



Danh sách nội dung có sẵn tại [ScienceDirect](#)

Internet vạn vật và hệ thống mạng vật lý

Trang chủ tạp chí: www.keaipublishing.com/en/journals/internet-of-things-and-cyber-physical-systems



Phát triển một đơn vị cảm biến thông minh cho hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt IoT dựa trên LoRaWAN tại các khu vực lưu vực

Muhammad Izzat Zakaria[✉], Waheb A. Jabbar b,^{*}, Noorazliza Sulaiman[✉]

[✉] Khoa Công nghệ Kỹ thuật Điện và Điện tử, Đại học Malaysia Pahang, 26680, Pekan, Pahang, Malaysia b
Khoa Kỹ thuật và Môi trường Xây dựng, Đại học Thành phố Birmingham, Birmingham, B4 7XG, Vương quốc Anh

THÔNG TIN BÀI VIẾT

Từ khóa:
Giám sát lũ lụt

LoRa
LoRaWAN
Cảm biến thông minh
TTN

TÓM TẮT

Nghiên cứu này giới thiệu một hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt (FMWS) mới, tận dụng khả năng của mạng diện rộng tầm xa (LoRaWAN) để duy trì kết nối mạng rộng khắp, tiêu thụ điện năng tối thiểu và tận dụng tốc độ truyền dữ liệu thấp. Chúng tôi đã phát triển một thuật toán mới để đo lường và giám sát mực nước lũ và sự thay đổi mực nước lũ một cách hiệu quả. Hệ thống FMWS tiên tiến, tiết kiệm chi phí và thân thiện với người dùng này sử dụng cảm biến siêu âm HC-SR04 kết hợp với vi điều khiển Arduino để đo mực nước lũ và xác định trạng thái của chúng. Dữ liệu thời gian thực về mực nước lũ và các mức độ rủi ro liên quan (an toàn, cảnh báo, thận trọng hoặc nguy hiểm) được cập nhật trên Mạng The Things và được tích hợp vào các nền tảng IoT TagoIO và ThingsSpeak thông qua cổng LoRaWAN được thiết kế riêng.

Hệ thống năng lượng mặt trời hoạt động như một đèn báo độc lập, thông báo cho người dân và chính quyền về những thay đổi của điều kiện. Do đó, hệ thống FMWS dựa trên LoRaWAN được đề xuất sẽ thu thập thông tin từ các khu vực lưu vực dựa trên rủi ro mực nước, kích hoạt cảnh báo lũ sớm và gửi đến chính quyền và người dân thông qua ứng dụng di động và nhiều bảng điều khiển trực tuyến để chủ động ứng phó. Hiệu quả và chức năng của hệ thống được chứng minh thông qua việc triển khai thực tế. Ngoài ra, chúng tôi đã đánh giá hiệu suất của giao diện truyền thông LoRa/LoRaWAN về RSSI, SNR, PDR và độ trễ cho hai hệ số lan truyền (SF7 và SF12). Thiết kế của hệ thống cho phép mở rộng trong tương lai, cho phép báo cáo dữ liệu đồng thời từ nhiều đơn vị giám sát cảm biến đến máy chủ thông qua một cổng trung tâm dưới dạng mạng.

1. Giới thiệu

Lũ lụt, chủ yếu do mưa lớn gây ra, là những sự kiện thiên nhiên thảm khốc có thể tác động đột ngột đến các khu vực rộng lớn, dẫn đến thiệt hại đáng kể về người và cơ sở hạ tầng. Những thảm họa này thường xảy ra khi mưa lớn làm mực nước sông dâng cao nhanh chóng [1-4]. Malaysia thường xuyên trải qua những sự kiện như vậy, dẫn đến tổn thất đáng kể về tài nguyên quý giá [5,6]. Việc triển khai các hệ thống giám sát lũ lụt (FMS) có thể giúp giảm thiểu tác động của lũ lụt đối với cuộc sống con người và nhiều hệ thống như vậy được các cơ quan quản lý thiên tai sử dụng rộng rãi để giám sát mực nước lũ [7,8]. Tuy nhiên, hầu hết các hệ thống này đều đắt tiền và quá phức tạp để sử dụng và bảo trì dễ dàng. Ngoài ra, nhiều cửa xả lũ truyền thống trong các kênh dẫn nước được vận hành thủ công và không có chức năng giám sát mực nước theo thời gian thực, làm tăng nguy cơ nước tràn bờ trong lũ quét [5].

Giám sát lũ lụt là một ứng dụng đầy hứa hẹn cho công nghệ Internet vạn vật (IoT) đang nổi lên. Mạng diện rộng tầm xa (LoRaWAN) là một công nghệ tiên tiến để kết nối nhiều thiết bị khác nhau với nhau.

internet và đóng vai trò là một công cụ hỗ trợ IoT quan trọng, có các thiết bị giá rẻ và thời lượng pin kéo dài [9,10]. LoRaWAN có thể duy trì kết nối mạng rộng rãi, tiêu thụ điện năng tối thiểu và sử dụng tốc độ truyền dữ liệu thấp [11,12]. Là một hệ thống không dây công suất thấp với khả năng phủ sóng tầm xa, LoRaWAN hoạt động trên băng tần vô tuyến ISM, được cung cấp miễn phí cho các mục đích công nghiệp, khoa học và y tế [13]. Theo mặc định, LoRaWAN hoạt động ở Lớp A, ứng dụng phổ biến nhất cho hệ thống cấu trúc sao yêu cầu giao tiếp một chiều giữa các thiết bị đầu cuối và cổng [14,15].

Bất chấp những tiến bộ trong công nghệ truyền thông, các hệ thống quản lý thảm họa, chẳng hạn như giám sát lũ lụt theo thời gian thực, thường còn thiếu, đặc biệt là ở các nước đang phát triển thường xuyên hứng chịu thiên tai. Giám sát lũ lụt là một ứng dụng IoT phức tạp do những thách thức trong việc bao phủ các khu vực rộng lớn, quản lý nhiều cảm biến và xử lý phương tiện truyền thông. IoT cho phép tất cả các thiết bị thông minh kết nối với nền tảng đám mây, cho phép truy cập thông tin từ cảm biến và thiết bị đầu cuối mà không cần sự can thiệp của con người. IoT đã được sử dụng để giám sát các ứng dụng trong nông nghiệp [16], chất lượng không khí [14,17] và

^{*} Tác giả liên hệ.
Địa chỉ email: waheb.abdullah@bcu.ac.uk (WA Jabbar).

MI Zakaria và cộng sự	Internet vạn vật và hệ thống mạng vật lý 3 (2023) 249–261
<p>quản lý chất lượng nước [18].</p> <p>Ở Malaysia, các cửa xả lũ ở kênh rạch thường được vận hành thủ công và yêu cầu người vận hành phải liên tục theo dõi mực nước [19].</p> <p>Nếu không được quản lý, sự có bom hoặc thiết bị bị bỏ bê có thể gây ra lũ lụt lớn, cướp đi sinh mạng của nhiều người và thiệt hại lên đến hàng ngàn đô la. Ngoài ra, khi người vận hành không có mặt hoặc không biết về mực nước, dòng chảy của sông sẽ bị chặn lại, gây ra tình trạng tràn bờ kênh. Những tình huống này có thể được ngăn chặn bằng cách áp dụng hệ thống giám sát. Liên quan đến vấn đề này, một hệ thống đo từ xa đã được triển khai để rút ngắn thời gian phản ứng của nhân viên có thẩm quyền [20]. Một số quốc gia phát triển áp dụng các hệ thống tương tự, nhưng phạm vi thông tin mà công chúng có thể tiếp nhận vẫn còn hạn chế.</p>	<p>(iv) Phân tích toàn diện dữ liệu thu thập được và đánh giá thời gian thực các rủi ro liên quan đến mực nước lũ dâng cao, cho phép cung cấp cảnh báo lũ sớm cho cá nhân và chính quyền.</p> <p>Phần còn lại của bài báo này được cấu trúc như sau: Phần II thảo luận về các tài liệu liên quan, Phần III trình bày phương pháp luận và tài liệu được sử dụng trong nghiên cứu. Phần IV mô tả kiến trúc hệ thống và việc triển khai giải pháp đề xuất. Phần V trình bày các kết quả và thảo luận, và Phần VI đưa ra kết luận và gợi ý các hướng nghiên cứu trong tương lai.</p> <p>2. Các tác phẩm liên quan</p> <p>Trong những năm gần đây, ngày càng có nhiều nghiên cứu tập trung vào mạng lưới cảm biến giám sát môi trường, đặc biệt là trong lĩnh vực hệ thống phát hiện lũ lụt [21]. Các nghiên cứu này nhằm mục đích giải quyết nhiều thách thức và yêu cầu khác nhau, xem xét bản chất và vị trí cụ thể của từng ứng dụng. Nhiều cảm biến khác nhau đã được sử dụng trong các mạng lưới này để thu thập dữ liệu liên quan đến các khía cạnh khác nhau của việc giám sát lũ lụt, chẳng hạn như theo dõi lượng mưa hoặc đo mực nước sông. Trong mỗi trường hợp, mục tiêu là quan sát và phân tích chính xác các thông số quan trọng để cải thiện dự báo lũ lụt, cảnh báo sớm và quản lý thiên tai nói chung. Phần này trình bày tổng quan về các tài liệu liên quan, nêu bật những tiến bộ chính và xác định các lĩnh vực cần khám phá thêm.</p> <p>Trong [1], một hệ thống được gọi là ShonaBondhu (“người bạn vàng” trong tiếng Bengal), đã được phát triển bằng cách sử dụng phần mềm trung gian cảm biến độ dốc để quản lý lũ quét. Hệ thống này sử dụng các cảm biến giá rẻ và xử lý dữ liệu thông minh dài hạn để đưa ra quyết định tại địa phương trong khu vực xung quanh. Souza và cộng sự [22] đã phát triển một hệ thống cảnh báo lũ lụt giá rẻ có thể được cả chính quyền và công chúng sử dụng dựa trên dự án E-noe6 để giảm thiểu thiệt hại và mất mát do lũ lụt gây ra ở các trung tâm đô thị. Hệ thống quan sát mực nước của đường băng hoặc sông và kích hoạt cảnh báo khẩn cấp cho chính quyền thông qua các cuộc gọi điện thoại và/hoặc tin nhắn SMS. Một nghiên cứu trước đây [23] đã sử dụng môi trường dự đoán của các cảm biến trong quá trình triển khai để giám sát các hoạt động của Sông Honduras. Phương pháp này dựa trên hai nhóm nút để giảm thiểu chi phí. Nhóm thứ nhất và thứ hai tương ứng hỗ trợ liên lạc vô tuyến tầm xa và tầm ngắn. Sau đó, một nền tảng thử nghiệm gồm ba nút đã được triển khai để điều tra dòng sông.</p> <p>Xiuhong và cộng sự [24] đã đề xuất một hệ thống giám sát mực nước từ xa đã được áp dụng thành công tại hồ Bà Dương Hồ. Hệ thống bao gồm một cảm biến hiện trường, một trạm gốc, một trung tâm dữ liệu và một mô-đun phát hành WEB. Hệ thống có thể thực hiện giám sát từ xa theo thời gian thực và cung cấp cảnh báo sớm về các sự kiện bất thường và bảo vệ trong một số trường hợp nguy hiểm.</p> <p>Trong khi đó, một nghiên cứu khác [2] đã đưa ra những câu trả lời hữu ích cho hai câu hỏi cốt lõi về một số hệ thống thích ứng với thiên tai: “Những yêu cầu chính để cung cấp một hệ thống dựa trên WSN đáng tin cậy (ví dụ: hệ thống giám sát sông) là gì?” và “Làm thế nào để phát triển một hệ thống dựa trên WSN có khả năng thích ứng và đáng tin cậy?” Các tác giả của công trình đó đã thiết kế một hệ thống giám sát sông dựa trên WSN/IoT đáng tin cậy đã được triển khai thành công tại thành phố S-ao Carlos, Brazil. Cách tiếp cận này cuối cùng đã được áp dụng cho một số hệ thống.</p> <p>Một nghiên cứu khác [6] đề xuất một hệ thống phát hiện và cảnh báo lũ lụt có tên là FlowS để giám sát và quản lý tình hình lũ lụt. Hệ thống được đề xuất cũng có thể cung cấp thông tin quan trọng cho công chúng và chính quyền về các khu vực bị ảnh hưởng thông qua SMS và MMS sử dụng Arduino Uno kết hợp với mô-đun GSM. Ngoài ra, hệ thống cho phép công chúng và chính quyền địa phương theo dõi dữ liệu biểu đồ trực tiếp về mực nước lũ bằng ứng dụng Android. Tầm nhìn IoT về các vấn đề giám sát lũ lụt ở các khu vực đông dân cư đã được thảo luận trong Tài liệu tham khảo [25]. Sự đa dạng của lãnh thổ (ví dụ: núi và khu vực đô thị) là một trong những vấn đề thường được xem xét trong quá trình giám sát lũ lụt. Do đó, các tác giả đã thiết kế lại WSN thông minh dựa trên IoT để khắc phục các vấn đề về tính đa dạng và khả năng mở rộng nhằm cải thiện độ tin cậy và hiệu quả. Một hệ thống giám sát tình trạng nước theo thời gian thực đã được phát triển trong Tài liệu tham khảo [26] để được sử dụng trong việc giám sát lũ lụt ở Nakhon Si Thammarat, Thái Lan. Hệ thống được phát triển đóng vai trò là kênh thông tin về lũ lụt giữa</p>
<p>Dữ liệu thường được chuyển tiếp qua các cơ quan hoặc phòng khí tượng và sau đó thông qua các đội ứng phó tham gia giải cứu dân thường.</p> <p>Do đó, nhu cầu cấp thiết là phải phát triển một đơn vị cảm biến thông minh dựa trên IoT để cập nhật dữ liệu liên quan đến lũ lụt theo thời gian thực, có thể được người dân truy cập bằng điện thoại thông minh của họ.</p> <p>Đồng Lực chính thúc đẩy việc triển khai IoT trong giám sát lũ lụt là việc thiếu một hệ thống giám sát thời gian thực. Dữ liệu hiện có có khoảng cách chu kỳ khoảng 1 giờ. Các hệ thống FMWS hiện tại chỉ tập trung vào các cơn sóng chính và chuyển dữ liệu đến các cơ quan được ủy quyền thông qua các dịch vụ đo từ xa [20]; dữ liệu này sau đó phải được cập nhật thủ công lên trang web chính thức. Ngược lại, LoRaWAN có thể loại bỏ bước trung gian bằng cách kết nối thiết bị cảm biến với đám mây và sau đó cảnh báo người được nhắm mục tiêu qua email hoặc SMS. Dữ liệu được tự động cập nhật trên trang web của Mạng Vạn Vật (TTN) và ứng dụng Tago.io cùng trang web tương ứng.</p>	
<p>Trong bài báo này, chúng tôi trình bày thiết kế hệ thống tiên tiến của mình cùng với các kết quả sơ bộ chứng minh tính năng và hiệu quả của nó. Hệ thống được đề xuất được thiết kế để cho phép báo cáo dữ liệu đồng thời và theo thời gian thực từ nhiều đơn vị cảm biến phân bố trên khắp các lưu vực, được kết nối với nền tảng IoT thông qua một cổng mạng trung tâm. Hệ thống này mang lại những lợi ích đáng kể, bao gồm việc giảm thiểu thiệt hại do lũ lụt và xây dựng kế hoạch chiến lược để quản lý các thảm họa lũ lụt trong tương lai, đặc biệt là ở các bang Bờ Đông Malaysia, nơi lũ lụt hàng năm gây ra thương vong về người và thiệt hại về cơ sở hạ tầng. Điểm mới lạ của nghiên cứu của chúng tôi trước hết đến từ thuật toán mới được thiết kế riêng để đo lường và giám sát mực nước lũ cũng như tốc độ thay đổi của chúng. Thứ hai, việc tích hợp nhiều nền tảng IoT trong hệ thống của chúng tôi với cả nền tảng IoT TagoIO và ThingSpeak để cải thiện khả năng phân tích và trực quan hóa dữ liệu bằng máy tính cá nhân/máy tính xách tay/điện thoại thông minh. Sự tích hợp này cung cấp một giải pháp toàn diện và linh hoạt hơn cho việc giám sát và ứng phó lũ lụt theo thời gian thực. Thứ ba, FMWS được đề xuất của chúng tôi được thiết kế để sử dụng năng lượng mặt trời, giúp nó trở thành một giải pháp bền vững và tự cung tự cấp hơn cho việc giám sát lũ lụt ở những vùng sâu vùng xa có cơ sở hạ tầng điện hạn chế. Thứ tư, các mức cảnh báo tùy chỉnh được hệ thống của chúng tôi cung cấp (an toàn, cảnh báo, thận trọng hoặc nguy hiểm) phù hợp với các yêu cầu cụ thể của các khu vực địa lý và vùng dễ bị lũ lụt khác nhau. Khả năng thích ứng này là một khía cạnh khác biệt giữa nghiên cứu của chúng tôi với các tài liệu hiện có. Cuối cùng, chúng tôi đã tiến hành đánh giá kỹ lưỡng giao diện truyền thông LoRa/LoRaWAN về RSSI, SNR, PDR và độ trễ cho hai hệ số lan truyền (SF7 và SF12). Đánh giá toàn diện này bổ sung giá trị cho nghiên cứu của chúng tôi bằng cách cung cấp thông tin chi tiết về hiệu suất thực tế của hệ thống được đề xuất.</p>	
<p>Tóm lại, công trình này được xây dựng dựa trên những nỗ lực nghiên cứu trước đây bằng cách cung cấp những đóng góp quan trọng sau đây.</p> <p>(i) Phát triển một thuật toán mới để đo và giám sát mực nước lũ bằng cảm biến siêu âm và Arduino IDE. (ii) Thiết kế và chế tạo cảm biến giám sát lũ lụt tiên tiến thiết bị được cung cấp năng lượng bởi công nghệ không dây LoRa.</p> <p>(iii) Triển khai cổng LoRaWAN và các cảm biến được thiết kế mới, cùng với việc thiết lập mạng LoRa để theo dõi mức độ lũ lụt và cập nhật dữ liệu lũ lụt trên nền tảng IoT.</p>	

