



DOI:10.22144/ctujos.2024.470

GIẢI PHÁP GIÁM SÁT THỜI GIAN VẬN HÀNH CỦA THIẾT BỊ ĐIỆN

Lê Hoàng Thảo^{1*}, Đặng Hiếu Nghĩa¹, Nguyễn Đại Nghĩa¹, Cù Vĩnh Lộc¹, Trương Xuân Việt¹,
Trần Hoàng Việt¹, Lê Thành Phiêu², Trần Hữu Danh³ và Lương Vinh Quốc Danh³

¹Trung tâm Công nghệ Phần mềm, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

²Phòng Quản trị thiết bị, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

³Trường Bách khoa, Trường Đại học Cần Thơ, Việt Nam

*Tác giả liên hệ (Corresponding author): lhthao@ctu.edu.vn

Thông tin chung (Article Information)

Nhận bài (Received): 29/05/2024

Sửa bài (Revised): 24/06/2024

Duyệt đăng (Accepted): 11/10/2024

Title: IoT and SensorThings-based uptime monitoring solution for electronic devices

Author(s): Le Hoang Thao^{1*}, Dang Hieu Nghia², Nguyen Dai Nghia¹, Cu Vinh Loc¹, Truong Xuan Viet¹, Tran Hoang Viet¹, Le Thanh Phieu², Tran Huu Danh³ and Luong Vinh Quoc Danh³

Affiliation(s): ¹Can Tho University Software Center, Viet Nam; ²Department of Facility Management, Can Tho University, Viet Nam; ³College of Engineering Technology, Can Tho University, Viet Nam

TÓM TẮT

Trường Đại học Cần Thơ sở hữu nhiều thiết bị điện chuyên dụng có giá trị cao. Các thiết bị chuyên dụng này phục vụ cho công tác đào tạo, nghiên cứu và thương mại. Để tối ưu hóa việc khai thác hiệu suất sử dụng, ta cần thiết phải xây dựng hệ thống giám sát tự động thời gian hoạt động của các thiết bị chuyên dụng này. Hệ thống được đề xuất trong nghiên cứu này gồm ba thành phần. Thiết bị giám sát thời gian vận hành của thiết bị điện được chế tạo dựa trên công nghệ Internet vạn vật. Quản trị dữ liệu thu được từ thiết bị giám sát thời gian vận hành, truy vấn dữ liệu, xử lý nghiệp vụ, và hỗ trợ quản lý các hệ thống dựa trên chuẩn SensorThings. Trục quan hóa dữ liệu được xây dựng trên nền tảng Web. Ứng dụng cho phép theo dõi các thông số theo thời gian vận hành của thiết bị điện. Hệ thống được xây dựng theo tiêu chuẩn mở, điều này cho phép dễ dàng tích hợp thêm các thiết bị giám sát và mở rộng cho nhiều kiến trúc giao thức khác nhau.

Từ khóa: Giám sát thiết bị, IoT, SensorThings, tiêu chuẩn mở

ABSTRACT

Can Tho University have a lot of expensive specialist equipment. These tools are meant to be used for business, research, and teaching. The construction of a system that automatically tracks the running time of these specialized devices is required to maximize usage efficiency. The proposed system is made up of three parts. First, the study presents the solution to develop IoT-based uptime monitoring devices for electronic devices. Next, the system enables the management of data collected from electronic devices in order to process operations, query data, monitor operational time, and support system management based on the SensorThings standard. Finally, this study also presents data visualization functionality. Depending on how long the device is in operation, the application permits parameter monitoring. Other monitoring devices and extension of many communication protocols can be easily included in the system because it is constructed in accordance with open standards.

Keywords: Data visualization, device monitoring, IoT, open standards, SensorThings

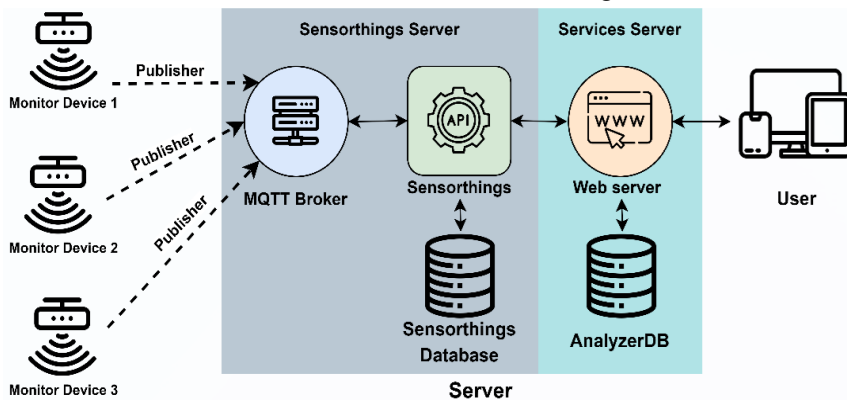
1. GIỚI THIỆU

Trường Đại học Cần Thơ hiện đang sở hữu nhiều thiết bị chuyên dụng có giá trị cao. Các thiết bị này được quản lý thông qua phần mềm quản lý tài sản và hệ thống mã vạch. Tuy nhiên, việc quản lý tần suất sử dụng được thực hiện bằng phương pháp thủ công. Tần suất sử dụng được ghi nhận vào sổ nhật ký sử dụng. Phương pháp quản lý này chưa thật sự hiệu quả vì cán bộ sử dụng thiết bị có thể quên ghi nhận thông tin sử dụng hoặc cố tình không cung cấp thông tin sử dụng. Điều này có thể dẫn đến không truy vết được ai đã sử dụng khi thiết bị gặp sự cố. Hơn nữa, nếu quản lý tốt về tần suất sử dụng, và khai thác tối ưu các thiết bị này cho các hoạt động khác ngoài việc hỗ trợ chung cho hoạt động đào tạo có thể mang lại lợi ích to lớn về mặt tài chính cho đơn vị.

Thị trường hiện nay có nhiều giải pháp để quản lý thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng. Một số thiết bị hiện đại đều tích hợp sẵn tính năng nhận dạng, phân quyền sử dụng cho các đối tượng người dùng khác nhau. Chẳng hạn, phần lớn các máy photocopy đa năng như Fuji Xerox, Canon iR, Ricoh đều hỗ trợ chức năng quản lý người dùng, cho phép phân quyền sử dụng, truy cập tài liệu cần thiết. Hơn nữa, thông qua các giao thức mạng, các máy chuyên dụng này còn có thể tích hợp với các cơ sở dữ liệu người dùng. Cách thức phổ biến để người dùng chiếm quyền sử dụng các thiết bị có hệ thống phân quyền là truy cập thông qua tài khoản và mật khẩu trên một giao diện đồ họa, hoặc thông qua cơ chế quét thẻ như thẻ từ, thẻ RFID được trình bày trong công bố của Tran and Hong (2015). Tuy nhiên, trên thực tế, số lượng các thiết bị có hỗ trợ chức năng giám sát, quản lý người dùng như trên là không nhiều.

