên cứu ứng dụng mạng không dây LoRa để xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt thời gian thực.



Hình 1. Vị trí của khu vực thực nghiệm.

Thực tế cho thấy, các công cụ hỗ trợ cảnh báo thiên tai, lũ lụt tại Việt Nam hiện nay mới chỉ tuân thủ cung cấp thông tin tới cơ quan quản lý và cộng đồng thông qua WebGIS mà chưa có công cụ trên ứng dụng di động cũng như chưa có tính năng để cộng đồng tương tác với hệ thống. Bài báo trình bày kết quả xây dựng chương trình máy tính (WebGIS và ứng dụng trên điện thoại di động) cảnh báo nguy cơ ngập lụt cho các vùng ven biển thực nghiệm tại Quảng Nam.

2. Dữ liệu và phương pháp nghiên cứu

2.1. Khu vực và dữ liệu nghiên cứu

Khu vực nghiên cứu trong bài báo này là tỉnh Quảng Nam (Hình 1). Quảng Nam là một tỉnh thường xuyên chịu ảnh hưởng của ngập lụt với tần suất các trận lụt lớn khoảng 2 năm một lần (Nguyễn, 2023).

Dữ liệu đầu vào để thành lập bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt trong nghiên cứu này bao gồm: (1) Mô hình số độ cao được cung cấp bởi JAXA; (2) Ảnh vệ tinh Sentinel-1, Landsat 8/9; (3) Bản đồ địa chất tỷ lệ 1:200.000 công bố bởi Bộ Tài nguyên và Môi trường; (4) Bản đồ thổ nhưỡng tỷ lệ 1:100.000 được công bố bởi Bộ Nông nghiệp và phát triển nông thôn; (5) Thông tin về che phủ đất được cung cấp bởi JAXA; (6) Dữ liệu lượng mưa với độ phân giải 0,50 x 0,50 cung cấp bởi NASA; (7) Thông tin về thủy văn được lấy từ OpenStreet Map.

Các thông tin chi tiết về dữ liệu được sử dụng trong nghiên cứu được mô tả bởi các tác giả (Nguyễn, 2023).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Chương trình máy tính thuộc hệ thống cảnh báo nguy cơ ngập lụt trong trường hợp này được xây dựng theo như quy trình trong Hình 2.

2.2.1. Phương pháp xây dựng cơ sở dữ liệu đầu vào

Từ các loại dữ liệu đầu vào, biên tập để xây dựng các lớp thông tin trung gian như sau:

Thông tin về ngập lụt trong quá khứ thành lập được bằng việc sử dụng phần mềm SNAP để phân tích ảnh vệ tinh Sentinel-1. Kết quả của quá trình này sẽ thu được các khu vực bị ngập trong quá khứ ở dạng raster. Sau đó, các khu vực ngập trong quá khứ sẽ được số hóa để có được thông tin ở dạng véc tơ.

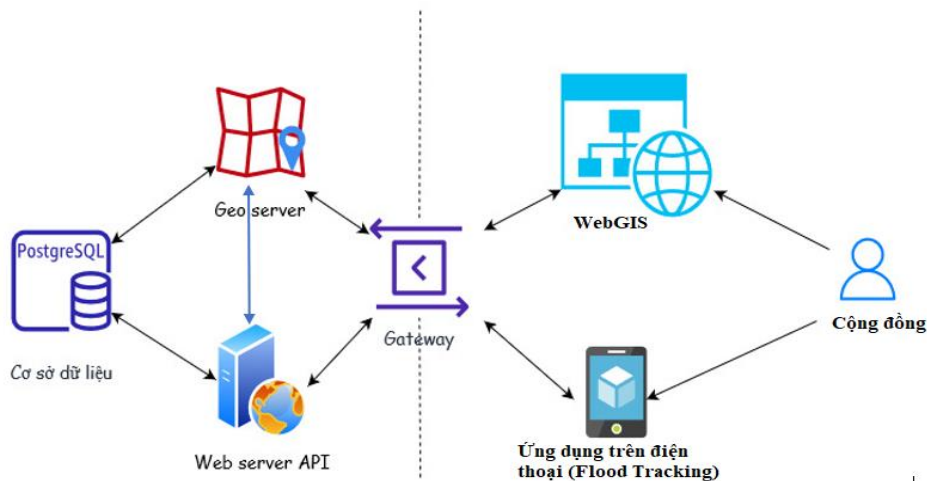
Từ DEM, biên tập được các lớp thông tin trung gian bao gồm độ dốc, độ cao, hướng dốc, biến đổi địa hình, chỉ số độ ẩm địa hình sử dụng phần mềm ArcGIS pro.