Các cơ quan chức năng và chuyên gia liên quan, cũng như một dịch vụ thông tin trực tuyến dành cho công chúng. Hệ thống bao gồm một mạng cảm biến, một đơn vị xử lý/truyền dẫn (GPRS) và một máy chủ cơ sở dữ liệu/ứng dụng (Vir-tualCOM Middleware).

Trong [27], ứng dụng di động có tên “Crowdsourcing” đã được phát triển để truyền tải thông tin lũ lụt đến người dân tham gia phòng chống thiên tai tại các khu vực dễ bị lũ lụt. Trong ứng dụng này, các cảm biến được tích hợp qua SMS. Ứng dụng di động được phát triển cũng có thể được sử dụng để trao đổi tin nhắn với máy chủ, nơi diễn giải dữ liệu để xác định mức cảnh báo phù hợp trước khi gửi cảnh báo đến người dùng. Ứng dụng di động với các cảm biến sau đó được sử dụng như một hệ thống quản lý rủi ro lũ lụt. Islam và cộng sự [28] đã kết hợp một hệ thống chuyên gia dựa trên quy tắc niềm tin và web với các cảm biến để dự đoán lũ lụt theo lượng mưa và dòng chảy sông theo thời gian thực. Hệ thống này cũng giúp theo dõi các yếu tố làm tăng cường lũ lụt ở một khu vực nhất định.

Các công cụ tiên tiến liên quan đến IoT mang đến cơ hội độc đáo để dự đoán các mối nguy hiểm và giám sát các sự kiện cực đoan, chẳng hạn như lũ lụt, theo thời gian thực. Khả năng thích ứng của chúng khiến chúng trở nên lý tưởng để thu thập lượng lớn dữ liệu phức tạp. Khi được tổ chức thành mạng lưới, những “thiết bị công nghệ thông minh” này có thể đóng vai trò vừa là hệ thống cảnh báo sớm vừa là công cụ thu thập dữ liệu lũ lụt, từ đó giảm thiểu nguy cơ bị tổn thương. Một ví dụ thực tế là Mạng Lưới Cảm biến Lũ lụt Calderdale, được thành lập tại Vương quốc Anh sau khi cộng đồng này trải qua trận lũ lụt nghiêm trọng vào năm 2015 [29]. Tận dụng kết nối mạng LPWAN, việc triển khai IoT này đã thiết lập nhiều trạm giám sát để giám sát mực nước dâng cao trong khu vực.

Một bài báo khác trình bày một phân tích toàn diện về hiệu suất LoRaWAN trong các cài đặt tham số khác nhau [30]. Nghiên cứu này nhằm mục đích cung cấp thông tin chi tiết về tác động của các lựa chọn cấu hình khác nhau đến hiệu suất mạng và đưa ra các hướng dẫn để tối ưu hóa việc triển khai LoRaWAN. Để đạt được điều này, các nhà nghiên cứu đã tiến hành các thí nghiệm mở rộng với các hệ số lan truyền, tốc độ mã hóa, kích thước tải trọng và mức công suất truyền khác nhau. Phát hiện của họ cho thấy sự đánh đổi giữa phạm vi truyền thông, mức tiêu thụ năng lượng và dung lượng mạng liên quan đến từng tham số. Bằng cách hiểu được những sự đánh đổi này, các nhà điều hành mạng có thể đưa ra quyết định sáng suốt khi cấu hình mạng LoRaWAN của họ để đạt được hiệu suất tối ưu về độ tin cậy, vùng phủ sóng và hiệu quả năng lượng.

Trong [31], một kỹ thuật quản lý tài nguyên hỗ trợ truyền lại có tên là R-ARM cho LoRaWAN trong bối cảnh IoT được trình bày. Các tác giả giải quyết những thách thức về tài nguyên hạn chế và điều kiện mạng không thể đoán trước trong mạng LoRaWAN, điều này có thể dẫn đến suy giảm hiệu suất và sử dụng tài nguyên không hiệu quả. R-ARM nhằm mục đích cải thiện quản lý tài nguyên bằng cách sử dụng truyền lại như một chiến lược để cân bằng tải mạng và đảm bảo truyền thông đáng tin cậy. R-ARM sử dụng điều khiển công suất truyền thích ứng, tối ưu hóa hệ số lan truyền và các kỹ thuật phân bổ kênh hiệu quả để nâng cao hiệu suất của mạng LoRaWAN. Phương pháp được đề xuất không chỉ làm tăng độ tin cậy và dung lượng của mạng mà còn giảm mức tiêu thụ năng lượng và độ trễ. Nhìn chung, kỹ thuật R-ARM cung cấp một giải pháp đầy hứa hẹn cho việc quản lý tài nguyên trong các triển khai IoT sử dụng LoRaWAN.

Mặc dù đã có nhiều nghiên cứu về mạng cảm biến không dây (WSN) dựa trên IoT và ứng dụng của chúng trong việc giám sát các thông số môi trường khác nhau và cung cấp thông tin cập nhật qua internet, việc sử dụng các công nghệ mạng diện rộng công suất thấp (LPWAN) (LoRa, Sigfox, NB-IoT) vẫn là một lĩnh vực mới và đang nổi lên. Nhìn chung, các tài liệu gần đây về các hệ thống được đề xuất bao gồm một bộ cảm biến truyền thống (bộ điều khiển và cảm biến) với giao diện truyền thông, nguồn điện và máy chủ IoT. Thiết bị cảm biến tại chỗ thường được đặt tại các khu vực lưu vực để theo dõi mực nước. Tuy nhiên, một số hệ thống này không sử dụng mạng không dây tầm xa mà dựa vào giao tiếp tầm ngắn như ZigBee, Wi-Fi và Bluetooth, điều này hạn chế khả năng truyền dữ liệu thời gian thực trên khoảng cách xa.

Các hệ thống khác đã áp dụng khái niệm WSN vào giám sát lũ lụt nhưng không hỗ trợ cập nhật dữ liệu theo thời gian thực qua Internet. Do đó, hầu hết các hệ thống giám sát lũ lụt (FMS) hiện có đều hoạt động cục bộ, cập nhật dữ liệu lên các hệ thống khác.

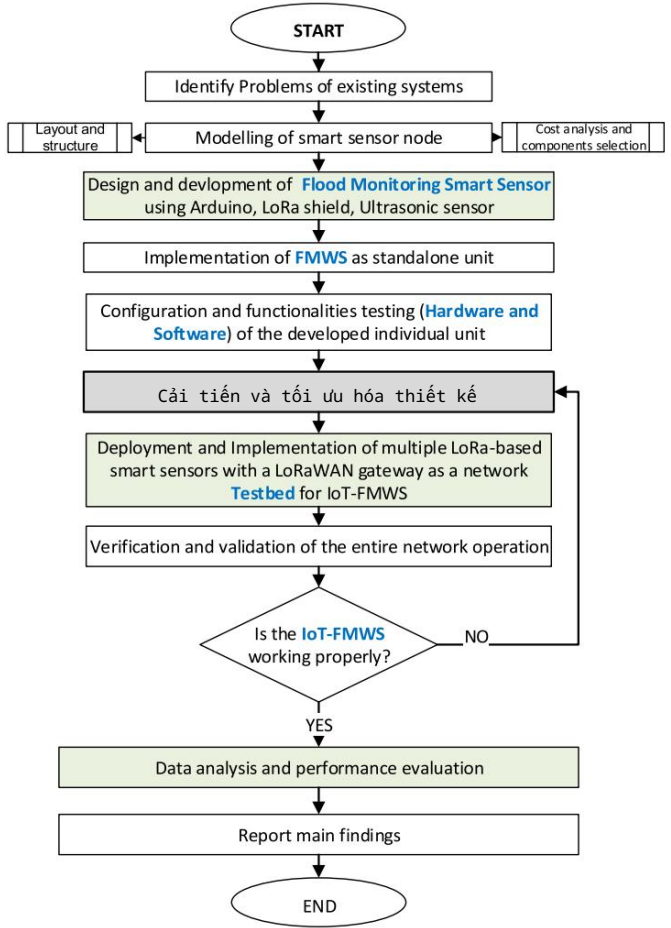
Một máy chủ cục bộ chỉ có thể được truy cập bởi các cơ quan chức năng và các đơn vị liên quan. Mặc dù một số nghiên cứu đã áp dụng khái niệm IoT vào FMS, nhưng chúng vẫn chưa giải quyết được các vấn đề liên quan đến phạm vi kết nối, khả năng xử lý của vi điều khiển, độ chính xác của cảm biến, mức tiêu thụ năng lượng và việc triển khai thực tế.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi tập trung vào việc phát triển các nút cảm biến thông minh sử dụng công nghệ LoRaWAN, kết hợp cảm biến siêu âm và vi điều khiển Ardu-ino để đảm bảo truyền tải thông tin hiệu quả theo thời gian thực và tăng phạm vi kết nối mạng trong khu vực mục tiêu. Các đơn vị cảm biến thông minh và hiệu quả sẽ cập nhật thông tin trên nền tảng đám mây IoT, giúp công chúng và chính quyền có thể truy cập theo thời gian thực. Chúng tôi đã chế tạo một cổng LoRaWAN để thu thập dữ liệu từ nhiều cảm biến đồng thời và gửi đến máy chủ TTN, hỗ trợ nhiều nền tảng tích hợp IoT khác nhau và cung cấp nhiều tùy chọn truy cập dữ liệu người dùng. Một bảng điều khiển/GUI IoT đã được phát triển để cho phép thu thập dữ liệu lũ lụt theo thời gian thực cho cả công chúng và chính quyền.

