

# MẠNG KHÔNG DÂY LoRa CHO ỨNG DỤNG IoT TẦM XA

## LoRa WIRELESS NETWORK FOR AN LONG-RANGE IoT APPLICATION

Trần Văn Líc, Lê Hồng Nam

*Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng; tvlic@dut.udn.vn, lehongnam@dut.udn.vn*

**Tóm tắt** - LoRa (Long Range) là một chuẩn không dây mới trong những năm gần đây, được thiết kế đặc biệt cho các ứng dụng mạng diện rộng công suất thấp (LPWAN), dùng để kết nối các thiết bị với băng thông thấp, tập trung vào hiệu quả về vùng phủ và điện năng. Những đặc điểm này của LoRa rất có tiềm năng cho số lượng lớn các ứng dụng Internet of Things (IoT) hiện nay, đặc biệt rất phù hợp cho các ứng dụng IoT tầm xa. Đã có nhiều bài báo thực hiện mô phỏng phân tích giao thức truyền không dây tầm xa LoRa, trong khi đó việc đánh giá triển khai ứng dụng cụ thể vẫn còn nhận được ít sự chú ý. Trong bài báo này, chúng tôi thực hiện thiết lập thông số LoRa ứng với các khoảng cách khác nhau trong mô hình IoT sử dụng mạng không dây LoRa, qua đó đánh giá được khả năng hoạt động thực tế cho mạng LoRa cho ứng dụng IoT tầm xa.

**Từ khóa** - LPWAN; LoRa; LoRaWAN; Internet of Things; Wireless network.

**Abstract** - LoRa (Long Range) is a new wireless standard in recent years, specially designed for Low-Power Wide-Area Network (LPWAN). It provides low bandwidth and focuses on long range and energy efficiency. These features of LoRa help it have high potential for a large number of Internet of Things (IoT) applications, especially for Long-Range IoT applications. Various research papers have already reported on simulation and performance analysis of LoRa wireless network, while performance analysis for specific applications has not yet received enough attention. In this paper, we establish LoRa parameters that operate with different distances in the IoT model based LoRa wireless network, thereby evaluate the real operation of LoRa wireless network for long-range IoT applications.

**Key words** - LPWAN; LoRa; LoRaWAN; Internet of Things; Wireless network.

### 1. Đặt vấn đề

LoRa là một công nghệ không dây được phát triển để cho phép truyền tốc độ dữ liệu thấp trên một khoảng cách lớn bởi các cảm biến và bộ truyền động cho M2M và IoT cũng như các ứng dụng IoT. LoRa hướng tới các kết nối M2M ở khoảng cách lớn. Nó có thể hỗ trợ liên lạc ở khoảng cách lên tới 15 – 20 km, với hàng triệu node mạng [1]. Nó có thể hoạt động trên băng tần không phải cấp phép, với tốc độ thấp từ 0,3kbps đến khoảng 30kbps [2]. Với đặc tính này, mạng LoRa phù hợp với các thiết bị thông minh trao đổi dữ liệu ở mức thấp nhưng duy trì trong một thời gian dài. Thực tế các thiết bị LoRa có thể duy trì kết nối và chia sẻ dữ liệu trong thời gian lên đến 10 năm chỉ với năng lượng pin.

Một mạng LoRa có thể cung cấp vùng phủ sóng tương tự như của một mạng di động. Trong một số trường hợp, các ăng-ten Lora có thể được kết hợp với ăng-ten di động khi các tần số là gần nhau, do đó giúp tiết kiệm đáng kể chi phí. Công nghệ không dây LoRa được đánh giá là lý tưởng để sử dụng trong một loạt các ứng dụng, bao gồm: định lượng thông minh, theo dõi hàng tồn kho, giám sát dữ liệu của máy bán hàng tự động, ngành công nghiệp ô tô, các ứng dụng tiện ích và trong bất cứ lĩnh vực nào mà cần báo cáo và kiểm soát dữ liệu.

LoRaWAN hoạt động trong dải ISM được cấp miễn phí. Chuẩn băng tần ISM được dành cho băng tần vô tuyến ngành công nghiệp, khoa học và y tế. Tại Mỹ sử dụng băng 902-928MHz, Châu Âu là 868 MHz [3].