Một giải pháp khác trong việc giám sát tiêu thụ điện là sử dụng các công tơ điện thông minh. VinHome cũng giới thiệu sản phẩm Vconnex với khá nhiều tính năng hữu ích: quản lý và theo dõi công suất tiêu thụ điện; tự động cảnh báo khi sử dụng điện vượt định mức, cảnh báo quá dòng, quá áp. Tuy nhiên, thiết bị này chỉ phù hợp đặt cho toàn bộ cơ quan, hoặc từng phòng ban chức năng và không hỗ trợ tính năng quản lý người dùng. Trên thị trường, các giải pháp giám sát điện năng các thiết bị điện cũng khá phổ biến, chẳng hạn hệ thống giám sát điện năng của NFAC sử dụng công nghệ SCADA (SCADA) - Supervisory Control And Data Acquisition. Một giải pháp điển hình khác là hệ thống giám sát và điều khiển tủ điện hạ thế qua mạng Internet được trình bày trong nghiên cứu của Le and Nguyen (2020). Giải pháp gateway sử dụng hệ điều hành mở và phần cứng mở Single Board Computer (SBC) hỗ trợ nhiều giao tiếp mạng khác nhau, cho phép giao tiếp được các thiết bị khác nhau trong tủ điện hạ thế và Internet.

Mặc dù có nhiều giải pháp quản lý hiệu suất của thiết bị khác nhau trên thị trường, nhưng chưa có giải pháp phù hợp với yêu cầu bài toán đặt ra là vừa quản lý được thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng và vừa xác thực được thông tin của người sử dụng thiết bị chuyên dụng. Khả năng dễ dàng mở rộng hệ thống khi tích hợp thêm thiết bị chuyên dụng mới và khả năng chia sẻ dữ liệu dựa trên tiêu chuẩn về dữ liệu cũng nằm trong phạm vi yêu cầu của bài toán. Đây là lý do nghiên cứu đề xuất giải pháp giám sát thời gian vận hành thực của thiết bị điện chuyên dụng dựa trên nền tảng IoT và chuẩn SensorThings. Số liệu khảo sát cho thấy giải pháp được đề xuất trong nghiên cứu này chưa được tìm thấy trong các công trình công bố hiện tại cũng như thương mại trên thị trường.



Hình 1. Mô hình tổng quan của giải pháp đề xuất

Những đóng góp chính của giải pháp đề xuất bao gồm: chế tạo thiết bị giám sát thời gian vận hành của thiết bị điện chuyên dụng (UMD) dựa trên công nghệ Internet vạn vật (IoT); hệ thống đề xuất cho phép quản trị dữ liệu thu được từ thiết bị giám sát thời gian vận hành, truy vấn dữ liệu, xử lý nghiệp vụ và hỗ trợ quản lý các hệ thống dựa trên chuẩn SensorThings; và chức năng trực quan hóa dữ liệu cũng được trình bày trong nghiên cứu này. Ứng dụng cho phép theo dõi các thông số theo thời gian vận hành của thiết bị. Phạm vi của nghiên cứu này là đề xuất giải pháp giám sát tự động thời gian vận hành và thông tin của người sử dụng thiết bị điện. Thời gian vận hành giúp cho việc quản lý và khai thác thiết bị điện được tối ưu nhằm mang lại hiệu quả đào tạo và kinh tế cho Trường. Thông tin xác thực người sử dụng thiết bị điện giúp truy vết khi cần thiết trong trường hợp thiết bị xảy ra sự cố không mong muốn. Mô hình tổng quan của giải pháp đề xuất được minh họa trong Hình 1, trong đó Monitor Device sẽ theo dõi thời gian vận hành của các thiết bị được giám sát. Server thực hiện tiếp nhận, lưu trữ, phân tích và trực quan hóa dữ liệu được gửi từ Monitor Device. User là người dùng truy cập vào hệ thống để quan sát dữ liệu được trực quan hóa và thực hiện các cấu hình cần thiết.

2. TỔNG QUAN TÌNH HÌNH NGHIÊN CỨU

Wu et al. (2023) trình bày một hệ thống theo dõi sức khỏe thời gian thực hỗ trợ IoT dựa trên học sâu. Hệ thống được đề xuất sử dụng các thiết bị y tế có thể đeo để đo các dấu hiệu quan trọng và áp dụng các thuật toán học sâu khác nhau để trích xuất thông tin có giá trị. Thuật toán học sâu giúp bác sĩ phân tích chính xác tình trạng của các vận động viên và cung cấp loại thuốc thích hợp cho họ, ngay cả khi bác sĩ đi vắng. Hiệu suất của hệ thống đề xuất được đánh giá rộng rãi thông qua sử dụng thử nghiệm xác thực chéo bằng cách xem xét các số liệu đo lường hiệu suất dựa trên thống kê khác nhau. Hệ thống được đề xuất được coi là một công cụ hữu hiệu để chẩn đoán các căn bệnh nguy hiểm ở vận động viên như u não, bệnh tim, ung thư.

Sitompul and Rohmat (2021) đề xuất một hệ thống tự động theo dõi thời gian hoạt động của máy và gửi thông báo về lịch bảo trì phòng ngừa (PM) của máy. Hệ thống bao gồm bộ điều khiển logic khả trình (PLC) và giao diện người-máy (HMI). HMI được kết nối với nền tảng trực tuyến thông qua kết nối Internet do bộ định tuyến cung cấp để có thể truy cập kết quả giám sát thông qua điện thoại thông minh Android hoặc máy tính xách tay/PC. Hệ thống giám sát thời gian chạy dựa trên IoT (IRTMS) này

đặc biệt hữu ích khi triển khai tại địa điểm sản xuất bao gồm nhiều máy khác nhau. Các hạng mục PM của máy có thể khác nhau, từ vệ sinh, thay đổi một bộ phận cho đến đại tu, mỗi hạng mục có khoảng thời gian khác nhau. Kết quả chính của việc sử dụng IRTMS là người dùng có cái nhìn tổng quan về lịch trình PM mọi lúc, mọi nơi và có thể biết trước việc chuẩn bị nguyên liệu, linh kiện hoặc công cụ.

Giải pháp giám sát tình trạng máy theo thời gian thực được đề xuất trong công bố của Wong et al. (2021) có thể cải thiện hiệu suất tổng thể của thiết bị (OEE), giảm mức tiêu thụ điện, giảm thiểu thời gian ngừng hoạt động ngoài dự kiến và kéo dài tuổi thọ của máy. Trong nghiên cứu này, việc thiết kế một hệ thống theo dõi tình trạng máy theo thời gian thực sử dụng máy học kết hợp với công nghệ IoT được đề xuất. Hệ thống có thể phân tích điều kiện cân bằng nguồn cung trên hệ thống ba pha. Hệ thống này được xây dựng với phần cứng vật lý nhỏ gọn và có thể thu thập dữ liệu điện từ tải sau đó gửi đến máy chủ. Máy chủ sẽ xử lý dữ liệu và huấn luyện dữ liệu bằng cách sử dụng máy học. Hệ thống phần cứng được lắp đặt trên máy trộn trong nhà máy. Kết quả cho thấy, hệ thống đề xuất có khả năng giám sát hoạt động của máy và phân loại các giai đoạn vận hành của máy đã được phát triển. Ngoài ra hệ thống còn có khả năng giám sát tình trạng cân bằng tải của máy.

Islam et al. (2023) đề xuất một hệ thống dựa trên IoT để giám sát từ xa và phát hiện sớm các vấn đề sức khỏe tại cơ sở khám chữa bệnh tại nhà. Hệ thống bao gồm ba loại cảm biến: MAX30100 để đo nồng độ oxy trong máu và nhịp tim; cảm biến ECG AD8232 cho dữ liệu tín hiệu ECG; và cảm biến hồng ngoại không tiếp xúc MLX90614 để đo nhiệt độ cơ thể. Dữ liệu được thu thập sẽ được truyền đến máy chủ bằng giao thức MQTT (Message Queue Telemetry Transport) (MQTT). Một mô hình học sâu được huấn luyện trước dựa trên mạng lưới nơ-ron tích chập với lớp chú ý được sử dụng trên máy chủ để phân loại các bệnh tiềm ẩn. Hệ thống còn cung cấp báo cáo về nhịp tim và mức oxy của bệnh nhân, cho biết liệu chúng có nằm trong phạm vi bình thường hay không. Hệ thống tự động kết nối người dùng với bác sĩ gần nhất để chẩn đoán thêm nếu phát hiện bất thường nghiêm trọng.

