

# Nghiên cứu đề xuất giải pháp IoT linh hoạt với mạng truyền thông vô tuyến và cảm biến đo lường, điều khiển

Cô Như Văn<sup>1\*</sup>, Lê Hùng Lâm<sup>1</sup>, Trần Ngọc Tú<sup>1</sup>, Lê Hoàng Nam<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Giao thông Vận tải

<sup>2</sup>Viện Ứng dụng Công nghệ, Bộ Khoa học và Công nghệ

Ngày nhận bài 20/9/2021; ngày chuyển phản biện 24/9/2021; ngày nhận phản biện 14/10/2021; ngày chấp nhận đăng 19/10/2021

## **Tóm tắt:**

Với sự gia tăng mạnh mẽ của số lượng thiết bị IoT (Internet of things), giao thức truy cập mạng của các thiết bị cũng trở nên đa dạng, dẫn đến nhu cầu về nền tảng IoT hỗ trợ truy cập mạng không đồng nhất. Ở mỗi khu vực hoặc với mỗi ứng dụng khác nhau, giải pháp kết nối truyền thông cũng như việc đo lường điều khiển ngoại vi là khác nhau. Các hệ thống IoT hiện tại được xây dựng chủ yếu cho bài toán cụ thể, thiếu khả năng mở rộng mạng kết nối và với các thiết bị ngoại vi khác nhau, dẫn đến tốn kém chi phí đầu tư, thời gian xây dựng hệ thống cũng như khả năng làm việc kém tin cậy. Bài báo đề xuất giải pháp IoT linh hoạt, có thể sẵn sàng ứng dụng cho các hệ thống ngoài trời, điển hình như: sản xuất nông nghiệp thông minh, chiếu sáng thông minh và giao thông thông minh..., nhằm đưa ra mô hình ứng dụng linh hoạt với cơ sở hạ tầng khác nhau cho mỗi ứng dụng, đem lại chất lượng làm việc cao, có khả năng mở rộng và tiết giảm thời gian, chi phí xây dựng hệ thống.

**Từ khóa:** đo lường và điều khiển tùy biến, IoT linh hoạt, mạng kết nối tùy biến.

**Chỉ số phân loại:** 2.2

## **Đặt vấn đề**

IoT là công nghệ phát triển nhanh chóng, cho phép ứng dụng vào nhiều lĩnh vực như thành phố thông minh, nhà thông minh, nông nghiệp thông minh, lưới điện thông minh... [1-7]. Là một trong những ngành công nghiệp hứa hẹn nhất trên thế giới, IoT đã thúc đẩy ngày càng nhiều thiết bị đầu cuối tham gia như điện thoại di động, máy tính cá nhân, các cảm biến khác nhau...

Công nghệ IoT có thể được coi là nền tảng cho các thành phố thông minh (Smart cities - SC) thế hệ tiếp theo do tiềm năng của nó trong việc khai thác các công nghệ thông tin và truyền thông bền vững [8]. Ban đầu, khái niệm SC bắt nguồn từ công nghệ IoT, sau đó, việc sử dụng IoT cũng có thể được mở rộng cho các làng thông minh (Smart villages - SV) ở các khu định cư nông thôn, cải thiện cuộc sống của cộng đồng nói chung. Về hình thức, các khu định cư nông thôn có các yêu cầu hơi khác so với các khu định cư thành thị. Nếu việc ứng dụng IoT trong các SC có thể được đặc trưng bởi sự dày đặc của IoT đối với cuộc sống hàng ngày, tuân theo đặc điểm cấu trúc của các thành phố là những nơi đông dân cư, thì SV được trao quyền cho IoT thường là một hệ thống phân tán và thiếu hụt. Tuy nhiên, bằng cách cung cấp phân tích xuyên ngành, việc xem xét vai trò của IoT trong SC và SV [8] đã xác định được sự tương đồng, khác biệt và viễn cảnh tương lai đối với SC và SV. Cùng với đó là sự gia tăng mạnh mẽ của số lượng thiết bị IoT, giao thức truy cập mạng và các kết nối đo lường điều khiển của các thiết bị cũng trở nên đa dạng và không đồng nhất, dẫn đến