Mật độ sông (km/km²) được xây dựng dựa vào thông tin lớp thủy văn lấy từ OpenStreet Map.

NDVI, NDWI được xây dựng từ ảnh vệ tinh Landsat 8/9.

Thông tin về địa chất được biên tập lại theo hướng ghép các loại đá có diện tích phân bố không gian nhỏ và lớp đá có độ cứng gần tương tự. Thông tin về thổ nhưỡng cũng được biên tập tương tự như khi biên tập thông tin về địa chất.

Từ dữ liệu lượng mưa thu nhận được trong giai đoạn từ năm 2017 đến năm 2020, lựa chọn khoảng thời gian xảy ra ngập lụt để xác định được lượng mưa lớn nhất tại các điểm mắt lưới trong cả giai đoạn khảo sát. Sau đó, xây dựng được lớp thông tin về lượng mưa.



Hình 2. Thiết kế tổng thể chương trình máy tính cảnh báo lũ lụt.

Từ lớp thông tin che phủ đất đầu vào, biên tập lại thành lớp thông tin che phủ mới bao gồm: đất nuôi trồng thủy sản, đất cần cỗi, đất trồng trọt, đất rừng, đất ruộng, đất đồng cỏ, đất ở, cây bụi và nước mặt.

2.2.2. Phương pháp xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt

Các lớp thông tin trung gian như đã đề cập trong phần trên mới chỉ là các thông tin ở dạng raster, véc tơ và có đơn vị khác nhau. Để có thể sử dụng mô hình học máy, trí tuệ nhân tạo xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt cần phải chuyển đổi các lớp thông tin về dạng số và cùng đơn vị. Dữ liệu đầu vào ở dạng số được biên tập theo định dạng dữ liệu của phần mềm Weka. Trong đó, bộ dữ liệu có số hàng tương đương với số điểm ngập lụt trong quá khứ được chia thành dữ liệu huấn luyện và dữ liệu kiểm tra. Chi tiết của phương pháp xây dựng các lớp dữ liệu tham khảo (Nguyễn và nnk., 2023).

Trên cơ sở bộ dữ liệu đã có, sử dụng mô hình học sâu 1D-CNN để xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt (Nguyễn, 2023)

2.2.3. Phương pháp xây dựng WebGIS và ứng dụng trên điện thoại di động

Công cụ Geoserver, Web server API, PostgreSQL được sử dụng để xây dựng WebGIS.

Giải pháp sử dụng Geoserver có ưu điểm đó là trong quá trình sử dụng không phải trả phí. Quy trình xây dựng WebGIS được mô tả như Hình 3.

Ứng dụng điện thoại di động được xây dựng sử dụng ngôn ngữ flutter được đặt tên là Flood Tracking. Ứng dụng này cho phép người sử dụng theo dõi thông tin trên WebGIS và cập nhật thông tin vào hệ thống.

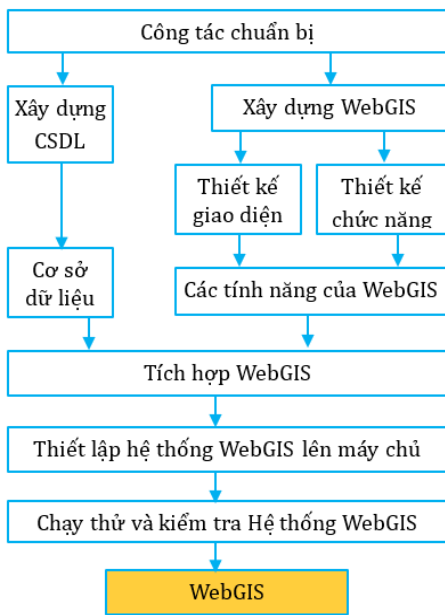
3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả xây dựng bản đồ nguy cơ ngập lụt với sự hỗ trợ của mô hình học sâu