Kỹ thuật tự động hóa quá trình hoàn thiện của ngành vải trong công bố của Dubey et al. (2022) thực hiện giám sát quá trình hoàn thiện theo thời gian thực bằng công nghệ IoT. Bằng cách tự động hóa quá trình hoàn thiện sẽ có sự phân tích tốt về vải kém chất lượng và điều này cũng sẽ ngăn ngừa lãng phí vải. Quá trình này tiết kiệm sức lực của con

người vì đầu ra được nhận trực tiếp thông qua ứng dụng WhatsApp hoặc gửi email dưới dạng biểu đồ. Điều này giúp hạn chế việc phân tích tham số theo cách thủ công. Do quy trình hoàn thiện được tự động hóa nên chi phí được kiểm soát và cũng làm tăng năng suất của máy móc và nguồn nhân lực. Điều này dẫn đến thực tiễn làm việc hiệu quả hơn bằng cách loại bỏ các công việc giấy tờ và các phương pháp thủ công tốn thời gian.

3. NỘI DUNG NGHIÊN CỨU

Trong phần này, các chức năng của hệ thống đề xuất được trình bày chi tiết, bao gồm giải pháp phần cứng và giải pháp phần mềm. Thiết bị phần cứng được trang bị khả năng kết nối với hệ thống máy chủ thông qua giao thức MQTT.

3.1. Mô tả tổng quan về giải pháp đề xuất

Nghiên cứu này trình bày giải pháp chế tạo thiết bị phần cứng dùng để giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng. Thiết bị phần cứng được trang bị kết nối Internet thông qua mạng không dây wifi. Thiết bị phần cứng này được lắp đặt tại vị trí cấp nguồn điện cho các thiết bị chuyên dụng. Để sử dụng thiết bị chuyên dụng, cán bộ hoặc giảng viên cần quét bằng tên vào vị trí được xác lập trên thiết bị phần cứng. Hành động này nhằm xác thực danh tính của người đang sử dụng thiết bị chuyên dụng, và thông tin xác thực này cũng nhằm kích hoạt trạng thái hoạt động của thiết bị chuyên dụng. Trong suốt quá trình vận hành của thiết bị chuyên dụng, thông tin về thời gian hoạt động sẽ thường xuyên được gửi về máy chủ để lưu trữ. Định dạng dữ liệu thiết bị phần cứng gửi về máy chủ được mã hóa theo định dạng như minh họa trong Hình 2.



Hình 2. Định dạng dữ liệu thiết bị phần cứng gửi về máy chủ: (a) Quét thẻ xác thực bắt đầu sử dụng, (b) Quét thẻ xác thực kết thúc phiên sử dụng

Để kết thúc phiên sử dụng thiết bị chuyên dụng, cán bộ cũng cần quét bằng tên để xác nhận kết thúc phiên giao dịch. Thông tin cán bộ sử dụng và thời gian sử dụng thiết bị chuyên dụng lưu trữ ở máy chủ theo chuẩn SensorThings được truy vấn, thống kê và hiển thị trực quan thông qua ứng dụng Web. Ngoài

ra, để kiểm tra trạng thái còn hoạt động của thiết bị phần cứng, nghiên cứu cũng thiết lập cấu hình để thiết bị phần cứng này gửi tín hiệu về máy chủ sau mỗi 12 giờ. Nếu sau mỗi 12 giờ máy chủ không nhận được tín hiệu thì hệ thống sẽ tự động gọi điện và gửi tin nhắn thông báo cho cán bộ phụ trách quản lý thiết bị chuyên dụng. Trong nghiên cứu này, thiết bị phần cứng chế tạo được sử dụng để lắp đặt giám sát thời gian vận hành trên ba thiết bị điện chuyên dụng của Trường Đại học Cần Thơ được mô tả trong Bảng 1.

Bảng 1. Danh mục ba loại thiết bị chuyên dụng

Mã tài sản	Tên tài sản	Đơn vị quản lý
1907080-0001	Thiết bị phân tích nhiễu xạ tia X (XRD)	05 - Khoa Khoa học Tự nhiên
12308000-0403	Hệ thống chung cất đạm, phá mẫu VAP20S	09 - Khoa Thủy sản
0503110-0069	Máy nén bê tông, xi măng 3000/250 kN Matest C071A	03 - Khoa Công nghệ

Các thành phần chức năng trong Hình 1 được mô tả ngắn gọn như sau:

Monitor Device là các thiết bị để giám sát thời gian sử dụng của thiết bị. Đối tượng giám sát của thiết bị là thời gian bắt đầu sử dụng, thời gian kết thúc sử dụng, loại thiết bị được sử dụng và người sử dụng. Các dữ liệu giám sát được Monitor Device ghi nhận và đóng gói thành các thông điệp (Messages) để gửi đến máy chủ trung gian (MQTT Broker) bằng giao thức MQTT. Để đảm bảo tính thống nhất và tương thích trong việc trao đổi dữ liệu, dữ liệu giám sát từ Monitor Device được định dạng theo chuẩn SensorThings.

SensorThings Server là máy chủ tiếp nhận và lưu trữ dữ liệu do Monitor Device gửi đến. Tại máy chủ này, MQTT Broker được cài đặt để trở thành máy chủ trung gian (Broker) tiếp nhận các dữ liệu giám sát, MQTT Broker mà nghiên cứu sử dụng là EMQX Broker. SensorThings là một máy khách thực hiện hành động đăng ký vào EMQX Broker để nhận dữ liệu giám sát và sau đó lưu trữ vào SensorThings Database.

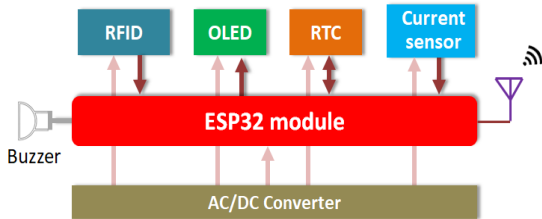
Monitor Server đảm nhận nhiệm vụ truy xuất dữ liệu từ SensorThings Database để trực quan hóa dữ liệu giám sát trên ứng dụng web. Tại máy chủ này, Web Server sẽ truy cập vào SensorThings Database bằng các API để truy xuất các dữ liệu giám sát. Các dữ liệu này được phân tích và lưu trữ tại AnalyzerDB. Sau đó, các dữ liệu phân tích được

Web Server thực hiện trực quan hóa trên ứng dụng web.

User là người dùng đăng nhập vào ứng dụng web để quan sát dữ liệu. Người dùng được cấp tài khoản để truy cập vào ứng dụng Web. Hình thức trực quan hóa dữ liệu được biểu thị dưới dạng biểu đồ.

3.2. Chế tạo thiết bị phần cứng

Hình 3 mô tả sơ đồ khối của bộ giám sát thời gian vận hành thiết bị điện. Thành phần cấu tạo của bộ giám sát gồm có: một module ESP32, một module đọc thẻ RFID, một module thời gian thực RTC, một mạch cảm biến dòng điện, một màn hình OLED và một còi báo tín hiệu. Hệ thống được cung cấp điện bởi một module chuyển đổi nguồn AC sang DC với các mức điện áp 3,3 V và 5V.