nhu cầu về nền tảng IoT hỗ trợ truy cập mạng không đồng nhất và đo lường điều khiển tùy biến. Dẫu vậy, khung nền tảng IoT hiện tại không hỗ trợ tốt cho việc truy cập mạng không đồng nhất cũng như việc đo lường và điều khiển các thiết bị ngoại vi. Trước nhu cầu đó, đã có nhiều nghiên cứu được đưa ra, tiêu biểu là I. Mashal và cs (2015) [9] đã nghiên cứu xây dựng “Flexi-IoT”, tuy nhiên nghiên cứu mới chỉ dừng lại ở việc ứng dụng cho các thiết bị trong nhà với khoảng cách truyền thông ngắn, môi trường làm việc nói chung lý tưởng hơn so với ngoài trời. Ngoài ra, việc đo lường sử dụng cảm biến là được định sẵn mà không tùy biến cho việc kết nối đa cảm biến.

Mục tiêu của bài báo là xây dựng thiết bị IoT có khả năng kết nối truy cập mạng không đồng nhất, hỗ trợ đa kết nối mạng và đa kết nối cảm biến đo lường, điều khiển để thiết bị ngoại vi có thể dễ dàng thiết lập cho các ứng dụng tiêu biểu ngoài trời như hệ thống nông nghiệp thông minh, chiếu sáng thông minh, giao thông thông minh. Đồng thời, mỗi ứng dụng cũng tạo ra được sự thuận tiện trong việc kết nối tùy theo cơ sở hạ tầng có sẵn điển hình như wifi, LoRa/LoRaWAN và GRPS, tự động chuyển chế độ kết nối... nâng cao khả năng sẵn sàng và độ tin cậy làm việc của hệ thống.

## **Nội dung nghiên cứu**

### **Kiến trúc IoT**

Không có sự đồng thuận duy nhất về kiến trúc cho IoT được thống nhất trên toàn cầu. Các kiến trúc khác nhau đã được đề xuất bởi các nhà nghiên cứu khác nhau. Kiến trúc

\*Tác giả liên hệ: Email: vancn@ntc.edu.vn

# Research and propose flexible IoT solutions with radio communication networks and sensors for measurement, control

Nhu Van Co<sup>1\*</sup>, Hung Lan Le<sup>1</sup>, Ngoc Tu Tran<sup>1</sup>,  
Hoang Nam Le<sup>2</sup>

<sup>1</sup>University of Transport and Communications

<sup>2</sup>National Center for Technological Progress,  
Ministry of Science and Technology

Received 20 September 2021; accepted 19 October 2021

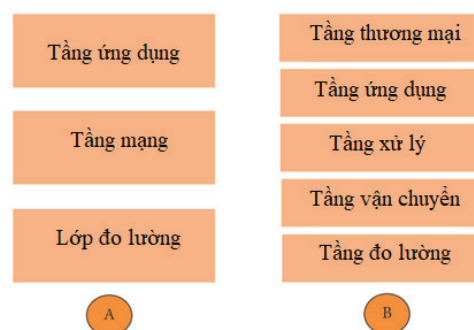
## Abstract:

With a rapid increase in the number of IoT devices, the network access protocols of the devices also become diversified, leading to the need for IoT platforms that support heterogeneous network access. In each area or with different applications, the communication solution as well as the measurement and control for peripheral devices is different. Current IoT systems are mainly built for a specific problem, lacking the ability to expand the connection network and with different peripheral devices, therefore a costly investment and time to build the system, and at the same time, the ability to work is less reliable. The article proposes a flexible IoT solution that can be readily applied to outdoor systems, such as smart agriculture, smart lighting, and smart traffic; thereby suggesting a flexible application with different infrastructures for each application with high working quality, scalability, time and cost-savings.

**Keywords:** customisable measurement and control, customisable networking, flexible IoT.

**Classification number:** 2.2

cơ bản nhất là 3 lớp [10, 11] như ở hình 1, được giới thiệu trong giai đoạn đầu của nghiên cứu trong lĩnh vực này, 3 lớp đó là: đo lường, mạng và ứng dụng. Đo lường là lớp vật lý, có các cảm biến để cảm nhận và thu thập thông tin. Lớp này thu thập một số thông số vật lý hoặc xác định các đối tượng thông minh khác trong môi trường. Lớp mạng chịu trách nhiệm kết nối với những thứ thông minh khác, thiết bị mạng và máy chủ. Các tính năng của nó cũng được sử dụng để truyền và xử lý dữ liệu cảm biến. Lớp ứng dụng chịu trách nhiệm cung cấp các dịch vụ cụ thể của ứng dụng cho người dùng.