Với những ưu điểm vượt trội LoRa mang lại, trên thế giới đã ứng dụng chuẩn không dây LoRa mới này thay thế cho chuẩn không dây cũ vào rất nhiều ứng dụng outdoor hoặc indoor trước đó như Smart Campus, Smart Home, Smart Parking, Air Pollution Monitoring, ... Các công ty linh kiện điện tử cũng bắt đầu nhập về các module LoRa để cung cấp cho các ứng dụng về mạng LoRa. Xuất hiện nhiều mô hình thành công trong việc áp dụng vào nông nghiệp, cụ thể là các nhà kính, các hệ thống tưới thông minh, ...

Khảo sát một số nghiên cứu gần đây cho thấy, đã có các bài báo nghiên cứu và đánh giá về LoRa và LoRaWAN cho mạng cảm biến không dây bằng việc thực hiện những phân tích, mô phỏng và cho ra được kết quả khả quan về việc sử dụng mạng LoRa cho các ứng dụng tầm xa.

Trong [4], tác giả thông qua mô phỏng để đánh giá khả năng hoạt động của mạng LoRa với giả định cơ chế tắc nghẽn, va chạm đơn giản liên quan đến giao thức truyền tải. Những giả định này sẽ dẫn đến khả năng hoạt động của mạng LoRa sẽ thấp hơn khi triển khai thực nghiệm.

Trong [5], tác giả nghiên cứu thực nghiệm về việc triển khai mạng không dây LoRa ở khu vực cụ thể là Glasgow. Bài báo tập trung vào việc khảo sát khả năng đáp ứng của LoRa gateway và tốc độ dữ liệu hơn là tập trung vào vùng phủ sóng LoRa và thiết lập các thông số phù hợp để đánh giá khả năng hoạt động của mạng LoRa như trong nghiên cứu của chúng tôi.

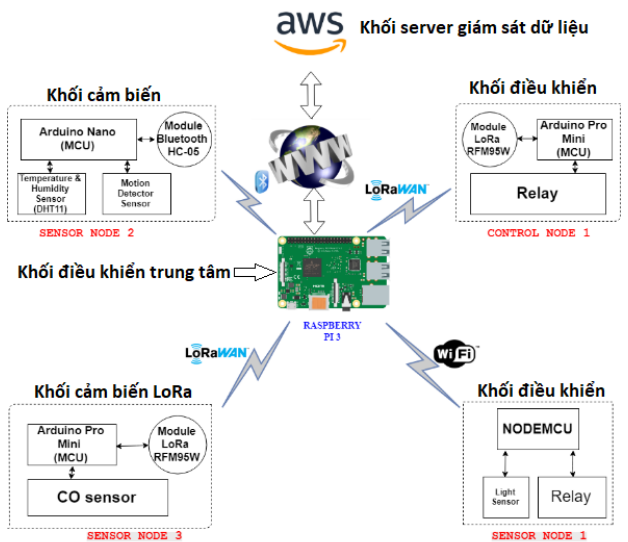
Có thể thấy rằng việc nghiên cứu tính toán, mô phỏng hiện tại đã có những kết quả nhất định. Tuy nhiên các nghiên cứu về việc triển khai đánh giá mô hình thực tế của mạng không dây LoRa còn hạn chế, đặc biệt sử dụng trong lĩnh vực IoT.

Trong bài báo này, để bổ sung cho việc nghiên cứu đánh giá hiệu năng của mạng LoRa cho các ứng dụng IoT tầm xa, nhóm tác giả tập trung vào triển khai xây dựng và đánh giá mô hình thực tế mạng không dây LoRa sử dụng trong ứng dụng IoT tầm xa. Cụ thể là triển khai mô hình thực tế sử dụng công nghệ không dây LoRa và IoT, qua đó đánh giá được hiệu năng sử dụng thực tế của mạng không dây LoRa vào mô hình IoT.