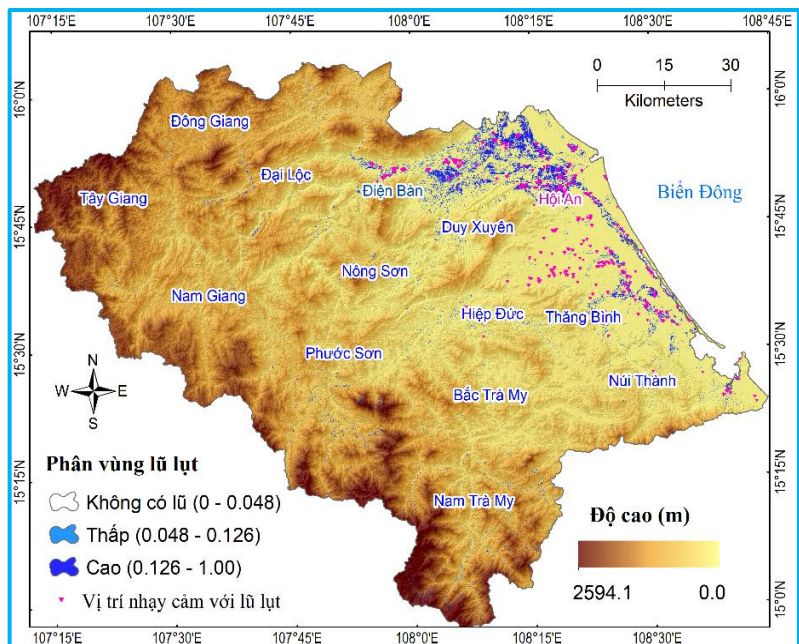
Từ các lớp thông tin đầu vào, trên cơ sở sử dụng mô hình học sâu 1D-CNN (Nguyễn, 2023), đã xây dựng được bản đồ nguy cơ ngập lụt tại tỉnh Quảng Nam như Hình 4.

Hiệu quả của mô hình đã được đánh giá thông qua các yếu tố đặc trưng như hệ số Kapa, độ chính xác, hiệu suất của mô hình với chỉ số AUC... Bên cạnh đó, kết quả xác định bởi mô hình 1D-CNN còn được so sánh với 3 mô hình đối chứng là Deep Neural Network, Support Vector Machine và Logistic Regression. Kết quả thống kê cho thấy khả năng vượt trội của mô hình 1D-CNN so với các mô hình còn lại (Nguyen, 2023).

Kết quả thống kê cho thấy 165,7 km² (chiếm 1,58% diện tích) có mức nguy cơ ngập lụt cao; 44,1 km² (chiếm 0,42% diện tích) có mức nguy cơ



Hình 3. Quy trình xây dựng WebGIS.



Hình 4. Bản đồ nguy cơ ngập lụt tại tỉnh Quảng Nam

ngập lụt thấp và 10292,5 km² (ứng với 98% diện tích) không có nguy cơ ngập lụt. Kết quả tính toán nguy cơ ngập lụt trong nghiên cứu này tương đồng với kết quả đã được công bố trước đó (Nguyễn, 2023).

3.2. Kết quả xây dựng hệ thống WebGIS

Kết quả cuối cùng nhóm nghiên cứu đã thiết kế và xây dựng được hệ thống WebGIS được cài đặt trên máy chủ ảo để chạy thử và kiểm tra lỗi hệ thống cũng như các lỗi của từng chức năng. Hệ thống WebGIS được thiết kế bao gồm 4 thành phần chính: (1) lớp thông tin về các lớp dữ liệu thành phần, thông tin về nguy cơ ngập lụt; (2) lớp ranh giới hành chính các cấp; (3) thống kê thông tin ngập lụt do cộng đồng cung cấp và (4) màn hình đồ họa để hiển thị các loại thông tin. Bên cạnh đó, còn có một số công cụ như vẽ đối tượng, biên tập các đối tượng đã vẽ, xuất các đối tượng đã vẽ (Hình 5).