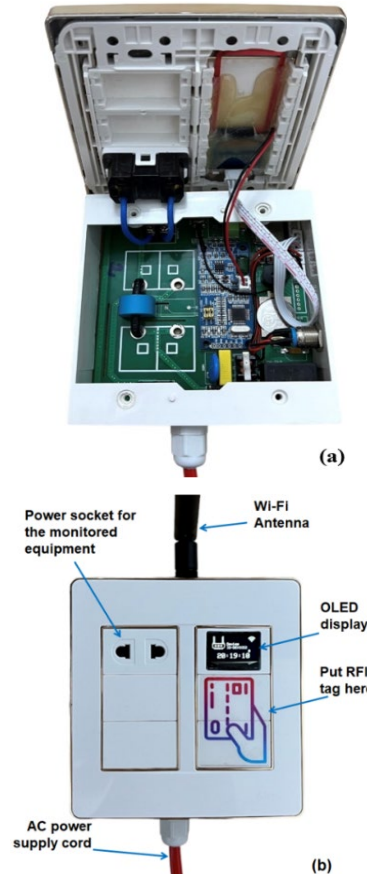


Hình 3. Sơ đồ khối bộ giám sát thời gian vận hành thiết bị điện

Module ESP32 (*ESP32*) được tích hợp chức năng thu/phát Wi-Fi đóng vai trò bộ xử lý trung tâm của hệ thống. Module ESP32 đọc thông tin từ thẻ bằng tên người sử dụng thông qua module đọc thẻ RFID. Một mạch đo cường độ dòng điện ZMCT103 (*ZMCT103*) được sử dụng để ghi nhận giá trị cường độ dòng điện tiêu thụ của thiết bị điện. Module RTC (*RTC*) cung cấp thông tin về thời gian thực cho hoạt động của hệ thống. Các thông tin về trạng thái của bộ giám sát và các hướng dẫn dành cho người sử dụng được hiển thị trên màn hình OLED.

Khi thiết bị điện cần giám sát bắt đầu hoạt động, ESP32 sẽ phát hiện được sự thay đổi giá trị dòng điện tiêu thụ. Tiếp theo đó, ESP32 sẽ xuất thông báo dạng văn bản lên màn hình OLED và dạng âm thanh (tiếng ‘bip’ ‘bip’) để yêu cầu người dùng quét thẻ nhận dạng RFID cá nhân để bật chế độ giám sát thiết bị. Khi đó, bộ giám sát ghi nhận các thông tin quan trọng bao gồm định danh (ID) người sử dụng, thời gian bắt đầu sử dụng và gửi lên máy chủ thông qua chuẩn MQTT. Khi thiết bị điện cần giám sát ngừng hoạt động, hệ thống sẽ ghi nhận thời gian kết thúc quá trình sử dụng thiết bị của người dùng theo thời gian thực và gửi dữ liệu lên máy chủ để lưu nhật ký sử dụng thiết bị.

Các mạch điện của bộ giám sát thời gian vận hành thiết bị điện được thiết kế có kích thước phù hợp để có thể đặt vào bên trong một hộp nhựa ô cắm điện tiêu chuẩn (Hình 4).



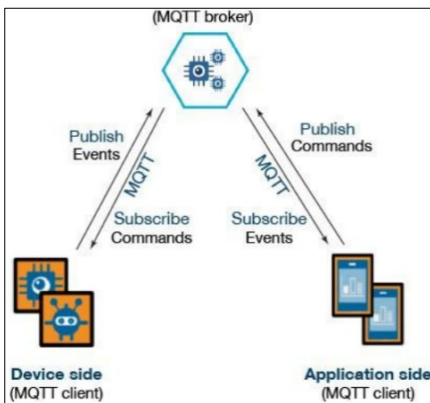
Hình 4. Bộ giám sát thời gian vận hành thiết bị điện: (a) mạch điện bên trong và (b) hình dáng bên ngoài

3.3. Thiết kế giao tiếp truyền thông dựa trên giao thức MQTT

MQTT là một tiêu chuẩn OASIS và ISO mở cho máy khách-máy chủ, giao thức truyền tải thông điệp theo dạng xuất bản/đăng ký. Nguyên tắc thiết kế của giao thức này tập trung vào việc giảm thiểu yêu cầu về băng thông mạng và tài nguyên thiết bị để đảm bảo phân phối đáng tin cậy. Nó có khả năng truyền dữ liệu qua mạng bằng thông điệp hoặc không đáng tin cậy với mức tiêu thụ điện năng rất thấp. Các đặc điểm như nhẹ, mở, đơn giản và dễ triển khai khiến MQTT trở thành giao thức truyền thông lý tưởng cho các môi trường hạn chế. Giao thức MQTT sử dụng giao thức TCP/IP để truyền dữ liệu. MQTT được sử dụng phổ biến cho các thiết bị IoT. Ngoài thiết kế gọn nhẹ và hiệu quả, MQTT còn cung cấp

một số tính năng khác khiến nó trở thành lựa chọn lý tưởng cho các ứng dụng IoT. Hình 5 mô tả mô hình kết nối của hệ thống đề xuất, trong đó nghiên cứu đề xuất sử dụng máy chủ trung gian EMQX (EMQX). EMQX là ứng dụng mã nguồn mở để thực hiện giao thức MQTT phiên bản 5.6.1. Đây là phương pháp truyền nhận các thông điệp một cách nhẹ nhất. Điều này phù hợp với ứng dụng giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng theo dạng thông điệp.

– Độ tin cậy: MQTT cung cấp tin nhắn đáng tin cậy, đảm bảo rằng tin nhắn được gửi đến người nhận dự định ngay cả khi mạng bị gián đoạn hoặc lỗi. Điều này đạt được thông qua việc sử dụng các cấp độ chất lượng dịch vụ (QoS), cho phép nhà xuất bản chỉ định mức độ tin cậy cần thiết cho mỗi tin nhắn.



Hình 5. Mô hình kết nối thiết bị trong giao thức MQTT

– Khả năng mở rộng: MQTT có thể xử lý nhiều thiết bị và tin nhắn, giúp giao thức trở nên lý tưởng cho các ứng dụng IoT yêu cầu khả năng mở rộng. Điều này đạt được thông qua việc sử dụng một ứng dụng trung gian để phân phối tin nhắn, có thể xử lý khối lượng lớn tin nhắn và phân phối chúng một cách hiệu quả đến người đăng ký.

– Bảo mật: MQTT cung cấp một số tính năng bảo mật, bao gồm hỗ trợ mã hóa SSL/TLS, xác thực và kiểm soát truy cập. Điều này đảm bảo rằng dữ liệu được truyền qua MQTT được an toàn và bảo vệ khỏi sự truy cập trái phép.

– Độ trễ thấp: MQTT được thiết kế để gửi tin nhắn nhanh chóng và hiệu quả với độ trễ tối thiểu. Điều này làm cho giao thức trở nên lý tưởng cho các ứng dụng yêu cầu dữ liệu thời gian thực.

Kiến trúc mức cao của MQTT gồm hai thành phần chính là phía máy trạm/ máy khách (clients) và ứng dụng trung gian. Clients có thể là người nhận

tin (subscriber) hoặc người gửi tin (publisher). Broker thực hiện nhiệm vụ kết nối các clients bằng cách nhận các bản tin từ publisher và chuyển bản tin đó đến subscriber. MQTT sử dụng ba cấp độ chất lượng dịch vụ (QoS) để đảm bảo độ tin cậy của thông điệp.

Mức 0: Thông điệp chỉ được gửi đến người đăng ký một lần (tối đa một lần), thông điệp không được lưu trữ và người gửi tin không nhận được bất kỳ thông tin nào về việc gửi tin nhắn. Trong trường hợp đó, nếu người nhận tin không nhận được tin nhắn hoặc không kết nối mạng hoặc người gửi tin gặp sự cố thì tin nhắn sẽ bị mất.