### 2. Thiết lập mô hình mạng LoRa vào IoT

#### 2.1. Đề xuất mô hình mạng LoRa và IoT

Mô hình sử dụng mạng LoRa và IoT bao gồm ba khối chính:

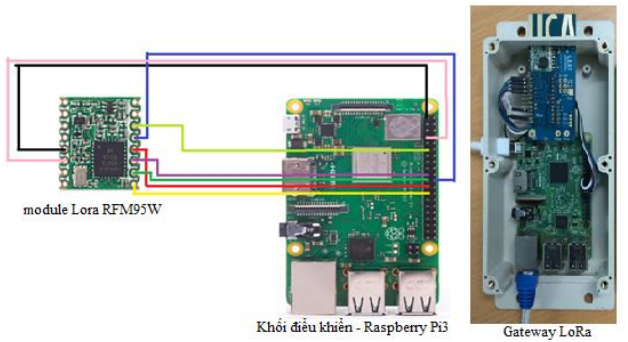


Hình 1. Mô hình IoT sử dụng mạng không dây LoRa

- Khối Gateway (khối điều khiển chính): sử dụng máy tính nhúng Raspberry Pi3 để nhận dữ liệu và gửi tín hiệu điều khiển tới node cảm biến thông qua mạng Lora, ngoài ra có thể qua giao tiếp wifi hoặc bluetooth. Dữ liệu được gửi lên web server thông qua giao thức MQTT.
- Các sensor node: sử dụng mạng LoRa để truyền dữ liệu nhiệt độ, độ ẩm, nồng độ khí CO, cường độ sáng đo được từ cảm biến gửi về khối Gateway. Trong bài báo này, dữ liệu nồng độ khí CO từ sensor node sẽ được gửi về Gateway để đánh giá.
- Server: Hiển thị giao diện người dùng, xây dựng các biểu đồ thể hiện các giá trị đọc từ cảm biến và lưu trữ giá trị đó để đánh giá khả năng hoạt động của hệ thống và các chức năng điều khiển thiết bị.

2.2. Gateway LoRa

Gateway LoRa sử dụng máy tính nhúng Raspberry Pi 3 giao tiếp với module LoRa RFM95W như Hình 2. Các thông số thiết lập cho Gateway và Node LoRa được cấu hình thể hiện ở Bảng 1.



Hình 2. Sơ đồ kết nối và hình ảnh thực tế Gateway LoRa

Bảng 1. Thông số cấu hình cho Gateway và Node LoRa

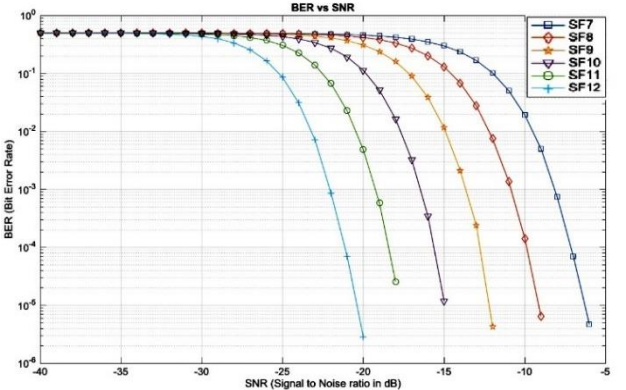
Thông số	Gateway	Node
Module LoRa	RFM95W	RFM95W
LoRa chip	Semtech SX1276	Semtech SX1276
Tần số	868 MHz	868 MHz
Băng thông (BW)	125 kHz	125 kHz

Công suất phát	14 dBm	14 dBm
Điều chế	LoRa	LoRa
Hệ số trải phổ (SF)	12	12
Tốc độ mã hóa (CR)	4/8	4/8

Chip LoRa được sử dụng là SX1276 của Semtech. Đây là chuẩn sử dụng chirp trải phổ làm điều chế để truyền tín hiệu với khoảng cách xa trong băng 868 MHz.

Hệ số trải phổ SF xác định số lượng tín hiệu chirp khi mã hóa tín hiệu được điều chế tần số (chipped signal) của dữ liệu. Ví dụ nếu SF=12 có nghĩa là 1 mức logic của tín hiệu chirp được điều chế sẽ được mã hóa bởi 12 xung tín hiệu chirp.