Hệ thống WebGIS đã được xây dựng có chức năng quản lý thống nhất các lớp dữ liệu đầu bản đồ vào, hiển thị bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt đã được xây dựng dựa trên mô hình trí tuệ nhân tạo. Các thông tin về sự thay đổi của các điểm ngập

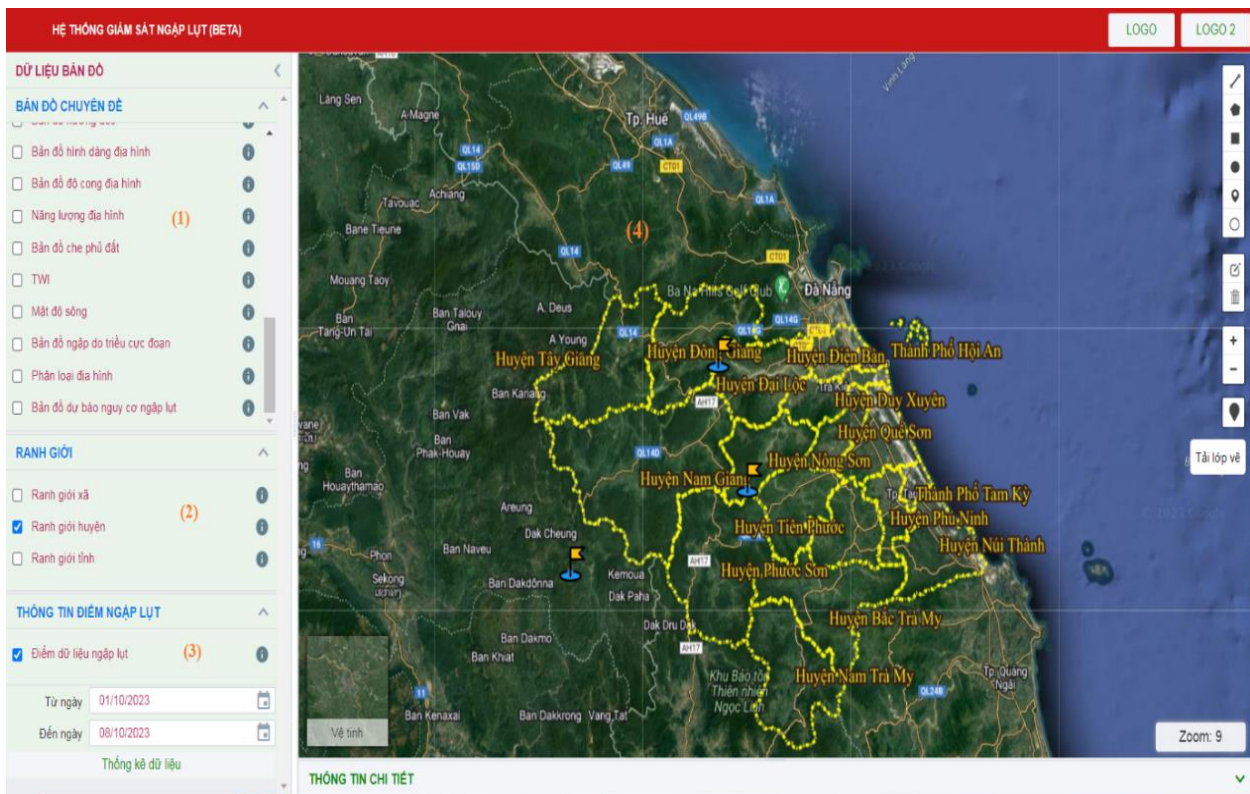
lụt được cung cấp bởi cộng đồng cũng được lưu trữ và hiển thị theo thời gian thực để cung cấp ngược lại cho cộng đồng nắm được và có kế hoạch phòng tránh.

3.3. Kết quả xây dựng ứng dụng trên điện thoại di động

Bên cạnh giao diện WebGIS, nhóm nghiên cứu cũng đã tiến hành xây dựng ứng dụng “Flood Tracking” trên hệ điều hành Android (Hình 6).