Hình 1. Kiến trúc của IoT: 3 lớp (A) và 5 lớp (B).

Một kiến trúc khác được đề xuất bởi H. Ning và Z. Wang (2011) [12] lấy cảm hứng từ các lớp xử lý trong não người. Kiến trúc được truyền cảm hứng từ trí thông minh và khả năng của con người để suy nghĩ, cảm nhận, ghi nhớ, đưa ra quyết định và phản ứng với môi trường vật chất, được cấu thành bởi 3 phần. Đầu tiên là bộ não con người, tương tự như đơn vị xử lý và quản lý dữ liệu hoặc trung tâm dữ liệu. Thứ hai là tủy sống, tương tự như mạng lưới phân tán của các nút xử lý dữ liệu và các cổng thông minh. Thứ ba là mạng lưới các dây thần kinh, tương ứng với các thành phần mạng và cảm biến.

Mặc dù mọi hệ thống IoT đều khác nhau, nhưng nền tảng cho mỗi kiến trúc này cũng như quy trình xử lý dữ liệu chung gần như giống nhau (hình 2).



Hình 2. Sơ đồ khối đơn giản về các khối xây dựng cơ bản của IoT.

Nhiệm vụ của các khối chức năng trong kiến trúc ở hình 2 như sau:

**Sensors:** Những thứ này tạo thành giao diện người dùng của các thiết bị IoT. Mục đích chính của chúng là thu thập dữ liệu từ môi trường xung quanh (cảm biến) hoặc cung cấp dữ liệu cho xung quanh (thiết bị truyền động). Đây là những thiết bị có thể nhận dạng với một địa chỉ IP duy nhất để có thể dễ dàng nhận dạng chúng qua một mạng lớn; hoạt động trong tự nhiên, có nghĩa là phải có thể thu thập dữ liệu theo thời gian thực; tự hoạt động (tự chủ về bản chất) hoặc có thể được tạo ra để người dùng hoạt động tùy thuộc vào nhu cầu của họ (do người dùng kiểm soát). Ví dụ về cảm biến là cảm biến khí, cảm biến chất lượng nước, cảm biến độ ẩm...

**Processors:** Bộ xử lý là bộ não của hệ thống IoT. Chức năng chính của chúng là xử lý dữ liệu được thu thập bởi các cảm biến và xử lý để trích xuất dữ liệu có giá trị từ lượng dữ liệu thô khổng lồ được thu thập. Nói một cách ngắn gọn, chúng ta có thể nói rằng nó cung cấp thông tin cho dữ liệu. Các bộ vi xử lý hầu hết hoạt động trên cơ sở thời gian thực và có thể dễ dàng được điều khiển bởi các ứng dụng. Chúng cũng chịu trách nhiệm bảo mật dữ liệu - đó là thực hiện mã hóa và giải mã dữ liệu. Thiết bị phần cứng nhúng, bộ vi điều khiển... là những thiết bị xử lý dữ liệu vì chúng có bộ xử lý gắn liền với nó.

**Gateways:** Các cổng chịu trách nhiệm định tuyến dữ liệu đã xử lý và gửi dữ liệu đến các vị trí thích hợp để sử dụng (dữ liệu) đúng cách. Nói cách khác, cổng kết nối giúp truyền dữ liệu đến và đi. Nó cung cấp kết nối mạng với dữ liệu. Kết nối mạng là điều cần thiết cho bất kỳ hệ thống IoT nào để giao tiếp. LAN, WAN, PAN... là những ví dụ về cổng mạng.