Mức 1: Thông điệp được gửi đến người nhận tin ít nhất một lần. Quy trình xác nhận được sử dụng ở cấp độ QoS đó và nếu người gửi tin không nhận được xác nhận thì các nỗ lực gửi tin nhắn đến người nhận tin của người gửi tin khác sẽ diễn ra. Người gửi tin sử dụng cờ DUP đã đặt cho tin nhắn trùng lặp và mọi tin nhắn trùng lặp được gửi bằng cờ DUP cho đến khi nhận được xác nhận từ người nhận tin. Để đảm bảo gửi tin nhắn ít nhất một lần tin nhắn phải được lưu trữ tại người gửi tin và người nhận tin cho đến khi nhận được xác nhận gửi. Ưu điểm của mức QoS này là phía ứng dụng trung gian nhận được bản tin ít nhất một lần, nhược điểm là cần xử lý những bản tin trùng lặp. Điều này có thể làm tăng công việc phía máy chủ ứng dụng trung gian khi số lượng công kết nối mạng lớn và tần suất lấy mẫu dày. Do vậy, công kết nối không sử dụng mức này để gửi thông điệp.

Mức 2: Được sử dụng để đảm bảo an toàn và đảm bảo việc gửi tin nhắn. Trong quá trình gửi tin nhắn, hai vòng truyền được sử dụng. Tin nhắn cho đến khi được xử lý phải được lưu trữ tại người gửi tin và người nhận tin. Ở vòng đầu tiên, người gửi tin gửi tin nhắn đến người nhận tin và đợi người đăng ký xác nhận rằng tin nhắn đã được lưu trữ. Tương tự mức 1, nếu người gửi tin không nhận được xác nhận thì nỗ lực gửi tin nhắn đến người nhận tin của người gửi tin khác sẽ diễn ra. Sau khi nhận được xác nhận từ người nhận tin, vòng truyền thứ hai diễn ra. Ở vòng thứ hai, người gửi tin bằng cách sử dụng tin nhắn PUBREL sẽ thông báo cho người nhận tin rằng có thể hoàn tất việc xử lý tin nhắn và chờ xác nhận tin nhắn PUBREL từ người nhận tin. Nếu người gửi tin không nhận được xác nhận về tin nhắn PUBREL thì những nỗ lực khác để gửi tin nhắn PUBREL đến người nhận tin sẽ diễn ra cho đến khi nhận được xác nhận. Chỉ sau khi nhận được thông báo xác nhận tin nhắn PUBREL, người gửi tin mới xóa tin nhắn đã lưu trữ.

Quá trình thử nghiệm cho thấy mức QoS (mức 0) phù hợp để truyền các tham số từ thiết bị chế tạo lên ứng dụng trung gian và từ ứng dụng trung gian về người nhận tin, vì đảm bảo thời gian thực.

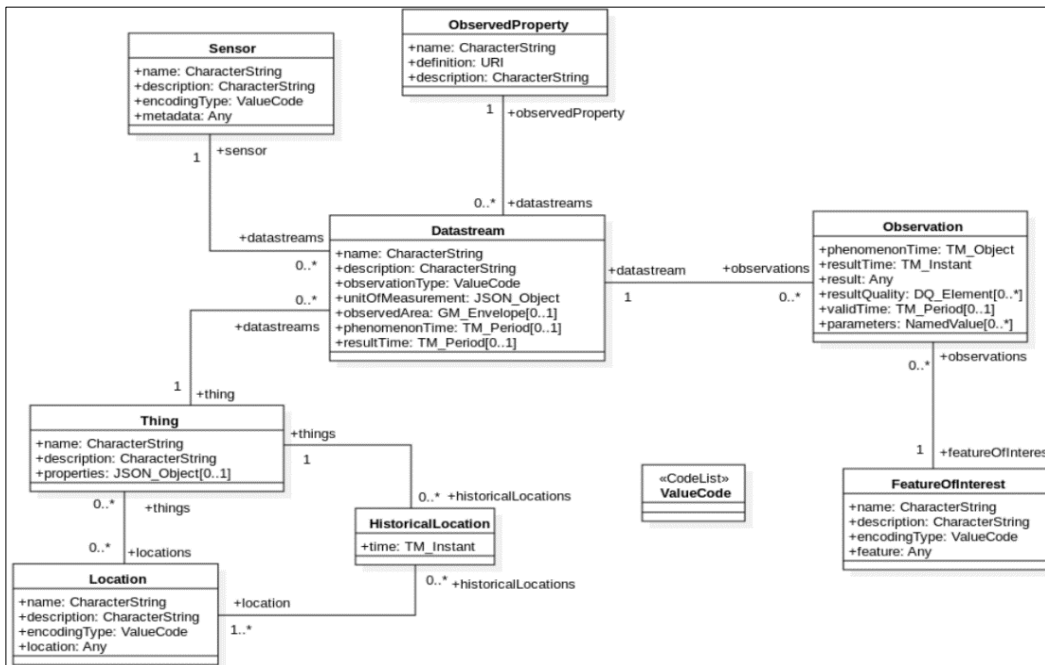
3.4. Quản trị dữ liệu

Để dễ dàng tích hợp các thiết bị khác nhau trong các ứng dụng điều khiển dữ liệu, Open Geospatial Consortium (OGC) (OGC) đã phát triển một tiêu chuẩn linh hoạt, dễ sử dụng để trao đổi thông tin trong bối cảnh IoT. Với tiêu chuẩn giao tiếp lập trình ứng dụng SensorThings, một khung kết nối các thiết bị cảm biến, dữ liệu và ứng dụng được cung cấp trên môi trường web. Tiêu chuẩn tập trung vào dữ liệu chuỗi thời gian. Chuỗi thời gian là các phép đo của cùng một đặc tính được quan sát. Dữ liệu chuỗi thời gian có thể được đo trong một khoảng thời gian ít nhiều đều đặn.

Mô hình dữ liệu giao tiếp lập trình ứng dụng OGC SensorThings không chỉ bao gồm các phép đo cảm biến đơn giản mà còn bao gồm cả siêu dữ liệu như đơn vị đo, mô tả cảm biến hoặc vị trí. Siêu dữ liệu được kết nối với luồng dữ liệu gốc. Các thành phần dữ liệu được liên kết với nhau cho phép người dùng tìm thấy tất cả các thông tin cần thiết mà người dùng quan tâm. Mô hình dữ liệu bao gồm tám thực thể, bao gồm các thuộc tính và quan hệ, được hiển thị trong Hình 6. Mô hình được mô tả chi tiết như sau:

Một *Thing* là một đối tượng ảo hoặc vật lý. Tùy thuộc vào tình huống cụ thể, *Thing* có thể là đối tượng được quan sát hoặc nền tảng cảm biến. *Location* mô tả vị trí của một *Thing*. Vị trí có thể được mô tả thông qua vị trí địa lý, được mã hóa dưới dạng điểm hoặc khu vực. Các vị trí mang tính biểu tượng, cũng có thể như địa chỉ bưu điện. *HistoricalLocation* là liên kết giữa *Thing* và *Location* với thời gian cho biết thời điểm *Thing* ở một *Location* nhất định. Một *Sensor* chuyên động có một số *HistoricalLocation*, trong khi một vật thể bất động thì không có. Điều này được xác định thông qua giao tiếp lập trình ứng dụng SensorThings, nơi *HistoricalLocation* được tạo khi *Thing* di chuyển lần đầu tiên. Một *Sensor* tạo ra dữ liệu được mô tả thông qua mô hình dữ liệu giao tiếp lập trình ứng dụng OGC SensorThings. Một *Sensor* có thể thu thập nhiều *Datastream*. *Observation* chứa phép đo được thực hiện bởi *Sensor*. *ObservedProperty* là một đặc tính của *FeatureOfInterest* được *Sensor* quan sát. *FeatureOfInterest* có thể khác với vị trí của *Thing*, phụ thuộc vào những gì được chọn làm *Thing*. *FeatureOfInterest* là một điểm địa lý hoặc một đa giác bao quanh một khu vực hoặc khối, thường được mã hóa theo định dạng GeoJSON.