Ứng dụng bao gồm các công cụ “Bản đồ” cho phép theo dõi các lớp thông tin trên WebGIS; công cụ “Điểm ngập lụt” để cộng đồng tương tác với hệ thống. Khi người sử dụng cập nhật thông tin, sẽ có giao diện tương tác như trong Hình 7.

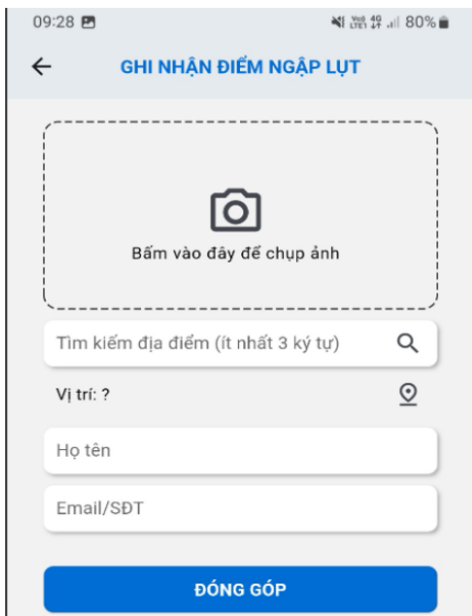
Công cụ này cho phép người sử dụng chụp ảnh hiện trạng tại thực địa, cung cấp vị trí, họ tên, email/số điện thoại cũng như mô tả thông tin về hiện trạng tại thực địa. Các thông tin mà cộng đồng cung cấp sẽ được hệ thống lưu trữ tại địa chỉ lưu trữ đã được quy định. Trên cơ sở đó, cơ quan quản lý Nhà nước xem xét sử dụng hoặc tham khảo để xây dựng kế hoạch thu thập bổ sung dữ liệu biến động về nguy cơ ngập lụt. Với thông tin của cộng đồng cung cấp có thể góp phần tiết kiệm chi phí và



Hình 5. Giao diện WebGIS đã được xây dựng.



Hình 6. Giao diện của ứng dụng Flood Tracking.



Hình 7. Công cụ cập nhật thông tin đối với người sử dụng.

thời gian khảo sát thực địa để cập nhật dữ liệu. Bên cạnh đó, thông tin cập nhật từ cộng đồng cũng góp phần cung cấp thông tin về hiện trạng ngập lụt theo thời gian thực.

Mục tiêu đặt ra khi xây dựng ứng dụng Flood Tracking là để tra cứu thông tin từ hệ thống WebGIS đồng thời thu thập thông tin ngập lụt từ cộng đồng (nơi mà người dân sử dụng các thiết bị di động thông minh rất đa dạng) do vậy ứng dụng đã được xây dựng không đòi hỏi cao về cấu hình của phần cứng do vậy bất cứ thiết bị điện thoại thông minh nào cũng có thể cài đặt và sử dụng.

4. Kết luận

Kết quả của nghiên cứu này đã xây dựng được chương trình máy tính thuộc hệ thống cảnh báo ngập lụt cho các vùng ven biển với hai công cụ là WebGIS và ứng dụng trên điện thoại di động "Flood Tracking". WebGIS lưu trữ và cung cấp thông tin cảnh báo tới cộng đồng còn ứng dụng Flood Tracking là công cụ để cộng đồng có thể nắm bắt thông tin cảnh báo ngập lụt. Hơn nữa, Flood Tracking còn cho phép người sử dụng tương tác với hệ thống thông qua việc cung cấp thông tin về hiện trạng tại thực địa kèm theo mô tả chi tiết. Đây là một điểm mới trong xây dựng ứng dụng phục vụ cảnh báo thiên tai tại Việt Nam.

Ngoài ra, nghiên cứu đã đề xuất lựa chọn mô hình 1D-CNN để xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt. Kết quả thực nghiệm xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt tại tỉnh Quảng Nam cho thấy tính ưu việt của mô hình 1D-CNN trong xây dựng bản đồ cảnh báo nguy cơ ngập lụt.