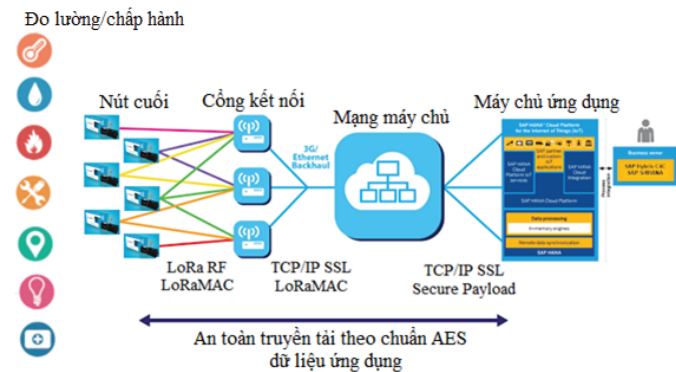
**Application:** Các ứng dụng tạo thành một đầu khác của hệ thống IoT, rất cần thiết để sử dụng hợp lý tất cả dữ liệu thu thập được. Các ứng dụng dựa trên đám mây này chịu trách nhiệm hiển thị ý nghĩa hiệu quả cho dữ liệu được thu thập. Các ứng dụng được kiểm soát bởi người dùng và là điểm cung cấp các dịch vụ cụ thể. Ví dụ về các ứng dụng như hệ thống an ninh, trung tâm điều khiển công nghiệp...

### **Xây dựng giải pháp truyền thông và đo lường, điều khiển**

Trước sự gia tăng bùng nổ của các thiết bị IoT, nhiều nhà nghiên cứu tin rằng, việc khai thác nền tảng IoT hỗ trợ truy cập mạng không đồng nhất là một công nghệ đầy hứa hẹn. K. Yang và cs (2007) [13] đã áp dụng một ap-proach dựa trên dịch vụ, chính sách, phân tích kiến trúc cơ bản của mạng không dây không đồng nhất trong tương lai (F-HWN) và sự áp dụng của chúng đối với lập kế hoạch mạng động (DNP), sử dụng chính sách - dựa trên nhận thức bối cảnh theo hướng sự kiện để tối ưu hóa việc triển khai và sử dụng cơ sở hạ tầng mạng cũng như cung cấp hỗ trợ mạng phổ biến cho các dịch vụ giá trị gia tăng theo cách dễ dàng hơn. Tuy nhiên, đây chỉ là một phương pháp truy cập mạng không dây và không xem xét một phương pháp truy cập khác như truy cập quang cũng như việc đo lường điều khiển các thiết bị ngoại vi. D. Kauling và Q.H. Mahmoud (2017) [14] sử dụng Raspberry Pi để thiết kế một nền tảng phần mềm, cung cấp một hệ thống để sử dụng và có thể tùy chỉnh cao để thu thập, xử lý dữ liệu cảm biến trong nhiều môi trường và ứng dụng khác nhau. Tuy nhiên, hệ này mới chỉ dừng lại ở việc thu thập dữ liệu mà chưa có chức năng điều khiển các thiết bị ngoại vi. Công trình nghiên cứu của GuoHua Huang và cs (2019) [15] được đánh giá là hoàn thiện nhất, từ việc thu thập dữ liệu đến phần mềm giao diện người dùng. Tuy nhiên, ứng dụng của nghiên cứu là hệ thống trong nhà với

khoảng cách truyền thông ngắn, điều kiện hoạt động lý tưởng hơn, ngoài ra việc kết nối đến các cảm biến cũng chưa được tùy biến mà bị giới hạn xác định.

Từ hạn chế của các công trình tiêu biểu [13-15], chúng tôi đã đề xuất một khung nền tảng IoT mới đặc biệt để hỗ trợ truy cập mạng không đồng nhất và các đo lường điều khiển ngoại vi tùy biến, mô hình tổng quan IoT được thể hiện ở hình 3.



**Hình 3. Mô hình tổng quan hệ thống IoT linh hoạt.**

Chức năng chính của các lớp trong mô hình tổng quan (hình 3) bao gồm:

**Sensors/actuators:** Gồm các cảm biến đo lường, thu thập thông tin (cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm, cường độ ánh sáng, cường độ dòng điện, mật độ phương tiện giao thông...) và các đối tượng cần điều khiển như hệ thống tưới, đèn chiếu sáng, đèn tín hiệu giao thông, biển VMS thông tin, phân luồng giao thông...