Đối với các hệ thống mạng không dây thông thường yêu cầu tỷ lệ lỗi bit BER phải nhỏ hơn  $10^{-3}$ . Hình 3 cho thấy hệ số trải phổ SF càng cao thì đường cong BER càng dốc hơn. Tại SNR=-20dBm, ta thấy xác suất lỗi bit BER của các hệ số trải phổ SF tăng dần từ SF12 đạt giá trị nhỏ nhất (khoảng  $10^{-5.5}$ ) và SF7 có BER lớn nhất (xấp xỉ 1).



Hình 3. BER theo các giá trị SF khác nhau với kênh truyền vô tuyến sử dụng LoRa [2]

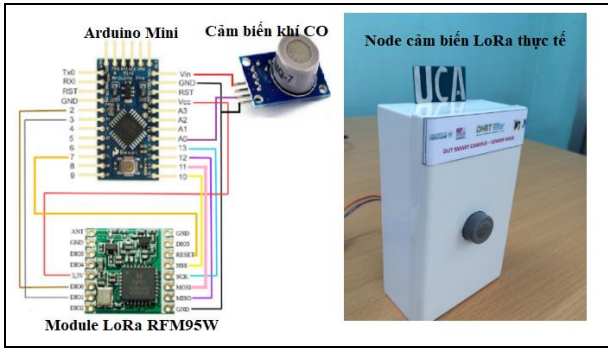
Hệ số trải phổ SF=12 thường được dùng cho các thiết bị ở xa Gateway hoặc bị che chắn bởi tường hoặc tòa nhà. SF=7 thường sử dụng cho các thiết bị gần Gateway. Vì vậy với ứng dụng cho IoT tầm xa này, nhóm tác giả chọn giá trị SF=12 để đảm bảo được tỷ lệ lỗi bit BER cho mạng LoRa.

LoRa sử dụng ba băng thông BW là 125kHz, 250kHz và 500kHz. Nếu băng thông càng rộng thì thời gian mã hóa tín hiệu càng ngắn, từ đó thời gian truyền dữ liệu cũng giảm xuống nhưng đổi lại khoảng cách truyền cũng ngắn lại. Vì các dữ liệu từ cảm biến không đòi hỏi băng thông lớn mà cần truyền với khoảng cách xa nên BW=125 kHz được chọn trong mô hình thử nghiệm này.

CR là số lượng bit được tự thêm vào trong trọng tải của gói tin LoRa, bởi LoRa chipset để mạch nhận có thể sử dụng để phục hồi lại một số bit dữ liệu nhận sai và từ đó phục hồi được nguyên vẹn dữ liệu trong tải trọng. Do đó, sử dụng CR càng cao thì khả năng nhận dữ liệu đúng càng tăng, nhưng bù lại chip LoRa sẽ phải gửi nhiều dữ liệu hơn và có thể làm tăng thời gian truyền dữ liệu trong không khí.

2.3. LoRa Sensor Node

LoRa Sensor Node: node cảm biến truyền bằng công nghệ không dây LoRa sử dụng module Lora RFM95W, truyền dữ liệu khí CO về Gateway.



**Hình 4.** Sơ đồ kết nối và hình ảnh thực tế của LoRa node

Hình 4, mô tả sơ đồ kết nối của LoRa Sensor Node. Module cảm biến khí CO lấy nguồn từ Arduino Mini Pro với chân VCC và GND tương ứng. Module có hai chân dữ liệu Digital và Analog, nhưng ở đây ta chọn chân Analog của module và kết nối với chân Analog 0 đầu vào cho Arduino chuyển đổi tín hiệu điện thành dữ liệu khí CO để cung cấp cho quá trình xử lý ở Gateway.

Anten LoRa đã được in trên mạch PCB được thiết kế bởi Trường Đại học Université Côte d'Azur (UCA), tần số cộng hưởng của Anten có thể điều chỉnh từ 845-9550MHz.