3. Phương pháp và tài liệu

3.1. Khung khái niệm

Phần này mô tả khung khái niệm và phương pháp luận được áp dụng trong nghiên cứu hiện tại, bao gồm các giai đoạn nghiên cứu được tổ chức một cách hệ thống, kết hợp với các tính năng triển khai chi tiết của hệ thống đề xuất. Phần này cũng trình bày các thành phần cấu trúc của hệ thống đề xuất và sự tích hợp của chúng để đạt được mục tiêu nghiên cứu. Lưu đồ trong Hình 1 minh họa các giai đoạn nghiên cứu của nghiên cứu hiện tại và các công trình nghiên cứu trong tương lai. Phương pháp luận được áp dụng cho nghiên cứu này được thực hiện theo các giai đoạn sau.



Hình 1. Sơ đồ hoạt động nghiên cứu.

- (i) Giai đoạn I: Nghiên cứu được tiến hành để xác định các vấn đề mà hệ thống giám sát lũ lụt hiện có gặp phải và những hạn chế của chúng. Sau đó, một thiết kế mới được đề xuất để khắc phục những vấn đề này.
- (ii) Giai đoạn II: các cảm biến thông minh để theo dõi mực nước lũ được thiết kế và chế tạo để đo mực nước bằng Arduino, cảm biến siêu âm và tấm chắn LoRa.
- (iii) Giai đoạn III: đơn vị riêng lẻ được phát triển đã được thử nghiệm để xác nhận chức năng của nó và đánh giá hiệu quả của hệ thống được đề xuất.
- (iv) Giai đoạn IV: các đơn vị hệ thống giám sát lũ lụt được kết nối với tạo thành một mạng không dây hoàn chỉnh.
- (v) Giai đoạn V: khảo sát và nghiên cứu địa lý các khu vực được xem xét đã được tiến hành phối hợp với cơ quan có thẩm quyền. (vi) Trong giai đoạn cuối cùng, việc phân phối các đơn vị và triển khai toàn bộ nền tảng thử nghiệm mạng với việc thử nghiệm cập nhật dữ liệu lên máy chủ IoT đã được hoàn thiện.

Công việc được báo cáo trong bài báo này bao gồm ba giai đoạn đầu tiên trong phương pháp luận được áp dụng, trong khi công việc trong tương lai của chúng tôi sẽ tập trung vào các giai đoạn khác để hoàn thành nghiên cứu này và triển khai mạng lưới giám sát lũ lụt.

Có một số bước liên quan đến giai đoạn thiết kế và mô hình hóa, bao gồm triển khai phần cứng và hệ thống dây điện, giai đoạn lập trình và kết nối Arduino với LoRa và cảm biến siêu âm HC-SR04, ngoài việc chế tạo và cấu hình cổng LoRaWAN.

Để cải tiến và tối ưu hóa thiết kế, mọi vấn đề phát sinh trong quá trình xây dựng dự án đều được xác định và giải quyết trong giai đoạn thử nghiệm. Một số cải tiến cũng được thực hiện để ngăn ngừa lỗi tái diễn. Cuối cùng, thiết kế hoàn chỉnh của hệ thống dưới dạng một đơn vị độc lập được đánh giá. Các phần sau sẽ trình bày chi tiết về các thành phần được khai thác và kiến trúc hệ thống.

3.2. Các thành phần chính của LoRaWAN-FMWS

3.2.1. Cổng LoRaWAN Trong

Nghiên cứu này, chúng tôi đã sử dụng Raspberry Pi 3.0, được trang bị cổng LoRa Pi, làm cổng LoRaWAN. Raspberry Pi là một bo mạch chủ nhỏ gọn, giá cả phải chăng và đa năng được thiết kế cho giáo dục, tùy chỉnh và lập trình. Nó hoạt động tương tự như một máy tính cá nhân tiêu chuẩn, cần nguồn điện, bàn phím để nhập lệnh và màn hình. Chiếc máy tính nhỏ gọn bằng thẻ tín dụng này là một nền tảng lý tưởng để giao tiếp với nhiều thiết bị và cảm biến khác nhau. Các thành phần chính của Raspberry Pi bao gồm bộ xử lý trung tâm và đồ họa, giao diện âm thanh và truyền thông, và RAM. Thay vì ổ cứng, nó sử dụng bộ nhớ flash SD để lưu trữ. Thiết bị được cấp nguồn qua đầu nối micro USB và có thể kết nối internet thông qua

Cáp Ethernet/LAN hoặc USB để kết nối Wi-Fi và Bluetooth.

Chúng tôi đã phát triển cổng LoRaWAN sử dụng Raspberry Pi, kết nối với HAT-LRGW-915. Cổng được cấu hình để hoạt động ở tần số 915 MHz và tích hợp với nền tảng TTN để nhận và hiển thị dữ liệu theo thời gian thực. Hình 2 minh họa cấu trúc bên trong và bên ngoài của cổng LoRaWAN đã được chế tạo. Có khả năng nhận dữ liệu từ hàng nghìn nút thông minh cùng lúc, hiệu suất của cổng phụ thuộc vào cường độ tín hiệu nhận được và các thông số LoRa đã được cấu hình. Cổng LoRaWAN do chúng tôi chế tạo có tám kênh. Đối với nút cảm biến, điều quan trọng là phải đảm bảo mô-đun LoRa hoạt động ở tần số tương tự như tần số được Liên minh LoRa thiết lập.

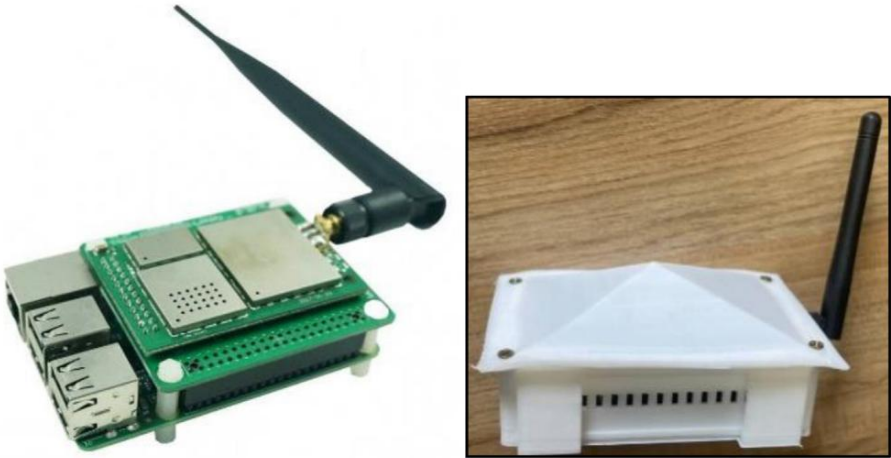
3.2.2. Arduino Uno

Arduino được sử dụng làm MCU và cung cấp nguồn 3,3 V cho Shield LoRa và 5 V cho cảm biến. Việc sử dụng MCU này có một số ưu điểm. Thứ nhất, nó có khả năng hoán đổi và thay đổi chip vi điều khiển hoặc Microchip ATmega328 P. Thứ hai, nó giúp việc bảo trì linh hoạt và dễ dàng hơn. Mức tiêu thụ điện năng của Arduino Uno thấp hơn Raspberry Pi. Do đó, Arduino Uno phù hợp để triển khai ngoài lưới điện. Hơn nữa, về mặt tính toán dữ liệu, Arduino Uno đủ tốt để xử lý và truyền dữ liệu từ nhiều cảm biến cùng lúc.

3.2.3. Lá chắn LoRa

Đối với hệ thống truyền thông giữa nút cảm biến và cổng, việc có bộ thu phát tầm xa và công suất thấp là một số tiêu chí được xem xét cho các thiết bị chạy bằng pin. Trong nghiên cứu hiện tại, LoRa Shield và LoRaWAN được chọn cho lớp vật lý và lớp MAC tương ứng. LoRaWAN tập trung vào phạm vi và mức tiêu thụ điện năng thấp khi truyền dữ liệu từ đầu này đến đầu kia. LoRa Shield dựa trên tần số 915 MHz - một tần số được cấu hình sẵn để hoạt động với phổ tần số LoRa của Malaysia. Sự thay đổi này phù hợp với các ứng dụng mạng không dây ở các khu vực khác nhau với các thiết lập tần số khác nhau của Semtech. Do đó, việc tạo ra mô-đun phù hợp với tần số hoạt động phù hợp là rất quan trọng để ngăn chặn tình trạng gián đoạn và ngắt kết nối liên tục của kết nối không dây. Một trong những tính năng của LoRa Shield là khả năng tương thích với các bo mạch I/O Arduino 3,3 v hoặc 5 v, chẳng hạn như Leonardo, Uno, Mega và DUE. Do đó, các DIO có thể được đặt và kết nối trực tiếp với Arduino IO. Hơn nữa, tấm chắn này còn được tích hợp cảm biến nhiệt độ và đèn báo pin yếu. Điều này có thể giúp các nhà phát triển theo dõi tình trạng của bo mạch và ngăn ngừa tình trạng quá nhiệt nếu thông số này được đưa vào thuật toán.

LoRa sử dụng tần số dưới 1 GHz (dưới 1 GHz) để giao tiếp, được quy định bởi cơ quan quản lý của mỗi quốc gia. Tại Malaysia, tần số LoRa là 920 MHz-923 MHz, còn được gọi là 923-S1. Đối với LoRa



Hình 2. Cổng LoRaWAN dựa trên Raspberry Pi 3.

ăng-ten được sử dụng trong hệ thống, chúng tôi sử dụng ăng-ten lưỡng cực tiêu chuẩn với độ lợi 2 dBi, thường được sử dụng trong các ứng dụng LoRaWAN. Công suất đầu ra của nút được đặt ở mức giới hạn tối đa cho phép theo quy định của khu vực, trong trường hợp của chúng tôi là 20 dBm (100 mW) cho băng tần 923 MHz, tần số được chỉ định cho các ứng dụng LoRaWAN tại Malaysia.

3.2.4. Giao thức LoRaWAN.

LoRaWAN là một giao thức truyền thông tầm xa, tiêu thụ điện năng thấp được thiết kế riêng cho các ứng dụng IoT. Nó cho phép các thiết bị giao tiếp với nhau trên một phạm vi rộng lớn với mức tiêu thụ điện năng tối thiểu. LoRaWAN dựa trên kỹ thuật điều chế LoRa, cung cấp phạm vi mở rộng và tốc độ dữ liệu thấp, khiến nó trở thành lựa chọn lý tưởng cho nhiều ứng dụng IoT, bao gồm nông nghiệp thông minh, thành phố thông minh và giám sát công nghiệp. LoRaWAN hoạt động trên phổ tần số không cần cấp phép, và kiến trúc mạng của nó thường được bố trí theo cấu trúc hình sao. Mạng bao gồm các thiết bị đầu cuối (cảm biến và bộ truyền động), các cổng (gateway) và một máy chủ mạng. Các cổng này chuyển tiếp tin nhắn giữa các thiết bị đầu cuối và máy chủ mạng, đơn vị quản lý toàn bộ mạng. LoRaWAN sử dụng tốc độ dữ liệu thích ứng (ADR) và nhiều loại SF khác nhau để tối ưu hóa mức tiêu thụ điện năng, dung lượng mạng và phạm vi giao tiếp của thiết bị.

LoRaWAN cung cấp một kênh truyền thông mạnh mẽ và an toàn cho các thiết bị IoT. Tính bảo mật của LoRaWAN dựa trên hai lớp chính: bảo mật cấp mạng và bảo mật cấp ứng dụng. Cả hai lớp đều sử dụng các phương pháp mã hóa để đảm bảo tính bảo mật, toàn vẹn và xác thực của dữ liệu được truyền đi.

3.2.4.1. Bảo mật cấp độ mạng. Lớp bảo mật này bảo vệ giao tiếp giữa các thiết bị IoT (nút cuối) và máy chủ mạng.

LoRaWAN sử dụng khóa phiên mạng 128-bit duy nhất (NwkSKey) để bảo mật giao tiếp cấp độ mạng. NwkSKey được sử dụng để mã hóa tải trọng và xác thực tính toàn vẹn của dữ liệu được truyền (sử dụng Mã Toàn vẹn Thông điệp (MIC)). Lớp bảo mật này đảm bảo dữ liệu được truyền an toàn từ thiết bị đến máy chủ mạng, ngăn chặn truy cập trái phép và giả mạo.

3.2.4.2. Bảo mật cấp ứng dụng. Lớp bảo mật này chịu trách nhiệm bảo vệ dữ liệu được truyền giữa các thiết bị IoT và máy chủ ứng dụng. LoRaWAN sử dụng khóa phiên ứng dụng 128 bit duy nhất (AppSKey) để mã hóa và giải mã dữ liệu ở cấp ứng dụng. Điều này đảm bảo rằng chỉ các ứng dụng được ủy quyền mới có thể truy cập và diễn giải dữ liệu được gửi bởi các thiết bị IoT.

LoRaWAN cũng sử dụng cơ chế trao đổi khóa bảo mật trong quá trình kích hoạt thiết bị. Có hai phương pháp chính để kích hoạt thiết bị trong LoRaWAN: (i) Kích hoạt qua mạng (OTAA): Trong OTAA, các thiết bị tạo một bộ khóa phiên động (NwkSKey và AppSKey) trong quá trình kích hoạt bằng cách giao tiếp với máy chủ mạng. Thiết bị và máy chủ mạng đều có khóa ứng dụng được chia sẻ trước (AppKey) được sử dụng để lấy khóa phiên một cách an toàn. Phương pháp này được coi là an toàn hơn vì khóa phiên được tạo động và có thể được cập nhật định kỳ. (ii) Kích hoạt bằng cá nhân hóa (ABP): Trong ABP, các thiết bị được cấu hình sẵn với khóa phiên tĩnh (NwkSKey và AppSKey) trước khi triển khai. Phương pháp này đơn giản hơn nhưng kém an toàn hơn vì các khóa là tĩnh và có thể dễ bị tấn công nếu không được quản lý đúng cách.