**End nodes:** Gồm các nút mạng đầu cuối bao gồm module thu phát vô tuyến và board tích hợp vi điều khiển cũng như các khối chức năng để kết nối đo lường, thu thập dữ liệu và điều khiển các thiết bị ngoại vi. Module thu phát vô tuyến được lựa chọn là loại LoRa, được đánh giá là phù hợp nhất cho các ứng dụng ngoài trời với khoảng cách xa và tiêu thụ năng lượng ít (sẽ được nêu cụ thể ở phần dưới). End node được tùy biến để kết nối đến cảm biến hoặc loại module truyền thông qua việc cấu hình lựa chọn hoạt động, khoảng cách truyền thông tùy thuộc vào loại module được kết nối, có thể dao động từ 1,5 đến 15 km. Mỗi End node được định danh bởi một ID nhất định.

**Concentrator/gateway:** Các node truyền/nhận dữ liệu với các gateway qua mạng vô tuyến LoRa. Các gateway kết nối với internet thông qua giao thức IP tiêu chuẩn và truyền dữ liệu nhận được từ các node tới server, tức là mạng, máy chủ hoặc đám mây. Các thiết bị gateway luôn được kết nối với nguồn điện. Các gateway kết nối với máy chủ mạng thông qua các kết nối IP tiêu chuẩn và hoạt động như một



cầu nối trong suốt, chỉ cần chuyển đổi gói RF sang gói IP và ngược lại.

**Network server:** Mạng máy chủ có thể là các giải pháp nền tảng dựa trên đám mây như The things network (TTN) hoặc LoRIOT. Các mạng máy chủ kết nối với các gateway và lọc các gói dữ liệu, sau đó định tuyến nó đến ứng dụng có liên quan. Các mạng máy chủ có thể được sử dụng cho cả giao tiếp đường lên (tức là từ node đến ứng dụng) hoặc đường xuống (tức là ứng dụng đến node).

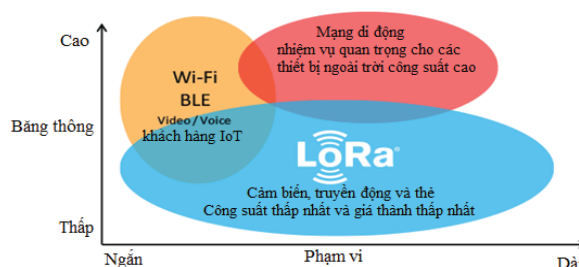
**Application server:** Các module phần mềm chức năng, có nhiệm vụ kết nối thu thập dữ liệu, phân tích về biểu đồ trực quan, lưu trữ cũng như truy xuất cơ sở dữ liệu. Đồng thời, có chức năng định danh thông tin, thiết lập cấu hình gửi đến các gateway và các node để có thể tùy biến cho ứng dụng.

## Kết quả và bàn luận

### Mạng truyền thông giữa các node và gateway

**Phân tích lựa chọn công nghệ LoRa:** Thuật ngữ LoRa là viết tắt của Long range. Đây là một công nghệ tần số vô tuyến không dây được giới thiệu bởi công ty có tên là Semtech. Công nghệ LoRa này có thể được sử dụng để truyền thông tin hai chiều đến khoảng cách xa mà không tiêu tốn nhiều điện năng. Đặc tính này có thể được sử dụng bởi các cảm biến từ xa phải truyền dữ liệu của nó bằng cách chỉ hoạt động trên một pin nhỏ. Điển hình là LoRa có thể đạt được khoảng cách 15-20 km và có thể hoạt động bằng pin trong nhiều năm. Các giải pháp không dây như RF có thể gửi dữ liệu đến khoảng cách xa nhưng cần nhiều năng lượng hơn để làm điều đó, do đó không thể hoạt động bằng pin, trong khi BLE có thể hoạt động với rất ít năng lượng nhưng không thể gửi dữ liệu đến khoảng cách xa. Vì vậy, đây là những gì mang lại sự cần thiết cho LoRa. LoRa có thể đạt được giao tiếp khoảng cách cao mà không cần sử dụng nhiều điện năng, do đó khắc phục được nhược điểm của giao tiếp wifi và BLE. Để đạt được khoảng cách xa với