Mối quan hệ giữa tất cả các thực thể này được mô tả thông qua mô hình dữ liệu, điều này đảm bảo tìm thấy tất cả các thực thể dữ liệu thuộc về một thực thể khác và chỉ có ý nghĩa trong ngữ cảnh riêng của các thực thể.



Hình 6. Mô hình dữ liệu SensorThings API trong công bố của Feriani et al. (2020)

Giao tiếp lập trình ứng dụng OGC SensorThings đang chuyển đổi nhiều hệ thống IoT rời rạc thành một nền tảng được kết nối đầy đủ, nơi các tác vụ phức tạp có thể được đồng bộ hóa và hoạt động một cách hiệu quả. Phần cảm biến (Sensing) cung cấp chuẩn mỗi quan hệ giữa các thực thể được dùng trong cơ sở dữ liệu giúp cho việc phân bổ và lưu trữ các thông số đo được từ các thiết bị cảm biến đo lường thuận tiện, dễ dàng, tường minh hơn. Từ đó giúp cho việc thêm các thực thể quan hệ để triển khai mở rộng hệ thống ở các lĩnh vực khác trở nên rất dễ dàng. Phần tác vụ (Tasking) cung cấp một cách tiêu chuẩn để tham số hóa hay được gọi là tác vụ của các thiết bị IoT có thể hoạt động. Tận dụng cấu trúc dữ liệu này, nghiên cứu cho thấy có thể dễ dàng xây dựng mô hình hệ thống điều khiển một cách hợp lý và tối ưu hóa dữ liệu xử lý. Các tác vụ được định nghĩa một cách rõ ràng theo từng loại xử lý mà nghiên cứu có thể thực hiện trên thiết bị chế tạo được đề xuất, cung cấp một chuẩn dữ liệu cho các loại điều khiển được lưu trữ mạch lạc và hợp lý trên hệ thống. Từ đây, hệ thống đề xuất có thể dễ dàng tích hợp các loại thiết bị điều khiển bên ngoài với nhiều khả năng xử lý khác nhau một cách hiệu quả và dễ dàng mà không cần quan tâm đến việc tương thích và tương tác giao diện. Đồng thời, thông tin các loại điều khiển được lưu trữ rõ ràng, tạo thuận lợi cho quá trình truy xuất dữ liệu thiết bị.

3.5. Trục quan hóa dữ liệu trên nền tảng ứng dụng Web

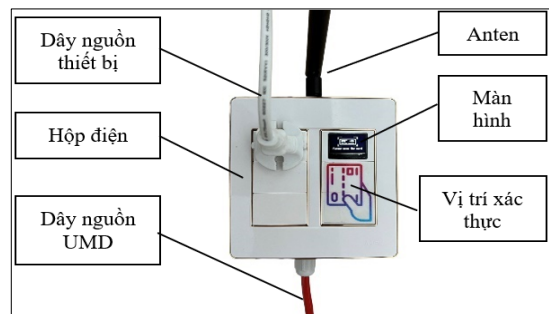
Ngoài những lợi ích của giao tiếp lập trình ứng dụng OGC SensorThings, giao diện ứng dụng cần phải có để giúp người dùng có thể theo dõi, điều khiển, tương tác với hệ thống từ xa một cách dễ dàng và hiệu quả nhất. Giao diện ứng dụng được xây dựng dựa trên nền tảng ứng dụng web. Một trong những tính năng của hệ thống bao gồm khả năng lập biểu đồ, vẽ đồ thị và trục quan hóa dữ liệu theo thời gian thực. Sau khi dữ liệu cảm biến được tải lên, người dùng có thể trục quan hóa dữ liệu ngay lập tức ở các định dạng như excel, csv hoặc đơn giản là vẽ trên bản đồ. Việc cài đặt máy chủ này thể hiện ý tưởng về hệ thống theo dõi thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng sử dụng các tiêu chuẩn OGC.

Ngoài việc cung cấp giao diện người dùng, người dùng cuối có thể quyết định sử dụng các dịch vụ web (RESTful) cho yêu cầu HTTP POST và GET. Người dùng có thể chọn nhận và gửi dữ liệu ở định dạng JSON hoặc XML một cách thuận tiện. Điều này cho phép tính linh hoạt trong việc kết hợp chia sẻ dữ liệu giữa các nền tảng phát triển ứng dụng khác nhau. Với hệ thống đề xuất, người dùng có thể

thuận tiện POST và GET bằng cách truy cập giao diện người dùng đồ họa hoặc sử dụng giao thức HTTP. Trong nghiên cứu này, một tập lệnh Python đã được sử dụng để thực hiện yêu cầu POST và GET. Điều này thể hiện tính linh hoạt của việc truy cập dữ liệu trong ứng dụng web đề xuất. Ứng dụng web cho phép dễ dàng truy cập và quản lý các kho cơ sở dữ liệu bên trong và bên ngoài. Quản lý cơ sở dữ liệu được liên kết trực tiếp với máy chủ và cũng có thể được truy cập thông qua giao thức HTTP hoặc giao diện người dùng đồ họa. Cơ sở dữ liệu có thể được cấu hình dễ dàng, cho phép người dùng cuối liên kết cơ sở dữ liệu bên ngoài với máy chủ chính. Trong nghiên cứu này, liên kết cơ sở dữ liệu MongleDb đã được sử dụng. Cơ sở dữ liệu MongleDb được định cấu hình với địa chỉ máy chủ và cổng truy cập (5432 theo mặc định) để liên lạc giữa máy chủ và cơ sở dữ liệu. Điều này cho phép khả năng truy cập cơ sở dữ liệu từ máy chủ hoặc bằng cách đăng nhập vào thiết bị đầu cuối và truy cập trực tiếp vào cơ sở dữ liệu.

4. CÀI ĐẶT VÀ THỬ NGHIỆM

Trong bài báo này, nghiên cứu đã thử nghiệm với thiết bị phần cứng chế tạo và phần mềm đề xuất. Thiết bị chế tạo được lắp đặt tại ba thiết bị điện chuyên dụng ở các vị trí khác nhau như được liệt kê trong Bảng 1 (ở các tòa nhà khác nhau trong khuôn viên khu II của Trường Đại học Cần Thơ). Thiết bị phần cứng này được nối kết với máy chủ thông qua mạng không dây Wifi. Cơ chế giao tiếp giữa thiết bị phần cứng chế tạo và máy chủ dựa trên giao thức MQTT (sử dụng máy chủ EMQX). Dữ liệu giám sát thời gian vận hành của thiết bị điện chuyên dụng được mã hóa theo định dạng chung và tuân thủ theo chuẩn OGC SensorThings. Tình trạng khai thác sử dụng của các thiết bị chuyên dụng được trục quan hóa thông qua biểu đồ và được hiển thị trên nền tảng ứng dụng web. Nghiên cứu sử dụng chuẩn dịch vụ web (RESTful) trong NodeJS để giao tiếp với SensorThings.