Tóm lại, LoRaWAN cung cấp một kênh truyền thông an toàn cho các thiết bị IoT bằng cách triển khai bảo mật cấp độ mạng và cấp độ ứng dụng bằng các phương pháp mã hóa mạnh. Bằng cách sử dụng khóa phiên duy nhất và cơ chế trao đổi khóa an toàn, LoRaWAN đảm bảo tính bảo mật, toàn vẹn và xác thực của dữ liệu được truyền, phù hợp với nhiều ứng dụng IoT khác nhau. Trong bài báo này, chúng tôi đã sử dụng Kích hoạt bằng Cá nhân hóa (ABP) để xác thực và bảo mật hệ thống LoRaWAN như đã nêu rõ trong **Thuật toán 1**. ABP cung cấp một phương pháp xác thực thiết bị đơn giản và hiệu quả, phù hợp với ứng dụng của chúng tôi.

3.2.5. Cảm biến siêu âm

Lựa chọn cảm biến là một phần quan trọng trong thiết kế hệ thống vì nó có tác động rất lớn đến hiệu suất của hệ thống trong suốt vòng đời của nó. Do đó, một hệ thống được thiết kế và xây dựng để đo mức chất lỏng và cung cấp dữ liệu chính xác bằng cảm biến siêu âm. HC-SR04 là một cảm biến có giá cả phải chăng, khiến nó trở thành lựa chọn hấp dẫn để triển khai trên quy mô lớn trong các hệ thống giám sát lũ lụt. Nó cung cấp phép đo không tiếp xúc, điều rất quan trọng đối với các hệ thống giám sát lũ lụt để tránh ô nhiễm hoặc hư hỏng do tiếp xúc trực tiếp với nước. Phạm vi đo của mô-đun là từ 2 cm đến 400 cm và độ chính xác phạm vi của nó có thể đạt tới 3 mm. Mô-đun của cảm biến bao gồm một bộ thu, một bộ phát siêu âm và một mạch điều khiển. Dễ tích hợp là một ưu điểm khác của HC-SR04, tương thích với các bộ vi điều khiển Arduino, giúp đơn giản hóa quá trình tích hợp với phần cứng của hệ thống.

Trong giai đoạn thiết kế, chúng tôi đã cân nhắc các cảm biến khác, chẳng hạn như cảm biến hồng ngoại. Tuy nhiên, cuối cùng chúng tôi đã chọn HC-SR04 vì những lý do đã nêu ở trên, cũng như việc sử dụng rộng rãi và sự hỗ trợ của cộng đồng, giúp việc khắc phục sự cố và cải tiến trong tương lai trở nên dễ dàng hơn. Cảm biến HC-SR04 có lợi thế hơn so với cảm biến hồng ngoại vì nó có thể phát hiện mọi loại chướng ngại vật bằng cách gửi tín hiệu siêu âm. Ngược lại, cảm biến hồng ngoại không thể cung cấp khả năng phát hiện giống nhau cho tất cả các bề mặt, vì thông tin về bề mặt phải được biết trước.

3.2.6. Nguồn điện:

Tấm pin mặt trời và pin sạc được sử dụng để cung cấp nguồn điện liên tục cho các nút cảm biến, đảm bảo hoạt động ổn định. Một tấm chắn sạc năng lượng mặt trời dựa trên Arduino được gắn vào nút để sạc pin từ tấm pin mặt trời vào ban ngày và bật nút. Vào ban đêm, nút được cấp nguồn trực tiếp từ pin sạc.

3.2.7. Nền tảng IoT.

Nền tảng TTN là sự kết hợp hoàn hảo để triển khai IoT trong hệ thống sử dụng LoRaWAN làm mạng truyền thông không dây. TTN là một nền tảng mã nguồn mở và mạng mở để xây dựng ứng dụng IoT với chi phí thấp đồng thời cung cấp tính năng bảo mật tốt. Nhờ hỗ trợ hệ thống LoRa, nhà phát triển có thể có các tính năng giám sát trực tuyến theo thời gian thực, giúp nâng cao hiệu quả sử dụng thiết bị. Hơn nữa, thông tin trực tuyến có thể được truy cập thông qua các thiết bị thông minh, chẳng hạn như máy tính xách tay, máy tính để bàn và điện thoại thông minh. Trình duyệt web được sử dụng trên nhiều thiết bị, bao gồm máy tính để bàn, máy tính xách tay, máy tính bảng và điện thoại thông minh. Mục đích của trình duyệt web là lấy tài nguyên thông tin từ Web và hiển thị chúng trên thiết bị của người dùng. Nhìn chung, lý do lựa chọn TTN dựa trên một số yếu tố, bao gồm bản chất mã nguồn mở, cộng đồng hỗ trợ tích cực, phạm vi phủ sóng toàn cầu, dễ dàng tích hợp với nhiều nền tảng IoT và hiệu quả về chi phí. Những yếu tố này làm cho nó phù hợp với ứng dụng của chúng tôi, với mục tiêu là giá cả phải chăng, khả năng mở rộng và có

3.2.8. Nền tảng IoT TagoIO

Đây là một tích hợp IoT để quản lý thiết bị, lưu trữ dữ liệu, chạy phân tích và tích hợp các dịch vụ. TagoIO là một nền tảng IoT và hệ thống quản lý người dùng để sử dụng nhờ kết hợp nhiều tính năng. Nó tạo ra một nền tảng hoàn chỉnh và thông minh với IoT, cho phép người dùng nhanh chóng lưu trữ, trực quan hóa và xử lý dữ liệu cảm biến. TagoIO yêu cầu đăng ký để tạo bảng điều khiển và sử dụng ứng dụng.

3.2.9. Nền tảng IoT ThingSpeak

ThingSpeak [32] là một ứng dụng và API IoT nguồn mở, lưu trữ và truy xuất dữ liệu từ các đối tượng bằng giao thức HTTP qua Internet hoặc mạng LAN. ThingSpeak cho phép tạo các ứng dụng ghi nhật ký cảm biến, ứng dụng theo dõi vị trí và mạng xã hội vạn vật với các cập nhật trạng thái. Lý do chính để sử dụng ThingSpeak là để chứng minh tính linh hoạt của hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt được đề xuất về khả năng tương thích với nhiều nền tảng IoT. Mục tiêu chính của chúng tôi là được sử dụng sau này để thu thập và phân tích dữ liệu khi

Việc triển khai nhiều nút cảm biến thành một mạng lưới vì nó được tích hợp với MATLAB. Mặc dù TagoIO và The Things Network (TTN) đã được sử dụng rộng rãi trong bài báo, việc tích hợp ThingSpeak cho thấy khả năng hoạt động của hệ thống với nhiều nền tảng khác nhau để trực quan hóa và phân tích dữ liệu.

3.3. Thiết kế và chế tạo hệ thống

Cảm biến siêu âm được chọn trong nghiên cứu này nhờ khả năng đo mực nước ở độ sâu lên đến 4 m. Điều này cho phép đặt thiết bị trên cột đèn hoặc giá đỡ tương tự ở vị trí cao nhất so với mặt đất. Nhờ đó, thiết bị có thể phát hiện mực nước dâng cao trong mùa lũ. Tại Malaysia, trận lũ năm 2007 đã đạt mức 2,75 m-mức cao nhất được quan sát kể từ năm 1950 [33]. Cảm biến chủ yếu đo khoảng cách (D(t) tại thời điểm t) từ bề mặt vật thể đến cảm biến. Để đo mực nước lũ, hai công thức đã được sử dụng. Công thức đầu tiên được cho bởi

D_{đt} = $\frac{t \cdot C_s}{2}$; (1)

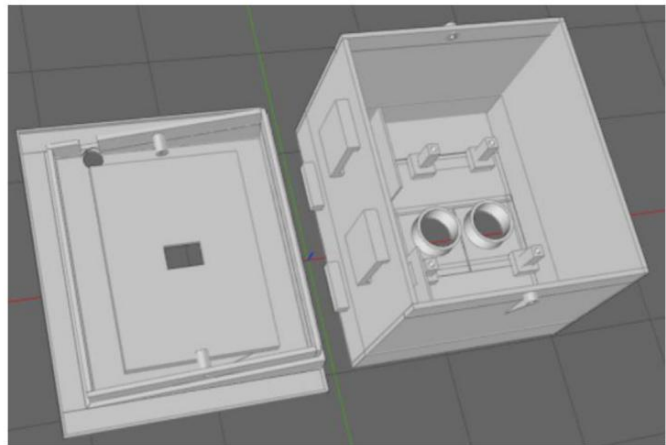
trong đó t là thời gian cần thiết để nhận được sóng phản hồi và C_s là tốc độ âm thanh và 344 m/s. Công thức thứ hai được biểu thị như sau

Mức lũ = $\frac{1}{4} \cdot D_{max}$ D_{đt}; (2)

trong đó D_{max} là khoảng cách tối đa từ cảm biến đến mặt đất và bằng 3 m (chiều cao của giá đỡ thiết bị), và D(t) là khoảng cách tức thời được ước tính bằng Công thức (1). Tốc độ thay đổi mực nước lũ được đo bằng cm/phút và được tính toán dựa trên giá trị mực nước trung bình trong một trận lũ. Mực nước đo được hiện tại được so sánh với mực nước trước đó để tìm tốc độ thay đổi trong 1 phút. Tốc độ này được tính bằng cách lấy chênh lệch giữa số liệu đo được hiện tại và trước đó trong một khoảng thời gian nhất định.

Trong giai đoạn thiết kế của thiết bị đề xuất, chúng tôi đã sử dụng phần mềm Matters Control, một phần mềm vẽ 3D yêu cầu bộ xử lý công suất thấp. Mục tiêu thiết kế là làm cho hệ thống nhỏ gọn và bao gồm bộ vi điều khiển, tấm chắn LoRa, cảm biến, pin và tấm pin mặt trời cùng với tất cả các hệ thống dây điện cần thiết. Vỏ hệ thống phải chống thấm nước, kích thước nhỏ gọn và dễ dàng gắn vào bất kỳ cột đèn hoặc giá đỡ tương tự nào. Hình 3 cho thấy thiết kế 3D của sản phẩm hoàn thiện cho thiết bị cảm biến đề xuất.

Hình ảnh bên ngoài của bộ cảm biến thông minh chế tạo được thể hiện trong Hình 4. Tấm pin mặt trời được đặt ở góc phù hợp để đạt hiệu suất tốt nhất, đảm bảo sạc pin tối ưu và cung cấp nguồn điện cần thiết cho hệ thống. Các linh kiện điện tử được trình bày trong sơ đồ mạch, và mạch đã được thử nghiệm trên bảng mạch thử nghiệm ảo. Bản vẽ sơ đồ được hiển thị ở Hình 5 với các kết nối giữa bộ vi điều khiển, mô-đun LoRa và cảm biến siêu âm.



Hình 3. Bản vẽ 3D cho vỏ hệ thống.

3.4. Số liệu hiệu suất

3.4.1. Tỷ số tín hiệu trên

nhiều Chúng tôi đang tìm kiếm các giá trị SNR cao hơn để đảm bảo các liên kết truyền thông đáng tin cậy. SNR đề cập đến tỷ số giữa công suất tín hiệu truyền và công suất nhiễu. Lý tưởng nhất, SNR nên được tối đa hóa để đảm bảo rằng quá trình giải điều chế ở đầu thu diễn ra đơn giản và tín hiệu có thể được giải mã chính xác ở đầu thu. Để cải thiện hiệu suất LoRa, hệ số trải phổ và các kỹ thuật hiệu chỉnh lỗi hướng tới (FEC) được sử dụng, do đó đảm bảo cải thiện đáng kể SNR. Cụ thể, SNR nằm trong khoảng từ 20 đến ¼ 10 dB. Tín hiệu thu được có độ méo ít hơn nếu phạm vi vào khoảng ¼ 10 dB. LoRa có phạm vi SNR nằm trong khoảng từ 7,5 đến 20 dB [34].

3.4.2. Hệ số lan truyền

SF là tham số quyết định thời lượng của một ký hiệu được truyền, ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ dữ liệu và phạm vi truyền thông. Hệ số lan truyền cao hơn dẫn đến thời lượng ký hiệu dài hơn, dẫn đến tốc độ dữ liệu thấp hơn và phạm vi truyền thông rộng hơn, trong khi hệ số lan truyền thấp hơn dẫn đến thời lượng ký hiệu ngắn hơn, mang lại tốc độ dữ liệu cao hơn và phạm vi truyền thông hẹp hơn.

3.4.3. Chỉ báo cường độ tín hiệu thu được

(RSSI) được đo bằng dBm và phản ánh công suất của tín hiệu thu được tính bằng miliwatt. Mục đích là tối đa hóa giá trị RSSI, vì giá trị càng cao thì tín hiệu thu được càng mạnh, dẫn đến chất lượng giao tiếp giữa máy phát và máy thu được cải thiện. Trong các hệ thống LoRaWAN, giá trị RSSI chấp nhận được có thể thay đổi tùy theo ứng dụng cụ thể và các yếu tố môi trường. Thông thường, giá trị RSSI 120 dBm được coi là giá trị tối thiểu chấp nhận được để thiết lập kết nối trong LoRaWAN. Tuy nhiên, giá trị RSSI cao hơn được ưu tiên để nâng cao chất lượng và độ tin cậy giao tiếp. Thông thường, giá trị RSSI từ 120 dBm đến 100 dBm được coi là tín hiệu yếu, trong khi giá trị từ 100 dBm đến 80 dBm được coi là tín hiệu trung bình.