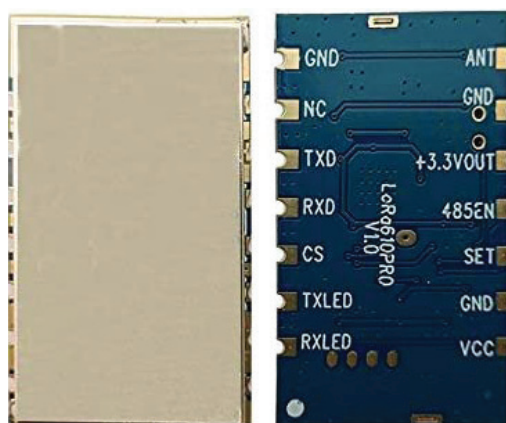
LoRa công suất thấp thỏa hiệp về băng thông (hoạt động trên băng thông rất thấp). Băng thông tối đa cho LoRa là khoảng 5,5 kbps, điều này có nghĩa là chỉ có thể gửi một lượng nhỏ dữ liệu thông qua LoRa. Vì vậy, không thể gửi âm thanh hoặc video thông qua công nghệ này, nó chỉ hoạt động tốt khi truyền ít thông tin hơn như các giá trị cảm biến. Biểu đồ hình 4 cho thấy, LoRa nằm ở đâu so với các thiết bị wifi, bluetooth và di động. Với các hệ thống IoT nói chung và ứng dụng cho các hệ thống tưới cây, chiếu sáng giao thông thì thông tin dữ liệu thường không nhiều, nhưng đòi hỏi về độ tin cậy, tính sẵn sàng, khoảng cách truyền thông xa, do vậy việc áp dụng LoRa vào hệ thống là phù hợp nhất.



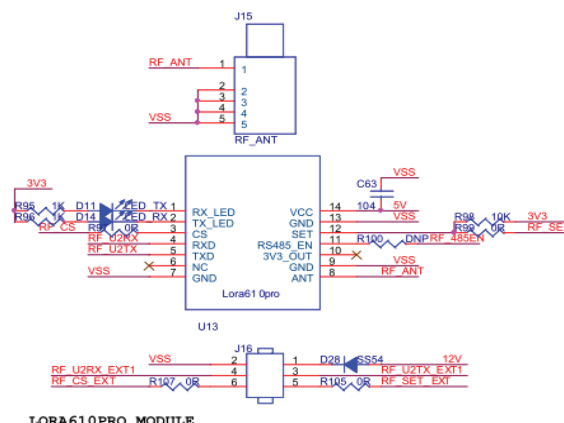
Hình 4. Đánh giá các công nghệ truyền thông tiêu biểu hiện nay.

**Thiết kế khối chức năng:** Mục đích cần xây dựng mạng truyền thông có thể tùy biến, việc tùy biến không chỉ về phần cứng mà còn có thể tùy biến về giao thức kết nối. Như vậy, để thực hiện được thì lựa chọn xây dựng theo kiến trúc mạng Mesh là phù hợp. Một số loại module LoRa có hỗ trợ mạng Mesh, trong đó tiêu biểu là LoRa610PRO, module có công suất tiêu thụ nhỏ (100 mW) nhưng khoảng cách truyền thông xa (đến 5000 m), tốc độ truyền tiêu chuẩn 433/470/868/915 MHz, nguồn dải rộng (3,3~6,5 V) (hình 5).

Mạch điện có thiết kế thêm switch chuyển đổi, cho phép lựa chọn kết nối với loại module có công suất khác nhau để linh hoạt áp dụng cho các ứng dụng có khoảng cách truyền thông khác nhau trên thực tế.



Hình 5. Khối truyền thông vô tuyến LoRa - Mesh.



LoRa610PRO MODULE

### Mạng truyền thông giữa các gateway và server

Như đã phân tích, thiết bị cần hoạt động với mạng không đồng nhất. Nhóm nghiên cứu lựa chọn, tích hợp các giải pháp thông dụng và tối ưu nhất bao gồm các mạng truyền thông như: LoRaMAC, wifi, LAN, GSM. Tùy vào mỗi ứng dụng khác nhau mà có thể kết nối và cấu hình thiết bị sử dụng phương pháp tương ứng phù hợp nhất để đảm bảo được nhiệm vụ bài toán, thiết bị nhỏ gọn và giảm chi phí đầu tư cũng như chi phí trong quá trình sử dụng. Giao thức TCP nên được chọn để hoạt động như một lớp truyền tải cho các hệ thống IoT. TCP có nhiều thách thức hơn liên quan đến hệ thống IoT như thiết lập kết nối, kiểm soát tắc nghẽn và bộ đệm dữ liệu. Thiết lập kết nối có thể không được xem xét trong hầu hết các trường hợp trong các hệ thống IoT do nhu cầu truyền tải một lượng nhỏ dữ liệu giữa các đối tượng.