Tuy nhiên, kết quả nghiên cứu vẫn còn điểm hạn chế đó là chưa sử dụng dữ liệu được cập nhật bởi cộng đồng để cập nhật kết quả cảnh báo. Đây là hướng nghiên cứu cần phải được tiếp tục thực hiện trong thời gian tới.

Để kết quả của nghiên cứu này có thể được sử dụng một cách phổ biến rất cần nhận được sự chấp thuận của cơ quan quản lý Nhà nước góp phần cung cấp một kênh thông tin phục vụ phòng tránh, giảm thiểu nguy cơ rủi ro do ngập lụt gây ra.

Đóng góp của tác giả

Nguyễn Gia Trọng- lên ý tưởng thiết kế, viết phần phương pháp và hoàn thiện bản thảo; Bùi Ngọc Quý - Xử lý dữ liệu thành phần và hoàn thiện bản thảo; Phạm Ngọc Quang, Nguyễn Thanh

Phương - Đánh giá các kết quả thực nghiệm và biên tập bản thảo; Nguyễn Văn Cường, Nguyễn Thanh Phương - xử lý dữ liệu thành phần, kiểm soát lỗi của chương trình; Vũ Sơn Tùng - Thu thập và xử lý dữ liệu, biên tập và rà soát bản thảo.

Tài liệu tham khảo

- Bùi, T. L., Đinh, P. B., Cao, D. T., Lê, T. H., Đặng, T. L. L., Đỗ, P. L. (2011). Xây dựng cơ sở dữ liệu và phần mềm hỗ trợ công tác ứng phó lũ lụt tại Quảng Nam dựa trên công nghệ WebGIS. *Hội thảo GIS toàn quốc*, 213 - 222.
- Changjun, L., Liang, G., Lei, Y., Shunfu, Z., Yanzeng, Z., Tianyu, S. (2018). A review of advances in China's flash flood early-warning system, *Natural Hazards*, 92, 619 - 634.
- Đoàn, Q. T., Phạm, T. N. (2022). Nghiên cứu xây dựng bộ công cụ tích hợp dự báo lũ, cảnh báo ngập lụt cho 03 lưu vực sông: Thạch Hãn, Vu Gia-Thu Bồn và Trà Khúc-Sông Vệ, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, 736, 93 - 110.
- Đỗ, T. T., Nguyễn, V. Đ. (2012). Thiết kế hệ thống quan trắc hình ảnh thời gian thực qua mạng di động 3G, *Tạp chí Khoa học và công nghệ các trường đại học*, số 89, 32 - 37.
- Duminda, P., Ousmane, S., Jetal, A., Mohamed, R., Vladimir, S., Paulin, C., Hamid, M. (2019). *Flood Early Warning Systems: A Review Of Benefits, Challenges And Prospects*, United Nations University Institute for Water, Environment and Health (UNU-INWEH).
- Duminda, P., Jetal, A., Ousmane, S., Riyanti, D. (2020). Identifying societal challenges in flood early warning systems, *International Journal of Disaster Risk Reduction*, <https://doi.org/10.1016/j.ijdrr.2020.101794>.
- Iswanto, S., Alfian, M., Nia, M. R., Adhianty, N., Jazaul, I., Dyah, M. (2021). IoT-based Lava Flood Early Warning System with Rainfall Intensity Monitoring and Disaster Communication Technology, *Emerging Science Journal*, DOI: <http://dx.doi.org/10.28991/esj-2021-SP1-011>.
- Jayashree, S., Sarika, S., Solai, A. L., Soma, P. (2017). *A novel approach for early flood warning using android and IoT*, IEEE, 978-1-5090-6221-8/17, 339 - 343.
- Lê, H. (2018). *Xây dựng hệ thống thông tin hỗ trợ cảnh báo sạt lở cho tỉnh Quảng Bình*, Luận văn thạc sĩ kỹ thuật chuyên ngành Khoa học máy tính, Trường Đại học Bách Khoa, Đại học Đà Nẵng.
- Mohd, F. O., Mohd, N. M. N., Jastini, M. J., Saslina, K. (2020). *Research Design of Mobile Based Decision Support for Early Flood Warning System*, <https://doi.org/10.3991/ijim.v14i17.16557>.
- Nguyễn, G. T. (2023). *Nghiên cứu ứng dụng trí tuệ nhân tạo xây dựng hệ thống cảnh báo thiên tai, lũ lụt cho các vùng ven biển Việt Nam có sự tham gia tương tác của cộng đồng, thử nghiệm tại 1 tỉnh thuộc khu vực ven biển miền Trung*, Báo cáo kết quả tài khoa học và công nghệ cấp Bộ Tài nguyên và Môi trường mã số TNMT.2022.04.09.
- Nguyễn, G. T., Nguyễn, V. N., Phạm, N. Q., Nguyễn, V. C., Dương, A. Q., Nguyễn, Đ. H., Nguyễn, H. N. (2023). Phương pháp xây dựng cơ sở dữ liệu phục vụ thành lập bản đồ ngập lụt cho các vùng ven biển sử dụng kết hợp trí tuệ nhân tạo và công nghệ GIS, *Tạp chí Khoa học kỹ thuật Mỏ - Địa chất*, 65(5), 12 - 21.
- Nguyen, G. T., Pham, N. Q., Nguyen, V. C., Le, H. A., Nguyen, H. L., Bui, T. D. (2023). Spatial Prediction of Fluvial Flood in High-Frequency Tropical Cyclone Area Using TensorFlow 1D-Convolution Neural Network and Geospatial Data, *Remote Sensing MDPI*, <https://doi.org/10.3390/rs15225429>.
- Nguyễn, K. L., Nguyễn, D. L., Lê, H. T., Lê, V. P., Trần, L. N. Q., Nguyễn, T. H., Nguyễn, V. T., Phạm, C. T., Hoàng, T. T., Lê, T. P. (2013). Hệ hỗ trợ trực tuyến cảnh báo lũ cho lưu vực sông Vu Gia, tỉnh Quảng Nam, *Hội thảo ứng dụng GIS toàn quốc*.
- Nguyễn, M. D., Đinh, B. N., (2021). Xây dựng hệ thống giám sát trượt lở trên công nghệ mã nguồn mở, *Tạp chí Khoa học Đo đạc và Bản đồ*, số 48, 51 - 58.
- Salami, I. A., Mohamed, H. H., Noreha, A. M. (2018). Flood Disaster Warning System on the go, 7th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE), IEEE, 258 - 263.
- Syahaneim, M., Mohd, A. S. M., Haidawati, M. N., Zuraini, Z., Mohd, N. I. (2018). Flood Detection and Warning System (FLoWS), *Computing*