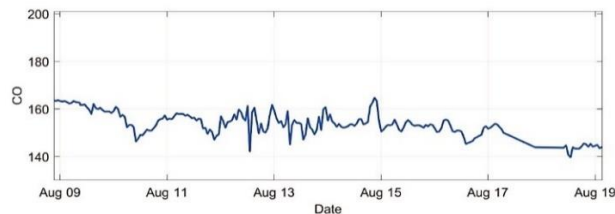
#### 2.4. Xây dựng khối Webserver

Khối server được xây dựng dựa trên nền tảng NodeJS hoạt động trên cloud của Amazon Web Service (AWS). Nhiệm vụ của khối server là nhận dữ liệu và phân tích đánh giá các gói dữ liệu truyền về từ Gateway thông qua giao thức MQTT.

### 3. Kết quả và đánh giá hiệu năng hoạt động của mạng LoRa với ứng dụng IoT tầm xa

#### 3.1. Dữ liệu nhận được với SF và BW khác nhau

Dữ liệu khí CO ở Hình 5 được thu thập từ các khu vực tại thành phố Đà Nẵng. Kết quả được thực hiện tại khoảng cách xa nhất và tỷ lệ mất gói dữ liệu dưới 10% với hệ số trải phổ (SF) và băng thông (BW) khác nhau được thể hiện ở Bảng 2. Số liệu tại Bảng 2 thể hiện, việc tăng khoảng cách phụ thuộc vào việc giảm BW hoặc tăng SF, bởi vì BW càng nhỏ và SF càng cao có thể làm tăng đáng kể độ nhạy. Tuy nhiên, điều này sẽ làm giảm tốc độ dữ liệu và dẫn tới tăng độ trễ truyền đi.



**Hình 5.** Dữ liệu khí CO thu được từ LoRa node

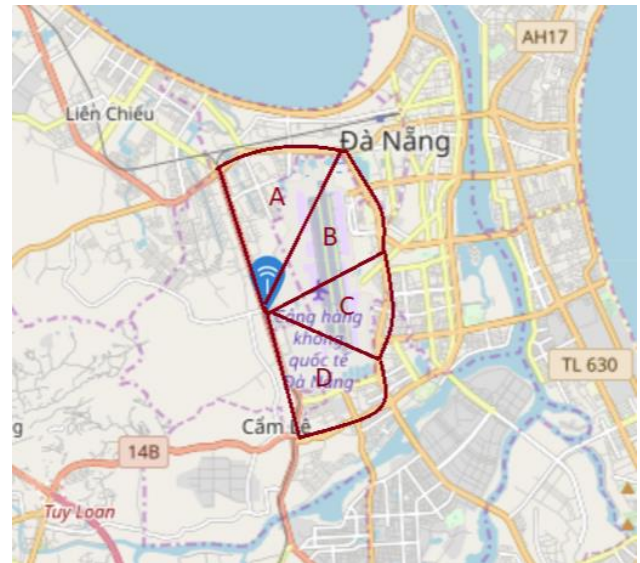
Ngoài việc LoRa có phạm vi phủ sóng rộng và mức tiêu thụ năng lượng thấp, độ trễ quá trình truyền cũng được tính đến trong hệ thống IoT. Vì lý do này và dựa vào kết quả ở Bảng 2, SF=7 và BW=125kHz được sử dụng trong hệ thống mạng LoRa của nhóm tác giả để tạo sự cân bằng tối ưu hệ thống IoT vừa đảm bảo khoảng cách truyền nhận và đảm bảo được độ trễ không quá cao.

**Bảng 2.** Kết quả vùng phủ sóng với SF và BW khác nhau

SF	BW (kHz)	Khoảng cách đạt dưới 10% tỷ lệ mất gói dữ liệu (m)
7	125 kHz	2612-2988
	250 kHz	2514-2870
9	250 kHz	3150-3345
11	250 kHz	3940-4150

#### 3.2. Khoảng cách truyền và tỷ lệ lỗi

Để đánh giá khoảng cách truyền và tỷ lệ lỗi, Gateway được cấu hình như thông số Bảng 1 và được đặt ở vị trí được đánh dấu màu xanh như Hình 6. LoRa sensor node được di chuyển trong các khu vực A, B, C, D. Khu vực A có nhiều tòa nhà cao tầng với chiều cao trung bình 80 m. Ở khu vực B và C là khu vực sân bay với khoảng cách gần như nhau và có ít vật cản. Khu vực D có nhiều nhà cao tầng với chiều cao trung bình 100m cao hơn so với khu vực A.