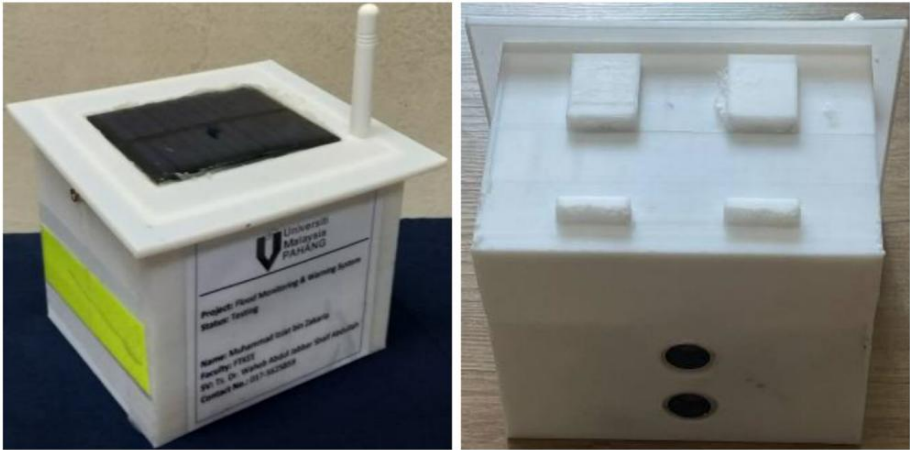
Cường độ tín hiệu mạnh thường được đặc trưng bởi giá trị RSSI từ 80 dBm đến 60 dBm. Để đảm bảo truyền thông tin cậy và giảm thiểu mất gói tin, giá trị RSSI nên cao hơn 100 dBm, tốt nhất là trong phạm vi tín hiệu từ trung bình đến mạnh. Cần lưu ý rằng các phạm vi này có thể thay đổi tùy thuộc vào triển khai LoRaWAN cụ thể, và giá trị RSSI chấp nhận được có thể bị ảnh hưởng bởi các yếu tố như mật độ công, điều kiện môi trường và phạm vi truyền thông mong muốn.

3.4.4. Tỷ lệ phân phối gói

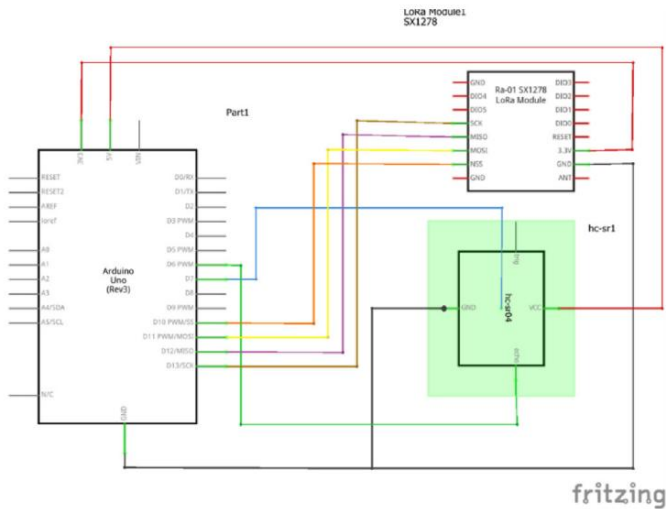
tín (PDR) là một chỉ số thiết yếu để đánh giá hiệu suất của các hệ thống truyền thông không dây, vì nó biểu thị tỷ lệ các gói tin được phân phối thành công trên tổng số gói tin được truyền. Chúng tôi trân trọng cơ hội được làm rõ phương pháp tính toán PDR. Trong nghiên cứu này, PDR được tính bằng công thức sau:

PDR = $\frac{\text{Số lượng gói tin nhận được thành công}}{\text{Tổng số gói tin được truyền}} \cdot 100\%$ (3)

Để tính toán PDR, trước tiên chúng tôi đếm tổng số gói tin được truyền bởi các thiết bị IoT-FMWS trong một khoảng thời gian nhất định. Sau đó, chúng tôi đếm số gói tin được máy chủ mạng nhận thành công trong cùng khoảng thời gian đó. PDR được tính bằng cách chia số gói tin nhận thành công cho tổng số gói tin được truyền và nhân kết quả với 100 để biểu thị dưới dạng phần trăm. PDR đóng vai trò là chỉ báo về độ tin cậy của liên kết truyền thông giữa các thiết bị IoT-FMWS và máy chủ mạng. PDR cao hơn ngụ ý kênh truyền thông tin cậy hơn, với khả năng mất dữ liệu trong quá trình truyền thấp hơn. Trong phân tích của mình, chúng tôi đánh giá PDR trong các cài đặt thông số và điều kiện môi trường khác nhau để đánh giá hiệu suất của IoT-FMWS dựa trên LoRaWAN của chúng tôi.



Hình 4. Góc nhìn bên ngoài của LoRaWAN FMWS.



Hình 5. Sơ đồ nguyên lý cho thiết kế đầu tiên.

Trong nghiên cứu này, chúng tôi sử dụng chế độ đã được xác nhận của mạng LoRaWAN. Tùy chọn này được thực hiện để đảm bảo rằng các gói dữ liệu được truyền bởi các thiết bị IoT-FMWS được máy chủ mạng nhận dạng và xác nhận

rằng chúng đã được nhận thành công. Do tính chất quan trọng của việc giám sát và cảnh báo lũ lụt, các kênh truyền thông tin cậy là rất quan trọng để đảm bảo dữ liệu quan trọng không bị mất trong quá trình truyền tải. Chế độ xác nhận cung cấp các lớp tin cậy bổ sung, bao gồm cơ chế xác nhận máy chủ mạng nhận được các gói dữ liệu. Nếu thiết bị IoT-FMWS không nhận được xác nhận, gói dữ liệu có thể được truyền lại để đảm bảo việc truyền tải. Phương pháp này có thể dẫn đến mức tiêu thụ năng lượng và độ trễ cao hơn, nhưng ưu tiên của hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt là độ tin cậy của dữ liệu.

3.4.5. Độ trễ thời gian
gian độ trễ thời gian là một trong những tiêu chí chung để phân tích truyền thông. Nút được thiết lập để gửi các gói tin sau mỗi 60 giây bằng thuật toán dựa trên Arduino. Độ trễ càng thấp thì độ tin cậy của liên kết truyền thông càng cao. Để tính độ trễ truyền trong mạng LoRaWAN, chúng ta cần xem xét một số yếu tố, bao gồm kích thước tải trọng (32 bit), hệ số lan truyền (SF7 hoặc SF12), băng thông (125 kHz, 250 kHz và 500 kHz) và tốc độ mã hóa (4/5, 4/6, 4/7 hoặc 4/8). Theo đó, có thể tính toán thời lượng ký hiệu và số lượng ký hiệu trên mỗi tải trọng. Thời gian phát sóng (ToA) được xác định dựa trên các tham số này và có thể dễ dàng trích xuất từ TTN và TagoIO. ToA biểu thị độ trễ truyền tính bằng giây cho một gói LoRaWAN duy nhất. Lưu ý rằng các yếu tố như độ trễ mạng và thời gian xử lý tại cổng và máy chủ mạng có thể gây ra độ trễ bổ sung.



Hình 6. Kiến trúc hệ thống tổng thể.

4. Kiến trúc hệ thống đề xuất và tiêu chí triển khai

Nghiên cứu này tập trung vào việc phát triển một FMWS mới, thống nhất, hiệu quả và thân thiện với người dùng dựa trên công nghệ LoRa/LoRaWAN để thu thập dữ liệu thời gian thực. Cấu trúc tổng thể của hệ thống FMWS đề xuất được trình bày trong [Hình 6](#), minh họa luồng dữ liệu và giải thích nguyên lý hoạt động của hệ thống. Ban đầu, cảm biến siêu âm, được kết nối với Arduino, đo mực nước lũ bằng cách gửi và nhận xung siêu âm đến mặt nước. Cảm biến siêu âm phát ra tín hiệu siêu âm từ chân "Trigger" và nhận xung qua chân "Echo". Sau đó, chân "Echo" và "Trigger" gửi dữ liệu số đến vi điều khiển để xác định mực nước lũ theo một số tham số được xác định trước trong chương trình phần mềm được viết bằng Arduino IDE. Các giá trị của mức độ rủi ro cũng được định nghĩa trong chương trình. Các giá trị này có thể được thay đổi dựa trên các tình huống cần thiết trong quá trình triển khai thực tế. [Thuật toán 1](#) được đề xuất để đo khoảng cách giữa hệ thống đã phát triển và mặt nước và trả về mực nước lũ.

Thuật toán 1. Giám sát mực nước lũ

Assume the FMWS is placed at a 3-meter height.
Require: Low Flood Level
Ensure the water level is lower than a predefined threshold
1. Install the LoRaWAN gateway and connect to the Internet
2. Register the gateway in the TTN console (GW ID, frequency plan, router, and GW key)
3. Create LoRaWAN-FMWS application in the TTN console (app ID, app EUI, and TTN-handler)
4. Register LoRa Node under LoRaWAN-FMWS application (Dev. ID, Dev. EUI, app key, and app EUI)
5. Define Device activation method (ABP)
6. Get Network and app session keys and device address
7. Define Libraries for smart LoRa node and TTN
8. Define LoRa-node pin mapping ➡ for ultrasonic and LoRa connection
9. Set LoRa configuration parameters
10. Let $D_{MAX} = 300.0$ ➡ The maximum distance in cm to the water surface
11. $D(t) \leftarrow$ Distance measured by the ultrasonic sensor at a time, t
12. $F_Level(t) \leftarrow$ Level of flood at time, t
13. $F_Rate(t) \leftarrow$ Flood Rate of at the time, t
14. Initialize the sensing node ➡ at $t = 0$
15. Acquire the state (Trigger, Echo) of HC-SR04 ➡ Start and Stop state
16. $TimeElapsed = stopTime - startTime$ ➡ Time difference between Trigg. and Echo
17. $D(t) = (TimeElapsed * 34300) / 2$ ➡ Where 34300 is sonic speed in cm/s
18. $F_level = (D_{MAX} - D(t))$ ➡ Flood level in cm
19. Estimate $F_Rate(t)$ (increment/decrement) based on previous readings
20. for each round, do
21. Get $D(t)$, F_level , $F_Rate(t)$
22. Multiply each reading by 100 ➡ represent each sensor by two words
23. Split both words (16 bits) into two payloads of 8 bits
24. Encode all payloads into ONE packet of 4 bytes
25. Establish a connection between LoRa Node and LoRaWAN GW
26. Update the status of sensors in the TTN server (online)
27. Send data to LoRaWAN GW
28. Upload data to the TTN server over the Internet
29. Decode the received Payloads to retrieve the original sensor readings
30. Integrate the data into the TagoIO dashboard
31. if $F_level < 50$ cm then
32. Switch ON Green LED
33. Print ("FMWS NORMAL STATUS")
34. else if
35. $F_level \geq 50$ cm && $F_level < 100$ cm then
36. Switch ON YELLOW LED
37. Print ("FMWS ALERT STATUS")
38. else if
39. $F_level \geq 100$ cm && $F_level < 150$ cm then
40. Switch ON ORANG LED
41. Print ("FMWS CAUTIOUS STATUS")
42. else
43. $F_level \geq 150$ cm then
44. Switch ON RED LED
45. Print ("FMWS DANGEROUS STATUS")
46. end for
47. User remotely monitors flood status in real-time via TagoIO web-based and mobile App
48. END

Tiếp theo, chúng tôi xác định bốn mức nước (L) cho mục đích thử nghiệm như sau: BÌNH THƯỜNG ($L \frac{1}{4} < 50$ cm), CẢNH BÁO (50 cm $< L \frac{1}{4} < 100$ cm), THẬN TRỌNG (100 cm $< L \frac{1}{4} < 150$ cm) và NGUY HIỂM ($L > 150$ cm). Mỗi mức nước có một phản ứng riêng khi nhận được tín hiệu từ hệ thống. Nút cảm biến LoRa gửi dữ liệu thu thập được đến cổng LoRaWAN, được kết nối với Internet. Máy chủ TTN IoT dựa trên web sẽ nhận dữ liệu này, hiển thị chúng theo thời gian thực và lưu trữ dữ liệu trên đám mây. Thông tin về mực nước lũ cũng được tích hợp với máy chủ TagoIO,

được giám sát bằng bảng điều khiển TagoIO dựa trên nền tảng web được phát triển và dưới dạng giao diện người dùng đồ họa (GUI) trên điện thoại thông minh di động mà người dùng có thể truy cập. TagoIO được sử dụng ở đây vì nó có giao diện thân thiện với người dùng và có thể hoạt động hiệu quả với máy chủ TTN, cho phép dễ dàng điều khiển và giám sát qua điện thoại thông minh. TagoIO cũng cho phép gửi nhiều loại cảnh báo khác nhau đến người dùng, bao gồm báo động bằng âm thanh, đèn LED nhấp nháy, tin nhắn SMS và cuộc gọi điện thoại. Thông qua quy trình này, việc giám sát và cảnh báo mực nước lũ có thể được truy cập thông qua máy chủ web (PC và máy tính xách tay) và điện thoại di động.