Hình 7. UMD được lắp đặt để theo dõi thiết bị chuyên dụng

Hình 7 minh họa UMD được lắp đặt để theo dõi thời gian vận hành của thiết bị điện chuyên dụng.

Kịch bản 1: Trong kịch bản thử nghiệm này, tại ba vị trí của thiết bị chuyên dụng, UMD đọc các thông số vận hành từ các thiết bị chuyên dụng gồm thông tin xác thực của người sử dụng thiết bị, thời gian sử dụng, ngày sử dụng và công suất của thiết bị chuyên dụng. Sau đó UMD đóng gói các dữ liệu thu thập được và gửi lên máy chủ trung gian sử dụng giao thức MQTT với mức ưu tiên cao nhất QoS=2.

Bước 1. Khi thiết bị chuyên dụng được cấp nguồn điện và được khởi động. Lúc này dòng điện được truyền sang UMD. UMD được thiết kế để phát ra âm thanh “bíp”. Âm thanh này dùng để nhắc nhở xác thực thông tin định danh của người sử dụng thiết bị chuyên dụng. Người sử dụng được yêu cầu đặt bảng tên vào vị trí xác thực trên UMD, thông tin xác thực đọc được từ bảng tên sẽ được khớp với thông tin định danh của cán bộ được lưu trữ trên hệ thống quản lý chung của Trường Đại học Cần Thơ. Nếu thông tin xác thực là hợp lệ, UMD sẽ tắt âm thanh “bíp” và bắt đầu quá trình giám sát thời gian vận hành của thiết bị.

Bước 2. UMD thu thập dữ liệu giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng, đóng gói dữ liệu dưới dạng JSON như được mô tả trong Hình 2 và gửi dữ liệu đóng gói này lên máy chủ trung gian sử dụng giao thức MQTT.

Bước 3. NodeRed tương tác với máy chủ MQTT để lấy gói dữ liệu giám sát và sau đó lưu trữ vào SensorThings thông qua giao tiếp lập trình ứng dụng SensorThings.

Bước 4. Một dịch vụ viết bằng ngôn ngữ Python sẽ lấy dữ liệu giám sát từ SensorThings để phân tích, thống kê thời gian sử dụng thiết bị và hiển thị thông tin trên giao diện web. Đồng thời, dịch vụ này cũng lưu trữ các số liệu thống kê được vào cơ sở dữ liệu MongoDB.

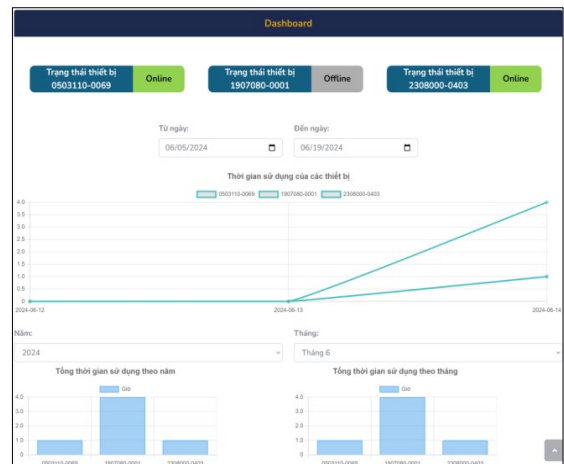


Hình 8. Giao diện xác thực thông tin người dùng

Kịch bản 2: Kịch bản này mô tả giao diện ứng dụng web để trực quan hóa dữ liệu thống kê thời gian vận hành của thiết bị điện chuyên dụng. Dữ liệu giám sát được thống kê bằng tính năng Analyzer Service.

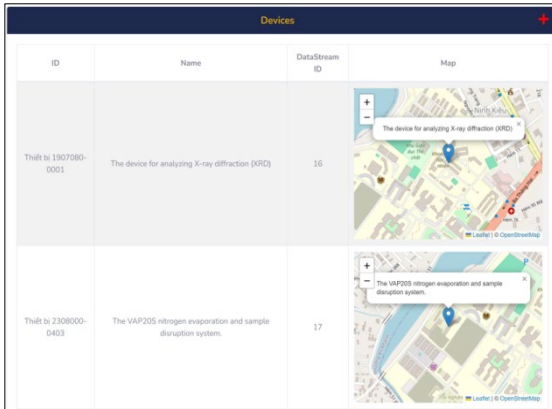
Bước 1. Người sử dụng cần xác thực định danh bằng cách đăng nhập vào hệ thống với tài khoản hợp lệ. Xác thực thông tin được thực hiện thông qua giao diện được minh họa trong Hình 8.

Bước 2. Khi người dùng cung cấp thông tin xác thực thành công, hệ thống tự động điều hướng đến trang thông tin quản lý tần suất sử dụng của các thiết bị chuyên dụng. Hình 9 mô tả giao diện trang chủ của ứng dụng web. Các thông số về thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng theo ngày, tháng và năm cũng được tích hợp để hiển thị trên ứng dụng. Tình trạng sử dụng của thiết bị chuyên dụng trong một khoảng thời gian nào đó cũng được phát triển và cung cấp trong ứng dụng. Bên cạnh đó, để kiểm tra tình trạng còn hoạt động của UMD, hệ thống sẽ xuất cũng tích hợp chức năng về trạng thái này trên giao diện được mô tả trong Hình 9.



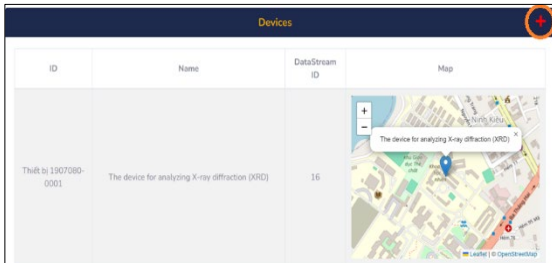
Hình 9. Giao diện trang chủ của ứng dụng

Bước 3. Để giám sát thông tin chi tiết của các thiết bị chuyên dụng, người sử dụng chọn chức năng quản lý thiết bị trên ứng dụng. Hình 10 mô tả giao diện dùng để hiển thị mã định danh thiết bị (mã thiết bị được đặt theo quy cách quản lý mã định danh thiết bị của Trường Đại học Cần Thơ), tên thiết bị và vị trí của thiết bị chuyên dụng. Nghiên cứu cũng trình bày giải pháp tích hợp tính năng Google Maps vào ứng dụng web để hiển thị vị trí địa lý của thiết bị, điều này giúp người dùng dễ dàng quan sát được nơi lắp đặt thiết bị chuyên dụng.



Hình 10. Giao diện hiển thị thông tin và vị trí địa lý của thiết bị chuyên dụng

Kịch bản 3: Kịch bản này mô tả các bước để người quản trị có thể cấu hình thêm mới thiết bị chuyên dụng.



Hình 11. Giao diện thêm thiết bị chuyên dụng mới

Bước 1. Trên giao diện thêm thiết bị chuyên dụng mới, người dùng nhấp vào biểu tượng hình dấu cộng (Hình 11), khi đó người dùng được điều hướng đến một cửa sổ nhập liệu. Tại cửa sổ này, các thông tin về thiết bị chuyên dụng mới được yêu cầu nhập (Hình 12).

Thêm thiết bị

ID thiết bị (*)

Tên thiết bị (*)

Vị trí đặt thiết bị (*)

Hình 12. Giao diện nhập thông tin thêm thiết bị

Bước 2. Người dùng chỉ nhập các thông tin về thiết bị chuyên dụng như: Mã thiết bị; Tên thiết bị; Vị trí địa lý mà thiết bị đang được bố trí sử dụng. Riêng tọa độ chính xác của một vị trí cụ thể trên bản đồ được UMD gửi tự động lên hệ thống.