### Khởi đo lường, điều khiển các thiết bị ngoại vi

Mục tiêu là hệ thống có thể kết nối tùy biến với các loại cảm biến khác nhau để có thể thu thập thông tin dữ liệu, để làm được việc này, về mặt phần cứng cần hỗ trợ các chuẩn kết nối, truyền thông phổ biến nhất. Việc kết nối thu thập dữ liệu có thể phân ra làm hai loại cơ bản nhất, đó là dạng số và dạng tương tự: dạng tương tự có thể là điện áp hoặc dòng điện, phổ biến nhất với kiểu điện áp 0-5 Vdc, kiểu dòng điện là 4-20 mA; với loại số thì phổ biến nhất là các chuẩn truyền thông như: UART, RS485, RS232, SPI, I2C. Việc tích hợp các chuẩn đo lường, thu thập dữ liệu trên vào mạch điện tương đối nhỏ gọn và không tốn kém chi phí, nên nhóm đã lựa chọn tích hợp vào thiết bị. Kết hợp với việc cấu hình từ máy tính kết nối trực tiếp với thiết bị qua cổng USB hoặc từ server, có thể cài đặt các chế độ hoạt động, khai báo các loại cảm biến cũng như hiệu chuẩn giá trị đo lường tương ứng với loại cảm biến đó để có thể tùy biến kết nối với các loại cảm biến khác nhau khi áp dụng thực tế. Việc điều khiển các thiết bị ngoại vi cũng có thể được tùy biến qua phần cứng phổ thông như: relay, PWM, DAC, kết hợp với khối khuếch đại công suất và việc khai báo cấu hình từ máy tính/server để có thể điều khiển các thiết bị ngoại vi khác nhau về chuẩn cũng như công suất của thiết bị.

### Phần mềm giao diện người dùng

Đây là phần mềm giao diện trực quan cho phép hiển thị các thông tin, số liệu đo lường, điều khiển của toàn bộ hệ thống cũng như việc lưu trữ và truy xuất cơ sở dữ liệu. Đồng thời, phần mềm còn cho phép khai báo tên loại cảm biến, thiết bị điều khiển, cấu hình, hiệu chuẩn các tham số làm việc đến các cảm biến cũng như việc điều khiển các thiết bị ngoại vi khác nhau cho từng thiết bị IoT (hình 6). Ngoài ra, thiết kế thêm phần mềm trên máy tính, phục vụ cho việc khai báo, thiết lập ban đầu cho các thiết bị node và gateway, đồng thời cũng sử dụng cho mục đích thu thập thông tin trạng thái làm việc của thiết bị, xác định được các nguyên nhân sự cố của thiết bị IoT khi xảy ra.

Hình 6. Giao diện cấu hình cơ bản - chưa khai báo cụ thể cho ứng dụng nào.

Từ giao diện cơ bản ở hình 6, người dùng có thể khai báo tên thiết bị (hoặc tên trạm), các chế độ hoạt động cũng như cấu hình các tham số cho hệ thống cụ thể như: hệ thống tưới cây thông minh, hệ thống chiếu sáng công cộng, hệ thống điều khiển và giám sát đèn tín hiệu giao thông được thể hiện tương ứng ở các hình 7, 8 và 9.

Hình 7. Giao diện cấu hình khi đã lựa chọn, xác định - ứng dụng cho hệ thống tưới cây thông minh.

Hình 8. Giao diện cấu hình khi đã lựa chọn, xác định - ứng dụng cho hệ thống chiếu sáng thông minh.

Hình 9. Giao diện cấu hình khi đã lựa chọn, xác định - ứng dụng cho hệ thống điều khiển và giám sát đèn tín hiệu giao thông đường bộ.