5. Kết quả thực nghiệm và xác nhận

Phần này trình bày các kết quả thu được để kiểm chứng và xác thực việc triển khai FMWS dựa trên LoRaWAN được đề xuất. Để xác thực, mã hóa Arduino IDE đã được phát triển theo thuật toán đề xuất để nhận tín hiệu từ cảm biến HC-SR04. Cảm biến này đo mực nước và tốc độ gia tăng trong một dòng sông ảo.

mà chúng tôi đã chế tạo bằng cách sử dụng một thùng chứa nước và một máy bơm nước. Sau đó, chúng tôi thiết kế ba kịch bản chính để kiểm tra chức năng và hiệu suất của nút cảm biến được đề xuất. Hai kịch bản tập trung vào việc cập nhật dữ liệu lên đám mây ở các mực nước khác nhau của dòng sông ảo để kiểm tra khả năng của hệ thống và cập nhật dữ liệu theo thời gian thực đến các máy chủ IoT và ứng dụng di động. Kịch bản thứ ba tập trung vào hiệu suất giao diện truyền thông LoRa về khoảng cách từ nút cảm biến đến cổng. Điều này nhằm đảm bảo khả năng truyền dữ liệu đáng tin cậy của hệ thống từ các cảm biến khác nhau đến cổng. Trong kịch bản đầu tiên, GUI dựa trên TagoIO-ngoài TTN-đã được sử dụng để quan sát dữ liệu cập nhật về mực nước lũ, tốc độ lũ, tần suất truyền, SNR và chỉ báo cường độ tín hiệu thu được (RSSI). Kịch bản thứ hai sử dụng tích hợp nền tảng IoT ThingSpeak với TTN để trực quan hóa dữ liệu thu thập được theo thời gian thực thông qua các kênh ThingSpeak công khai và riêng tư. Trong kịch bản thứ ba, khoảng cách giữa nút và cổng được thay đổi từ 100 đến 600 m. Sau đó, hai hệ số lan truyền (SF7 và SF12) đã được thử nghiệm. Mười số liệu thu thập được được tính trung bình cho mỗi 100 m để có được ý tưởng chung về hoạt động của hệ thống trước khi triển khai thực tế.

Do khó khăn trong việc tạo ra một kịch bản lũ lụt thực tế cho mục đích thử nghiệm, trước tiên chúng tôi đã tiến hành một số thử nghiệm trong môi trường mô phỏng để có được kết quả sơ bộ. Đầu tiên, chúng tôi đã áp dụng một nguyên mẫu cho hệ thống của mình để phù hợp với dòng sông ảo. Mực nước được thay đổi bằng cách sử dụng một thùng chứa đôi có van và một máy bơm nước. Nút cảm biến đã gửi dữ liệu thu thập được lên Internet qua cổng LoRaWAN và cũng gửi cảnh báo, khi cần thiết, đến người dùng điện thoại di động thông qua bảng điều khiển TagoIO. Ngoài ra, thông tin được cung cấp thông qua thiết bị đầu cuối TTN để theo dõi và phân tích tức thời các thay đổi về mực nước lũ và lưu trữ lịch sử dữ liệu trên đám mây, cho biết tình hình mực nước sông ảo. Sau đó, dữ liệu được gửi

lên đám mây, nơi ghi lại chúng liên tục theo mực nước, như thể hiện trong [Hình 7](#). Thông thường, dữ liệu nhận được trong bảng điều khiển TTN là các ký tự không thể đọc được và phải được giải mã bằng hàm giải mã Java. Dữ liệu này thường được hiển thị trong TTN với ID nút và một số thông tin liên quan đến LoRa về SNR, RSSI, tần số và SF.

Trên kênh TagoIO của chúng tôi, chúng tôi đã thêm một biểu đồ và một đồng hồ do để trực quan hóa các giá trị tức thời và được ghi lại của mực nước lũ (dữ liệu được thu thập) theo thời gian thực và trong một khoảng thời gian xác định, như minh họa trong [Hình 8](#). Tất cả dữ liệu được thu thập từ hệ thống, đưa vào TTN và tích hợp với TagoIO, cho phép thực hiện nhiều phép tính khác nhau, chẳng hạn như tổng, phương sai và đếm, do đó đáp ứng các yêu cầu bảo mật. Như được chỉ ra trong các hình, hệ thống hiển thị các giá trị đọc mực nước khác nhau theo thời gian trong nguyên mẫu sông ảo. Vùng bình thường được biểu thị bằng màu xanh lá cây trong [Hình 8\(a\)](#), trong khi vùng cảnh báo có màu vàng, như thể hiện trong [Hình 8\(b\)](#). Ngược lại, vùng thận trọng ([Hình 8\(c\)](#)) và vùng nguy hiểm ([Hình 8\(d\)](#)) trong phạm vi đồng hồ do được biểu thị bằng màu cam và đỏ tương ứng.

MI Zakaria và cộng sự

Hình 8(a) thể hiện sự biến động mực nước trong khoảng thời gian được xem xét. Trong khoảng thời gian này, chúng tôi đã thay đổi lượng nước trong sông ảo để kiểm tra mọi tình huống (mức cao, trung bình và thấp). Đối với mỗi tình huống, chúng tôi quan sát các giá trị nhận được trên biểu đồ thực địa và máy đo mực nước lũ, sau đó so sánh chúng với mực nước thực tế trong nguyên mẫu. Các giá trị này chính xác và thay đổi theo thời gian thực. Tương tự, mực nước cảnh báo, thận trọng và nguy hiểm được hiển thị trong một khoảng thời gian ngắn, như thể hiện trong **Hình 8**(b), (c) và (d), tương ứng. Các giá trị này có thể được quan sát từ máy chủ web bằng PC/máy tính xách tay/điện thoại thông minh. Dữ liệu của khoảng thời gian cụ thể có thể được phân tích thêm tại trạm chính để theo dõi lũ lụt và có thể thực hiện hành động phù hợp dựa trên mực nước lũ.

Chúng tôi đã thiết kế một giao diện thân thiện với người dùng bằng TagoIO. Ngoài mức lũ, một số thông số cũng được hiển thị đồng thời trên bảng điều khiển, bao gồm tốc độ lũ, tần suất truyền tải của nút, SNR và RSSI. Sự thay đổi của tất cả các giá trị này có thể được theo dõi theo thời gian thực thông qua bảng điều khiển, cho thấy tính ổn định và độ tin cậy của đường truyền.

Theo kết quả thu được, chúng ta có thể khẳng định tính hợp lệ của nút cảm biến được đề xuất và khả năng đo mực nước lũ chính xác của nút này.

Kịch bản thứ hai tích hợp TTN với nền tảng IoT ThingsSpeak và đưa ra một ví dụ để kiểm chứng và xác thực việc triển khai FMWS dựa trên LoRaWAN được đề xuất. Bộ cảm biến thông minh được phát triển sẽ đo mực nước trong một dòng sông ảo được chế tạo bằng cách sử dụng một thùng chứa nước và một máy bơm nước. Cổng LoRaWAN sẽ đăng dữ liệu lên Internet và gửi cảnh báo đến người dùng điện thoại di động thông qua kênh ThingsSpeak. Ngoài ra, thông tin sẽ được cung cấp thông qua một kênh công cộng trên ThingsSpeak để theo dõi và phân tích các thay đổi về mực nước lũ ngay lập tức và lưu trữ lịch sử dữ liệu trên đám mây, sau đó chỉ ra tình hình mực nước sông ảo. Dữ liệu được gửi đến ThingsSpeak, nơi sẽ ghi lại chúng liên tục theo mực nước, như thể hiện trong **Hình 9**.

Trên kênh công khai ThingsSpeak, chúng tôi thêm biểu đồ và đồng hồ đo để trực quan hóa các giá trị mực nước lũ tức thời và được ghi lại (dữ liệu thu thập được) theo thời gian thực và trong một khoảng thời gian xác định. Tất cả dữ liệu được thu thập từ hệ thống và được đưa vào ThingsSpeak, cho phép thực hiện nhiều phép tính khác nhau như tổng, phương sai và độ lệch; điều này đáp ứng các yêu cầu bảo mật. Như thể hiện trong hình, hệ thống hiển thị các giá trị mực nước khác nhau trong nguyên mẫu sông ảo theo thời gian. Vùng nguy hiểm được biểu thị bằng màu đỏ trong phạm vi đồng hồ đo, vùng thận trọng được biểu thị bằng màu xanh lam và vùng bình thường được biểu thị bằng màu xanh lá cây.

Hình 9 (a) cho thấy sự thay đổi mực nước trong vòng 30 phút, bắt đầu từ 20:30 và kết thúc lúc 21:00. Trong khoảng thời gian này, chúng tôi thay đổi lượng nước trong sông ảo để kiểm tra tất cả các tình huống (mức cao, trung bình và thấp). Đối với mỗi tình huống, chúng tôi quan sát các giá trị nhận được trên biểu đồ thực địa, đo mực nước lũ và so sánh chúng với mực nước thực tế trong nguyên mẫu. Các giá trị này chính xác và thay đổi theo thời gian thực. Tương tự, mực nước trung bình được hiển thị trong một khoảng thời gian ngắn, như thể hiện trong **Hình 9** (b). Tình hình lũ lụt cũng được mô tả trong đồng hồ đo mực nước lũ, như thể hiện trong **Hình 9** (c, d, e). Các giá trị này có thể được quan sát từ máy chủ web bằng máy tính cá nhân hoặc máy tính xách tay. Dữ liệu của giai đoạn cụ thể có thể được

Applications > fmes_jump > Data

time	counter	port	dev id	payload	00 15 FE FE	Flevel	21	cntMin	-1.0078125
14:03:57	92	1	dev id: floodone	payload: 00 15 FE FE	Flevel: 21	cntMin: -1.0078125			
14:03:40	91	1	dev id: floodone	payload: 00 21 01 01	Flevel: 33	cntMin: 1.00390625			
14:03:22	90	1	dev id: floodone	payload: 00 1B FF FF	Flevel: 27	cntMin: -0.00390625			
14:03:05	89	1	dev id: floodone	payload: 00 21 FF FF	Flevel: 33	cntMin: -0.00390625			
14:02:47	88	1	dev id: floodone	payload: 00 28 02 02	Flevel: 48	cntMin: 2.0078125			
14:02:30	87	1	dev id: floodone	payload: 00 1B 01 01	Flevel: 27	cntMin: 1.00390625			
14:02:13	86	1	dev id: floodone	payload: 00 15 FF FF	Flevel: 21	cntMin: -0.00390625			
14:01:55	85	1	dev id: floodone	payload: 00 1C 02 02	Flevel: 28	cntMin: 2.0078125			
14:01:38	84	1	dev id: floodone	payload: 00 0E FE FE	Flevel: 14	cntMin: -1.0078125			
14:01:20	83	1	dev id: floodone	payload: 00 1C 00 00	Flevel: 28	cntMin: 0			
14:01:03	82	1	dev id: floodone	payload: 00 1B 01 01	Flevel: 27	cntMin: 1.00390625			

Hình 7. Dữ liệu về mực nước và tốc độ lũ, như thể hiện trong TTN.

Internet vạn vật và hệ thống mạng vật lý 3 (2023) 249-261

được phân tích sâu hơn bằng MATLAB tại trạm chính để theo dõi lũ lụt và có thể thực hiện hành động thích hợp dựa trên mức độ lũ lụt.

Trong kịch bản thứ ba, chúng tôi đã nghiên cứu các số liệu liên quan đến LoRa liên quan đến khoảng cách giữa nút cảm biến LoRa và cổng LoRaWAN đa kênh được chế tạo cho hai SF, SF7 và SF12. Lý do chính cho việc chỉ chọn hai SF, SF12 và SF7, là để minh họa sự đánh đổi giữa phạm vi truyền thông, tốc độ dữ liệu và mức tiêu thụ năng lượng cho IoT-FMWS trong các kịch bản khác nhau. SF12 cung cấp phạm vi truyền thông dài hơn và khả năng thâm nhập tín hiệu tốt hơn với cái giá phải trả là tốc độ dữ liệu thấp hơn và mức tiêu thụ năng lượng cao hơn, trong khi SF7 cung cấp tốc độ dữ liệu cao hơn và mức tiêu thụ năng lượng thấp hơn với cái giá phải trả là phạm vi truyền thông và độ thâm nhập tín hiệu giảm. Bằng cách so sánh hai trường hợp cực đoan này, chúng tôi muốn chứng minh tác động của các SF khác nhau đến hiệu suất hệ thống của chúng tôi. Kịch bản này nhằm mục đích nhận ra khả năng của công nghệ LoRaWAN trong việc cung cấp vùng phủ sóng không dây dài và đáng tin cậy trong khu vực nghiên cứu. Để xác thực hệ thống, một khu vực trong bán kính một km xung quanh khu vực thu thập dữ liệu đã được xem xét trong trường hợp này.

Thí nghiệm, như thể hiện trong **Hình 10**. Kịch bản này sẽ được mở rộng hơn nữa trong các thí nghiệm tương lai với việc triển khai thực tế nút cảm biến lũ gần sông. Để xác định khu vực thử nghiệm, một bản đồ trong phạm vi bán kính nhất định đã được thiết lập trước. Tệp được lưu ở định dạng .kml và kết hợp với ứng dụng Tracklia trên Android, có thể đọc tệp .kml và theo dõi theo thời gian thực trên bản đồ. Tính năng này rất hữu ích so với kỹ thuật truyền thống là chỉ ước lượng vị trí bằng mắt. Việc sử dụng ứng dụng cung cấp khoảng cách theo thời gian thực giữa nút cảm biến và cổng kết nối, đồng thời giúp theo dõi những thay đổi trong các chỉ số hiệu suất được xem xét, bao gồm SNR, RSSI, độ trễ và PDR.

Theo đó, một số chỉ số SNR và RSSI đã được đo trong một kịch bản thực tế. Việc thiết lập chiến dịch đo lường giữ cho cổng kết nối cố định và kết nối với Internet bên ngoài văn phòng ở độ cao 1 m so với mặt đất, và nút cảm biến được gắn trên một chiếc xe máy đang di chuyển ra xa cổng kết nối. Nút cảm biến được di chuyển từ trung tâm tại cổng kết nối qua đường đo và gửi các gói dữ liệu đến cổng kết nối cứ sau 100 m. Giá trị trung bình của các chỉ số được xem xét được ghi lại tại phía cổng kết nối LoRaWAN cứ sau 100 m, tối đa 1 km.