Bước 3. Khi tất cả thông tin về thiết bị chuyên dụng được cung cấp, người dùng nhấp vào nút “Thêm” trên giao diện nhập thông tin thiết bị để hoàn tất quá trình thêm mới thiết bị chuyên dụng vào hệ thống quản lý. Khi đó trên giao diện quản lý thiết bị sẽ hiển thị thông tin của thiết bị chuyên dụng mới thêm vào hệ thống.

Thực nghiệm trên ba kịch bản như được trình bày, kết quả cho thấy tất cả các thông số về thời gian vận hành của thiết bị điện chuyên dụng đã được gửi tức thời đến hệ thống máy chủ thông qua giao thức MQTT. Thực nghiệm này được tiến hành trên thiết bị điện “Máy nén bê tông, xi măng 3000/250 kN Matest C071A” và “Hệ thống chung cất đạm, phá mẫu VAP20S” được mô tả ở Bảng 1 trong khoảng thời gian từ ngày 15/04/2024 đến 29/04/2024. Dữ liệu giám sát thời gian vận hành do UMD gửi lên máy chủ trùng khớp với thời gian sử dụng được ghi nhận trong sổ nhật ký sử dụng thiết bị. Đây là dữ liệu thực tế mà thiết bị điện vận hành phục vụ cho hoạt động đào tạo của đơn vị. Trong thời gian triển khai thử nghiệm, nghiên cứu nhận được phản hồi tích cực của người sử dụng thiết bị UMD.

Bên cạnh đó, UMD chế tạo trong nghiên cứu này có chức năng lưu dữ liệu tạm thời trong trường hợp bị mất kết nối Internet. Dữ liệu này được gửi về hệ thống lưu trữ trên máy chủ khi UMD khôi phục lại kết nối Internet. Thiết bị UMD có khả năng lưu trữ dữ liệu tạm thời trong 50 lần quẹt thẻ. Ngoài ra, nền tảng SensorThings dùng để lưu trữ dữ liệu do thiết bị chuyên dụng gửi về hoạt động ổn định, chức năng quản lý các thiết bị IoT được tích hợp và mở rộng dễ dàng. Các chức năng của ứng dụng Web dùng để quản trị và hiển thị trực quan hóa dữ liệu hoạt động chính xác. Số liệu thống kê trong bài báo này được thiết bị UMD theo dõi và gửi về hệ thống máy chủ trong hai tuần làm việc.

5. KẾT LUẬN

Bài báo trình bày giải pháp phần cứng và giải pháp phần mềm dựa trên chuẩn IoT và nền tảng SensorThings cho hệ thống giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng. Giải pháp chế tạo thiết bị phần cứng cho hiệu quả kinh tế và hiệu suất. Các thông số giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng được lưu trữ theo tiêu chuẩn SensorThings API, trong đó Sensing cung cấp chuẩn để quản lý, truy xuất các thông số và thông tin thiết bị chuyên dụng từ các hệ thống IoT, Tasking thực hiện nhiệm vụ cung cấp kế hoạch làm việc cho thiết bị chấp hành. Với SensorThings API, các lợi ích bao gồm các tính năng như cho phép gia tăng các dịch vụ mới giá trị cao với chi phí phát triển thấp hơn và

phạm vi tiếp cận rộng hơn; giảm rủi ro, thời gian và chi phí trên toàn bộ chu trình thiết kế các sản phẩm IoT cũng như đơn giản hóa các kết nối giữa thiết bị thiết bị, và thiết bị-ứng dụng. Nhìn chung, giải pháp phần cứng được đề xuất trong nghiên cứu có chi phí hợp lý, giải pháp phần mềm có khả năng dễ dàng mở rộng cho nhiều kiến trúc giao thức khác nhau. Kết quả cài đặt và thử nghiệm cho kết quả đáp ứng yêu cầu thực tế đặt ra.

TÀI LIỆU THAM KHẢO (REFERENCES)

- Dubey, Y., Patil, R., Sutaone, S., Kundu, S., & Mhaski, A. (2022). Process Improvement of Finishing Machine by Real Time Monitoring using IoT. *2022 IEEE Delhi Section Conference (DELCON)*, 1–5. <https://doi.org/10.1109/DELCON54057.2022.9753051>
- Feriani, A., Refaey, A., & Hossain, E. (2020). Tracking Pandemics: A MEC-Enabled IoT Ecosystem with Learning Capability. *IEEE Internet of Things Magazine*, 3(3), 40–45. <https://doi.org/10.1109/IOTM.0001.2000142>
- Islam, Md. R., Kabir, Md. M., Mridha, M. F., Alfarhood, S., Safran, M., & Che, D. (2023). Deep Learning-Based IoT System for Remote Monitoring and Early Detection of Health Issues in Real-Time. *Sensors*, 23(11), 5204. <https://doi.org/10.3390/s23115204>
- Le, A. N., & Nguyen, K. T. (2020). Design An IoT Gateway For Monitoring and Managing System of Low-Voltage Distribution Cabinet. *Journal of Energy Science And Technology - Electric Power University*, 24 (in Vietnamese).
- SCADA. (n.d.). <https://Iotvn.vn/Scada-La-Gi/>
- MQTT. (n.d.). <https://Mqtt.Org/>
- OGC. (n.d.). <https://Www.Ogc.Org/>
- RTC. (n.d.). *Grove - High Precision RTC (DS1307) (mạch thời gian thực)*. <https://Hshop.vn/Products/Grove-Rtc-Mach-Thoi-Gian-Thuc>
- Trong nghiên cứu tiếp theo, vấn đề tối ưu hóa xử lý thời gian thực, vấn đề cân bằng tải và xây dựng ứng dụng di động cho hệ thống giám sát thời gian vận hành của thiết bị chuyên dụng sẽ được phân tích sâu.

LỜI CẢM ƠN

Đề tài này được tài trợ bởi Trường Đại học Cần Thơ, Mã số: TĐH2023-05.

EMQX. (n.d.). *EMQ*. <https://Www.Emqx.io/>

ESP32. (n.d.). ESP32-WROOM-32UE-N4 Module WiFi Bluetooth 4MB Flash 2.4GHz. <https://Www.Thegioiic.Com/Esp32-Wroom-32ue-N4-Module-Wifi-Bluetooth-4mb-Flash-2-4ghz>

ZMCT103. (n.d.). *Cảm biến đo dòng AC 5A ZMCT103*.

<https://Icdroyi.Com/Cam-Bien-Do-Dong-Ac-5a-Zmct103>

Sitompul, E., & Rohmat, A. (2021). IoT-based Running Time Monitoring System for Machine Preventive Maintenance Scheduling. *ELKHA*, 13(1), 33. <https://doi.org/10.26418/elkha.v13i1.44202>

Tran, D. T., & Hong, S. J. (2015). RFID Anti-Counterfeiting for Retailing Systems. *Journal of Applied Mathematics and Physics*, 3(1), 1–9. <https://doi.org/10.4236/jamp.2015.31001>

Wong, T. K., Mun, H. K., Phang, S. K., Lum, K. L., & Tan, W. Q. (2021). Real-time Machine Health Monitoring System using Machine Learning with IoT Technology. *MATEC Web of Conferences*, 335, 02005. <https://doi.org/10.1051/mateconf/202133502005>

Wu, X., Liu, C., Wang, L., & Bilal, M. (2023). Internet of things-enabled real-time health monitoring system using deep learning. *Neural Computing and Applications*, 35(20), 14565–14576. <https://doi.org/10.1007/s00521-021-06440-6>