- Machinery*, <https://doi.org/10.1145/3164541.3164623>.
- Trần, T. Đ. (2011). Ứng dụng GIS trong quản lý thông tin ngập lụt khu vực thành phố Hồ Chí Minh, *Tạp chí Phát triển khoa học và công nghệ*, 14(M3), 50 - 61.
- Trần, V. T., Nguyễn, Đ. T., Lê, S. T., Ngô, V. T., Hồ, V. P. (2020). Hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt thời gian thực ứng dụng công nghệ LoRa cho lưu vực sông Kôn - Hà Thanh, tỉnh Bình Định, *Tạp chí Khoa học Trường Đại học Quy Nhơn*, 14(5), 69 - 78.
- Trần, A. P., Trần, V. T., Nguyễn, A. Đ., Dương, H. S., Trần, M. C., Phạm, N. A., Bùi, H. L., Trần, T. N. (2022). Nghiên cứu thử nghiệm xây dựng hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt và hạn hán tích hợp theo thời gian thực trên nền tảng WebGIS, *Tạp chí Khí tượng thủy văn*, EME4, 314 - 324.
- Vũ, V. T., Lê, H. N., Phan, T. Đ. K., Huỳnh, T. T. (2021). Giải pháp truyền thanh không dây dựa trên IoT trong hệ thống cảnh báo từ xa, *Tạp chí Khoa học và công nghệ, Đại học Đà Nẵng*, 20(1), 6 - 11.