Tại Malaysia, băng tần được phân bổ cho LoRaWAN là 920 MHz-923 MHz, thuộc kế hoạch tần số AS923-S1. Kế hoạch tần số này thường có 8 kênh và công suất truyền tối đa được phép là 20 dBm (100 mW). Cả nút cảm biến và cổng đều được vận hành ở băng tần 915-923 MHz với hai hệ số trải phổ khác nhau là SF7 và SF12, và công suất truyền 20 dBm với băng thông 125 kHz. Các quy định về chu kỳ hoạt động cho LoRaWAN được quy định bởi Ủy ban Truyền thông và Đa phương tiện Malaysia (MCMC). Đối với băng tần 923 MHz, được sử dụng trong trường hợp của chúng tôi, chu kỳ hoạt động tối đa được phép là 1%, theo hướng dẫn của MCMC. Điều này có nghĩa là cứ mỗi 1% thời gian dành cho việc truyền, thiết bị phải ở trạng thái không hoạt động trong 99% thời gian. Việc tuân thủ các quy định này đảm bảo rằng phổ vô tuyến được chia sẻ hiệu quả giữa nhiều thiết bị, giảm thiểu nhiễu và thúc đẩy hiệu suất mạng tối ưu.

Dựa trên các thiết lập mặc định và các tính năng của cổng LoRaWAN đa kênh chế tạo, phạm vi phủ sóng truyền thông có thể đạt tới 10 km. Trong các thử nghiệm được tiến hành, khoảng cách 1 km đã được xem xét và tăng dần 100 m tính từ tâm vòng tròn tại cổng. **Hình 11** cho thấy cường độ tín hiệu nhận được tại cổng liên quan đến khoảng cách. Người ta quan sát thấy RSSI giảm khi khoảng cách tăng bất kể SF được sử dụng. Nút cảm biến LoRa đã phát triển có độ nhạy thu cao ở mức 146 dBm. Do đó, giá trị RSSI nhỏ nhất là 102 dBm ở 600 m và vẫn cao hơn nhiều so với giá trị độ nhạy thu tối thiểu. Hơn nữa, đây là giá trị tệ nhất được ghi lại trong quá trình thử nghiệm này đối với cả hai SF.

Chỉ số RSSI chịu ảnh hưởng bởi khoảng cách giữa nút và cổng kết nối cho cả SF7 và SF12. SF12 có RSSI cao hơn SF7 trong 400 m đầu tiên, nhưng cả hai đều có giá trị gần như nhau ở 600 m. Mặc dù có sự khác biệt, tất cả các giá trị đo được đều nằm trong phạm vi chấp nhận được.

Rõ ràng, phạm vi kết nối cao hơn có thể đạt được theo



Hình 8. Đo mực nước bằng nguyên mẫu sông ảo được trích xuất từ Kênh TagoIO.

kết quả thu được. Do đó, chúng tôi đã chứng minh rằng việc lựa chọn một nút cảm biến dựa trên LoRaWAN cho hệ thống giám sát lũ lụt truyền thông không dây tầm xa là một lựa chọn phù hợp và chính xác cho hệ thống dự định.

Hiệu suất chất lượng truyền thông của nút LoRa cũng được đánh giá theo SNR, như thể hiện trong Hình 12. Kích bản tương tự đã được sử dụng để trích xuất các giá trị SNR ở các khoảng cách khác nhau giữa nút và cổng. SNR được đo bằng dB và các giá trị có thể dương hoặc âm. SNR có giá trị âm có nghĩa là nhiễu

Công suất cao hơn công suất tín hiệu. Đây là những gì chúng ta có thể quan sát được ở khoảng cách 500 và 600 m với SF12. Với SF12, chúng ta chỉ có giá trị dương trong khoảng 400 m đầu tiên, trong khi ở 500 m, giá trị này chuyển sang vùng âm. Ngược lại, SNR lại dương với các giá trị từ 0 đến 9 dB trong tất cả các trường hợp SF7. Điều này cho thấy khả năng truyền thông tốt đạt được khi công suất tín hiệu cao hơn nhiều so với công suất nhiễu.

Ưu điểm chính của cổng LoRaWAN đa kênh được chế tạo là khả năng hỗ trợ số lượng lớn các nút cuối, do đó đạt được khả năng mở rộng mạng tốt hơn. Ngoài ra, dữ liệu cao hơn

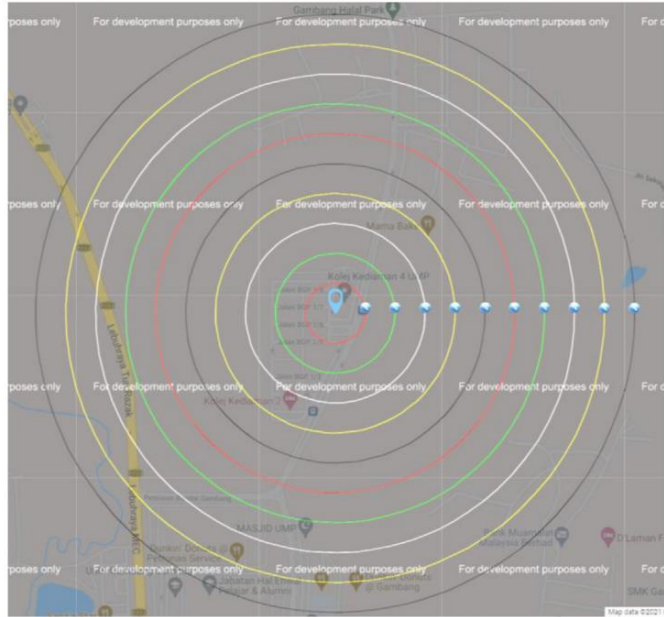


Hình 9. Các phép đo mực nước lũ được trích xuất từ Kênh IoT ThingSpeak.

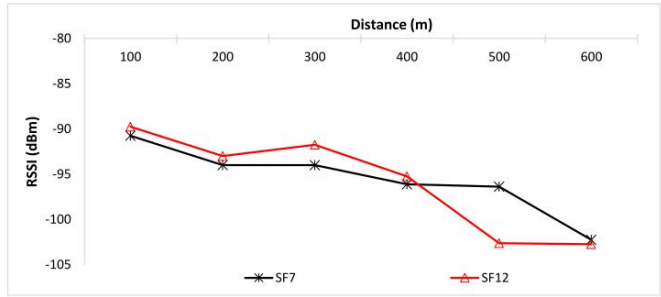
Độ tin cậy truyền dẫn và độ trễ thời gian thấp hơn là một trong những tính năng của cổng đa kênh. Trong thí nghiệm này, chúng tôi theo dõi PDR và độ trễ thời gian như các chỉ số hiệu suất của hệ thống đề xuất. Mặc dù chỉ sử dụng một nút và một cổng, kết quả cung cấp cái nhìn sâu sắc về hành vi mạng khi triển khai mạng đa nút và đa cổng. Trong kịch bản này, tác động của sự thay đổi khoảng cách lên PDR và độ trễ truyền dữ liệu đã được nghiên cứu sâu hơn bằng cách so sánh hiệu suất theo các SF đã xem xét (7 và 12).

Dựa trên kết quả thu được thể hiện trong Hình 13, có thể thấy rằng SF có tác động hạn chế đến PDR ở khoảng cách 500 m, trong khi PDR đạt 100% trong mọi trường hợp bất kể khoảng cách hay giá trị SF. Ngược lại, tác động của SF thay đổi đến độ trễ thời gian có thể được thấy trong Hình 14. Giá trị SF càng cao thì độ trễ càng dài, bất kể khoảng cách

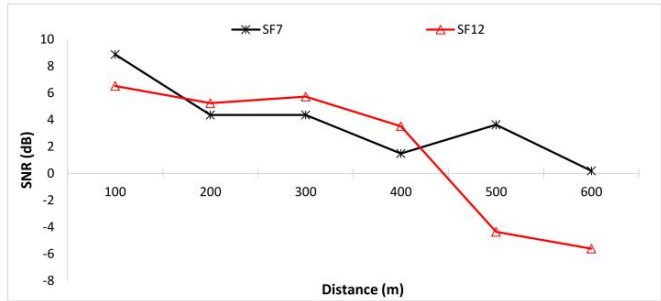
giữa cổng và nút cảm biến. Các giá trị đo được cho khoảng cách được xem xét có thể xác nhận độ tin cậy của liên kết truyền thông không dây giữa nút và cổng. Kết quả cho thấy mất gói tin có tác động rõ ràng đến độ trễ. Nhìn chung, nên sử dụng cài đặt SF7 để loại bỏ độ trễ và mất gói tin trong quá trình truyền trên các khoảng cách xa hơn. Mất gói tin cao nhất, 20%, xảy ra ở khoảng cách 500 m và SF12. Tuy nhiên, đối với các trường hợp khác, không có trường hợp mất gói tin nào được quan sát thấy ngay cả ở khoảng cách 600 m. Dựa trên quan sát, SF7 đạt độ trễ dưới 2,5 giây so với 3,75 giây, đây là độ trễ cao nhất với SF12 ở khoảng cách 600 m.



Hình 10. Bán kính một km từ cổng LoRa.



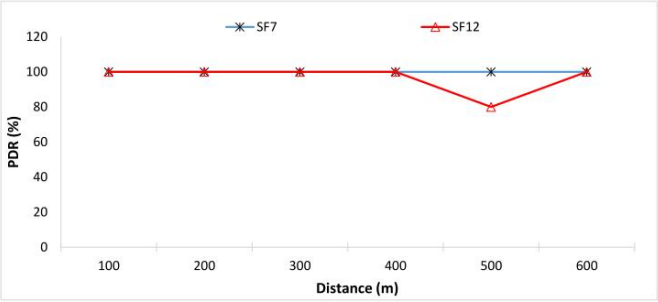
Hình 11. RSSI so với khoảng cách của SF7 và SF12.



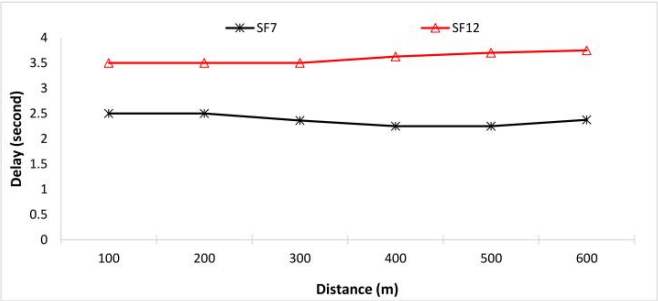
Hình 12. SNR so với khoảng cách của SF7 và SF12.

6. Kết luận và hướng phát triển tiếp theo

Trong nghiên cứu này, chúng tôi trình bày việc phát triển và triển khai một bộ cảm biến thông minh dựa trên LoRaWAN mới cho hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt, được thiết kế đặc biệt để giảm thiểu và có khả năng loại bỏ rủi ro cho con người trong mùa lũ ở Malaysia. Hệ thống của chúng tôi cung cấp một giải pháp tiết kiệm chi phí và thân thiện với người dùng, có thể được cá nhân và chính quyền sử dụng để giám sát lũ lụt kịp thời và chính xác. Mục tiêu chính của hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt này là cung cấp thông tin chính xác, theo thời gian thực về mực nước lũ trong khu vực lưu vực cho người dân và các cơ quan liên quan. Để đạt được điều này, hệ thống sẽ tạo ra cảnh báo khi tình trạng lũ lụt đạt đến mức "cảnh báo" hoặc "nguy hiểm".



Hình 13. PDR so với khoảng cách của SF7 và SF12.



Hình 14. Độ trễ so với khoảng cách của SF7 và SF12.

đảm bảo các hành động phù hợp có thể được thực hiện để bảo vệ tính mạng và tài sản. Nhìn về phía trước, nghiên cứu của chúng tôi sẽ tập trung vào việc mở rộng khả năng của hệ thống này bằng cách cho phép nó hoạt động như một mạng lưới. Điều này sẽ bao gồm việc thu thập dữ liệu từ nhiều đơn vị cảm biến thông minh phân bố trên khắp các khu vực lưu vực và truyền thông tin này đến một máy chủ trạm trung tâm. Bằng cách tổng hợp và phân tích dữ liệu từ một khu vực địa lý rộng hơn, hệ thống sẽ được trang bị tốt hơn để hỗ trợ các kế hoạch quản lý lũ lụt toàn diện và giúp giảm thiểu tác động của các thảm họa lũ lụt trong tương lai. Tóm lại, đơn vị cảm biến thông minh dựa trên LoRaWAN của chúng tôi để giám sát và cảnh báo lũ lụt hứa hẹn đáng kể trong việc giảm thiểu rủi ro cho con người trong mùa lũ ở Malaysia. Bằng cách tiếp tục cải tiến khả năng của nó và mở rộng phạm vi tiếp cận thông qua tích hợp mạng, chúng tôi đặt mục tiêu tạo ra một hệ thống mạnh mẽ và hiệu quả hơn, có thể góp phần vào một tương lai an toàn hơn và chuẩn bị tốt hơn cho các cộng đồng bị ảnh hưởng bởi lũ lụt.