#### Hình 10. Giao diện giám sát hoạt động của hệ thống.

Tương ứng với mỗi hệ thống, phần mềm đều có các chức năng phân tích và lưu trữ cơ sở dữ liệu, cho phép truy xuất dữ liệu, giám sát dữ liệu realtime cũng như vẽ biểu đồ giao diện người dùng trực quan theo tham số được lựa chọn. Hình 10 biểu thị giá trị về nhiệt độ môi trường và lượng mưa đo được theo thời gian thực.

#### Kết luận

Hệ thống IoT ứng dụng cho các hệ thống khác nhau thì việc kết nối, đo lường điều khiển là khác nhau, tuy nhiên xét tổng thể ở mỗi khâu thì chúng có phần tương đồng. Bài báo đã thiết kế được hệ thống IoT linh hoạt, cho phép có thể tùy biến ứng dụng vào các hệ thống khác nhau trên thực tế. Nhóm nghiên cứu cũng đã vận dụng hệ thống này cho các ứng dụng điển hình ngoài trời như hệ thống tưới cây thông minh, điều khiển và giám sát đèn chiếu sáng công cộng, điều khiển và giám sát đèn tín hiệu giao thông. Chỉ với thao tác đơn giản và nhanh chóng thông qua thủ tục cấu hình, hiệu chỉnh cho thiết bị phần cứng và giao diện người dùng trên server, từ đó có thể ứng dụng IoT cho các bài toán thu thập dữ liệu, giám sát và điều khiển từ xa.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Y. Hao, et al. (2019), "Smart-edge-CoCaCo: AI-enabled smart edge with joint computation, caching, and communication in heterogeneous IoT", *IEEE Network*, **33**(2), pp.58-64.
- [2] A. Yassine, et al. (2019), "IoT big data analytics for smart homes with fog and cloud computing", *Future Generation Computer Systems*, **91**, pp.563-573.
- [3] Raul Morais, et al. (2021), "A versatile, low-power and low-cost IoT device for field data gathering in precision agriculture practices", *Agriculture*, **11**, DOI: 10.3390/agriculture11070619.
- [4] Joseph Aneke, et al. (2020), "A low-cost flexible IoT system supporting elderly's healthcare in rural villages", *Proceedings of 2<sup>nd</sup>*

*African conference for Human Computer Interaction (AfriCHI'18)*, DOI: 10.1145/3283458.3283470.

[5] S. Pellicer, et al. (2013), "A global perspective of smart cities: A survey", *International Conference on Innovative Mobile & Internet Services in Ubiquitous Computing*, IEEE.

[6] T. Song, et al. (2016), "A privacy preserving communication pro-ocol for IoT applications in smart homes", *International Conference on Identification*, IEEE.

[7] Z.M. Fadlullah, et al. (2012), "Towards intelligent machine-to-machine communications in smart grid", *IEEE Communications Magazine*, **49**(4), pp.60-65.

[8] A.H. Alavi, et al. (2018), "Internet of things-enabled smart cities: State-of-the-art and future trends", *Measurement*, **129**, pp.589-606.

[9] I. Mashal, et al. (2015), "Choices for interaction with things on internet and underlying issues", *Ad. Hoc. Networks*, **28**, pp.68-90.

[10] O. Said, M. Masud (2013), "Towards internet of things: Survey and future vision", *International Journal of Computer Networks*, **5**(1), pp.1-17.

[11] M. Wu, et al. (2010), "Research on the architecture of internet of things", *Proceedings of the 3<sup>rd</sup> International Conference on Advanced Computer Theory and Engineering (ICACTE '10)*.

[12] H. Ning, Z. Wang (2011), "Future internet of things architecture: Like mankind neural system or social organization framework?", *IEEE Communications Letters*, **15**(4), pp.461-463.

[13] K. Yang, et al. (2007), "Policy-based service-driven dynamic planning of heterogeneous wireless networks", *International Journal of Mobile Network Design & Innovation*, **2**(1), pp.67-77.

[14] D. Kauling, Q.H. Mahmoud (2017), "Sensorian Hub: An IFTTT-based platform for collecting and processing sensor data", *IEEE*, pp.504-509.

[15] GuoHua Huang, et al. (2019), *Flexi-IoT: A Flexible IoT Platform Supporting Heterogeneous Network Access and Fuzzy User Input*, IEEE.