Các nghiên cứu trong tương lai có thể khám phá các phương pháp mở rộng phạm vi truyền thông, chẳng hạn như sử dụng các kỹ thuật lập kế hoạch mạng tiên tiến hơn, tối ưu hóa vị trí đặt các cổng hoặc sử dụng mạng lưới dạng lưới. Như đã đề cập trước đó, chúng tôi đã sử dụng các SF cố định trong nghiên cứu của mình, điều này có thể không tối ưu cho tất cả các kịch bản triển khai. Trong tương lai, việc lựa chọn SF có thể được điều chỉnh cho các kịch bản triển khai khác nhau, có tính đến các yếu tố như mật độ mạng, yêu cầu về phạm vi truyền thông và hạn chế về năng lượng. Do đó, chúng tôi có thể nghiên cứu việc sử dụng ADR để điều chỉnh động các SF, tốc độ dữ liệu và công suất truyền dựa trên các yêu cầu truyền thông riêng lẻ và điều kiện kênh của các thiết bị IoT-FMWS. Việc điều tra và phân tích bao gồm tất cả các SF khả dụng (SF7 đến SF12) trong tiêu chuẩn LoRaWAN cũng được khuyến nghị. Phân tích như vậy sẽ cung cấp sự hiểu biết toàn diện hơn về sự đánh đổi giữa các SF khác nhau và tác động của chúng đến hiệu suất của hệ thống được đề xuất. Chúng tôi có thể khám phá các kỹ thuật xử lý và lọc dữ liệu tiên tiến hơn để nâng cao độ chính xác và độ tin cậy của dữ liệu giám sát lũ lụt. Các kỹ thuật như thuật toán học máy hoặc mô hình thống kê có thể được sử dụng để phân tích dữ liệu tốt hơn và đưa ra dự đoán và cảnh báo lũ chính xác hơn. Việc triển khai IoT-FMWS hiện tại chỉ dựa vào giao tiếp LoRaWAN. Các nghiên cứu trong tương lai có thể khám phá việc tích hợp hệ thống với các công nghệ truyền thông khác, chẳng hạn như IoT di động (ví dụ: NB-IoT,

LTE-M) hoặc truyền thông vệ tinh, để cải thiện khả năng phục hồi và phạm vi phủ sóng của hệ thống.

Tài trợ

Nghiên cứu này được hỗ trợ bởi Đại học Malaysia Pahang (www.ump.edu.my), Malaysia, theo Chương trình nghiên cứu sau đại học PGRS200352 của UMP.

Đóng góp của tác giả

Khái niệm hóa, nghiên cứu, phương pháp luận, phân tích chính thức, MIZ và WAJ; phát triển phần mềm, WAJ; triển khai phần cứng, trực quan hóa và xác thực, MIZ; tài nguyên, WAJ; viết-Chuẩn bị bản thảo gốc, MIZ và WAJ; viết-Xem xét và biên tập, WAJ và NS; giám sát, quản lý dự án, tìm kiếm tài trợ, WAJ và NS. Tất cả các tác giả đều thường xuyên thảo luận về tiến độ trong suốt quá trình thực hiện. Tất cả các tác giả đã đọc và đồng ý với phiên bản đã xuất bản của bản thảo.

Tuyên bố về lợi ích cạnh tranh

Các tác giả tuyên bố rằng họ không có bất kỳ lợi ích tài chính cạnh tranh hoặc mối quan hệ cá nhân nào có thể ảnh hưởng đến công trình được báo cáo trong bài báo này.

Tài liệu tham khảo

[1] N. Ahmed, S. Ghosh, RA Hassan, SI Galib, A. Azad, MA Syrus, Phần mềm trung gian cảm biến để dắc đề xử lý lũ quét, *Comput. Electr. Eng.* 62 (2017) 44-52.

[2] J. Ueyama, BS Faiçal, LY Mano, G. Bayer, G. Pessin, PH Gomes, Nâng cao độ tin cậy trong Mạng cảm biến không dây cho các hệ thống giám sát sông thích ứng: phản ánh về việc triển khai dài hạn của chúng ở Brazil, *Comput. Environ. Urban Syst.* 65 (2017) 41-52.

[3] G. Galupini, et al., Một khuôn khổ thống nhất để đánh giá nguy cơ lũ quét đô thị từ nhiều nguồn: nghiên cứu điển hình về Monza, Ý, *Urban Water J.* 17 (1) (2020) 65-77.

[4] V. Abolghasemi, MH Anisi, Cảm biến nền để giám sát lũ lụt từ xa, *IEEE Sensors Letters* 5 (4) (2021) 1-4.

[5] Y. Hashim, AHM Idzha, WA Jabbar, Thiết kế và triển khai hệ thống giám sát lũ lụt không dây, *J. Telecommun. Electron. Comput. Eng.* 10 (3-2) (2018) 7-11.

[6] S. Marzukhi, MASM Sidik, HM Nasir, Z. Zainol, MN Ismail, Hệ thống phát hiện và cảnh báo lũ lụt (FLOWS), trong: *Biên bản Hội nghị quốc tế lần thứ 12 về Quản lý và truyền thông thông tin phổ biến*, ACM, 2018, trang 36.

[7] A. Domeneghetti, GJ-P. Schumann, A. Tarpanelli, Lời nói đầu: Cảm biến từ xa để lập bản đồ lũ lụt và giám sát động lực lũ lụt, *Viện xuất bản kỹ thuật số đa ngành*, 2019.

[8] SI Khan, Z. Flamig, Y. Hong, Hệ thống giám sát lũ lụt sử dụng mô hình thủy văn phân tán cho lưu vực sông Ấn, trong: *Lưu vực sông Ấn*, Elsevier, 2019, tr. 335-355.

[9] MA Jabbar, T. Subramaniam, AE Ong, MI Shu'ib, W. Wu, MA de Oliveira, Triển khai hệ thống IoT dựa trên LoRaWAN để giám sát chất lượng không khí ngoài trời từ xa , *Internet vạn vật* 19 (2022), 100540.

[10] MA Almuhaya, WA Jabbar, N. Sulaiman, S. Abdulmalek, Khảo sát về công nghệ LoRaWAN: xu hướng gần đây, cơ hội, công cụ mô phỏng và hướng đi trong tương lai, *Điện tử* 11 (1) (2022) 164.

[11] S. Wang, J. Zou, Y. Chen, C. Hsu, Y. Cheng, C. Chang, Nghiên cứu hiệu suất dài hạn của ứng dụng PM2.5 dựa trên LoRaWAN trong khuôn viên trường, trong: *Hội nghị Công nghệ Xe cộ lần thứ 87 của IEEE năm 2018 (VTC Spring)*, 2018, trang 1-5, <https://doi.org/10.1109/VTCSpring.2018.8417489>, Ngày 3-6 tháng 6 năm 2018.

[12] Y. Jeon, Y. Kang, Triển khai mô-đun xử lý giao thức LoRaWAN trên thiết bị nhúng bằng Secure Element, trong: *Hội nghị Kỹ thuật Quốc tế lần thứ 34 năm 2019*

Hội nghị về Mạch/Hệ thống, Máy tính và Truyền thông (ITC-CSCC), 2019, trang 1-3, <https://doi.org/10.1109/ITC-CSCC.2019.8793333>, Ngày 23-26 tháng 6 năm 2019.

[13] Q. Liu, Y. Mu, J. Zhao, J. Feng, B. Wang, Đặc điểm mắt gỏi tin trong triển khai LoRaWAN quy mô thành phố : phân tích và ý nghĩa, trong: *Hội nghị mạng IFIP 2020 (Mạng)*, 2020, trang 704-712, ngày 22-26 tháng 6 năm 2020.

[14] L. Maziero, et al., Giám sát các thông số điện tại trường đại học liên bang Santa Maria sử dụng công nghệ LoRaWAN, trong: *Hội nghị Công nghệ Luỗi điện Thông minh Sáng tạo IEEE PES 2019 - Châu Mỹ Latinh (ISGT Châu Mỹ Latinh)*, 2019, trang 1-6, <https://doi.org/10.1109/ISGT-LA.2019.8895425>, 15-18 tháng 9 năm 2019.

[15] X. Chen, J. Wang, L. Wang, Một kế hoạch tạo khóa phiên nhanh cho LoRaWAN, trong: *Hội nghị Kiểm soát Úc và New Zealand (ANZCC) năm 2019*, 2019, trang 63-66, <https://doi.org/10.1109/ANZCC47194.2019.8945521>, 27-29 tháng 11 năm 2019.

[16] D. Davcev, K. Mitreski, S. Trajkovic, V. Nikolovski, N. Koteli, Hệ thống nông nghiệp IoT dựa trên LoRaWAN, trong: *Hội thảo quốc tế lần thứ 14 của IEEE về Hệ thống truyền thông nhà máy (WFCS)* năm 2018, 2018, trang 1-4, <https://doi.org/10.1109/WFCS.2018.8402368>, Ngày 13-15 tháng 6 năm 2018.

[17] NHN Ibrahim, AR Ibrahim, I. Mat, AN Hazun, G. Witjaksono, LoRaWAN ở giám sát khí hậu trước hệ thống nông nghiệp chính xác, trong: *Hội nghị quốc tế năm 2018 về hệ thống thông minh và tiên tiến (ICIAS)*, 2018, trang 1-6, <https://doi.org/10.1109/ICIAS.2018.8540598> , Ngày 13-14 tháng 8 năm 2018.

[18] H. Fathoni, HY Miao, CY Chen, CT Yang, Hệ thống giám sát chất lượng nước hồ tunghai sử dụng LoRaWAN, trong: *Hội nghị quốc tế 2020 về Trí tuệ nhân tạo lan tỏa (ICPAI)*, 2020, trang 281-283, <https://doi.org/10.1109/ICPAI51961.2020.00060>, Ngày 3-5 tháng 12 năm 2020.

[19] P.-S. Liu, NM Chan, Chương trình quản lý nguy cơ lũ lụt của Malaysia, *Int. J. Quản lý khẩn cấp* 1 (2003), <https://doi.org/10.1504/IJEM.2003.003303>, 01/01.

[20] N. Bopi, A. Ismail, S. Ahmad Zabidi, M. Hasan, Phát triển lưu vực sông hệ thống giám sát cho Malaysia, *Tạp chí quốc tế về dịch vụ điện tử và viễn thông*, Khoa học và Công nghệ 9 (2016) 349-360, <https://doi.org/10.14257/ijunesst.2016.9.7.35>, 31/07.

[21] RM Ramli, WA Jabbar, Thiết kế và triển khai năng lượng mặt trời với IoT- Hệ thống tưới tiêu di động, *Internet vạn vật và Hệ thống mạng vật lý* 2 (2022) 212-225, <https://doi.org/10.1016/j.iotcps.2022.12.002>.

[22] AS Souza, AM de Lima Curvello, FldS de Souza, HJ da Silva, Hệ thống cảnh báo lũ lụt cho khu vực quan trọng, *Proc. Comput. Sci.* 109 (2017) 1104-1109.

[23] EA Basha, S. Ravela, D. Rus, Giám sát dựa trên mô hình để phát hiện lũ lụt cảnh báo sớm, trong: *Biên bản Hội nghị ACM lần thứ 6 về Hệ thống cảm biến mạng nhúng*, ACM, 2008, trang 295-308.

[24] X. Li, X. Cheng, P. Gong, K. Yan, Thiết kế và triển khai hệ thống giám sát mực nước từ xa dựa trên mạng cảm biến không dây, *Cảm biến* 11 (2) (2011) 1706-1720.

[25] M. Ancona, A. Dellacasa, G. Delzanno, A. Camera, I. Rellini, Tầm nhìn "mạng vạn vật" về vấn đề giám sát lũ lụt, trong: *Proc. 5th Int. Conf. Ambient Comput., Appl., Services Technol.*, 2015, tr. 26-29.

[26] J. Sunkpho, C. Ootamakorn, Hệ thống giám sát và cảnh báo lũ lụt thời gian thực, *Songklanakarin J. Sci. Technol.* 33 (2) (2011).

[27] MJC Samonte, RM Rozario, NCB Aranjuez, CA Maling, Ứng dụng di động cộng đồng để quản lý rủi ro lũ lụt, trong: *Kỷ yếu Hội nghị quốc tế lần thứ 3 về truyền thông và xử lý thông tin*, ACM, 2017, trang 65-71.

[28] R. Ul Islam, K. Andersson, MS Hossain, Một chuyên gia dựa trên quy tắc niềm tin trên web hệ thống dự báo lũ lụt, trong: *Kỷ yếu Hội nghị quốc tế lần thứ 17 về Tích hợp thông tin và Ứng dụng & Dịch vụ dựa trên web* , ACM, 2015, tr. 3. [29] i-SCOOP, *Trưởng hợp Internet vạn vật: mạng lưới cảm biến lũ lụt ở Calderdale*. <https://www.i-scoop.eu/internet-of-things-iot/internet-things-case-flood-sensor/>. (Truy cập ngày 10 tháng 4 năm 2023).

[30] D. Magrin, M. Capuzzo, A. Zanella, Một nghiên cứu toàn diện về hiệu suất LoRaWAN trong các thiết lập tham số khác nhau, *IEEE Internet Things J.* 7 (1) (2019) 116-127.

[31] A. Farhad, D.-H. Kim, J.-Y. Pyun, R-ARM: tài nguyên hỗ trợ truyền lại quản lý trong LoRaWAN cho Internet vạn vật, *IEEE Internet Things J.* 9 (10) (2021) 7347-7361.

[32] MAG Mauzeira, D. Oldenhof, L. Teernstra, ThingSpeak-một API và dịch vụ web dành cho Internet vạn vật, *World Wide Web* 25 (2011) 1-4.

[33] SMH Shah, Z. Mustaffa, KW Yusof, Thăm hỏi trên toàn thế giới và lũ lụt ở Khu vực Malaysia: một bản tóm tắt, *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Ấn Độ* 10 (2) (2017).

[34] M. Swain, D. Zimon, R. Singh, MF Hashmi, M. Rashid, S. Hakak, LoRa-LBO: một Phân tích thực nghiệm về tối ưu hóa ngân sách liên kết LoRa trong nền tảng thử nghiệm IoT tùy chỉnh cho nông nghiệp 4.0, *Nông học* 11 (5) (2021) 820.