**Hình 6.** Các khu vực kiểm thử hoạt động của mạng LoRa

Kết quả ở Bảng 3 cho thấy, tỷ lệ mất gói dữ liệu ở khu vực C chỉ 1,6%, lý do là có khá ít vật cản trong quá trình truyền ở khu vực C.

**Bảng 3.** Tỷ lệ mất gói dữ liệu tại các khu vực khác nhau

Khu vực	Khoảng cách trung bình tới Gateway (m)	Số gói dữ liệu bị mất	Tổng số gói dữ liệu	Tỷ lệ mất gói dữ liệu
A	3350	759	1200	63,25%
B	2960	60	1200	5%
C	2300	19	1200	1,6%
D	3150	247	1200	20,56%

Có 5% tỷ lệ gói dữ liệu bị mất ở khu vực B, cao hơn so với khu vực C. Mặc dù khoảng cách ở khu vực B lớn hơn so với khu vực C. Điều đó cho thấy ảnh hưởng của vật cản trên đường truyền lớn hơn nhiều so với khoảng cách đường truyền. Ở khu vực A và D, 63,25% và 20,56% là tỷ lệ mất gói dữ liệu tương ứng. Tỷ lệ mất gói dữ liệu cao ở 2 khu vực này có thể do việc bị chắn bởi nhiều nhà cao tầng.

Kết quả trên cũng cho thấy, hệ thống mạng IoT dựa trên công nghệ mạng không dây LoRa hoạt động tốt trong

khoảng 2km. Và hiệu quả của công nghệ không dây LoRa cũng bị tác động bởi môi trường xung quanh bao gồm các tòa nhà cao tầng, cây cối, ... Vì vậy những nhân tố này nên được tính đến khi triển khai thực hiện mạng không dây LoRa cho hệ thống IoT.

### 3.3. So sánh hiệu năng hoạt động

Từ các kết quả trên, nhóm tác giả đưa thêm vài số liệu minh họa để so sánh hiệu năng hoạt động giữa công nghệ LoRa và các công nghệ không dây phổ biến khác sử dụng trong lĩnh vực IoT như Bluetooth, ZigBee, Wi-Fi được thể hiện ở Bảng 4 [8].

Số liệu ở Bảng 4 cho thấy, công nghệ LoRa rất phù hợp với các ứng dụng tầm xa khi vùng phủ sóng đạt được từ 3 – 15 km và mức tiết kiệm năng lượng cao với dòng tiêu thụ định chỉ 28 mA so với các giao thức không dây còn lại. Khoảng cách hoạt động xa và tiết kiệm năng lượng có thể coi là ưu điểm lớn nhất của công nghệ không dây LoRa mang lại nhờ vào công nghệ điều chế CSS (Chirp spread spectrum). Tốc độ bit của công nghệ LoRa là thấp nhất, chính điều này mạng LoRa lại rất thích hợp để truyền tải các dữ liệu như tín hiệu điều khiển, dữ liệu cảm biến trong các ứng dụng IoT và không thích hợp cho việc truyền tải dữ liệu lớn như hình ảnh hay video. Ngoài ra, số lượng thiết bị đầu cuối kết nối tối đa 10,000 node đủ để triển khai các mô hình không dây số lượng lớn với LoRa.

**Bảng 4.** So sánh giữa các giao thức không dây trong IoT [8]

	Bluetooth	ZigBee	Wi-Fi	LoRa
<b>Thiết bị đầu cuối tối đa</b>	255	Hơn 64000	Phụ thuộc vào số địa chỉ IP	10000
<b>Dòng tiêu thụ định</b>	30 mA	30 mA	100 mA	28 mA
<b>Vùng phủ sóng</b>	10 m	10 -100 m	100 m	3-15 km
<b>Tốc độ bit</b>	1 Mbps	250 kbps	11 Mbps và 55 Mbps	5.5 kbps
<b>Công nghệ điều chế</b>	FHSS (Frequency Hopping Spread Spectrum)	DSSS (Direct Spread Spectrum Sequence)	OFDM (Orthogonal Frequency Division Multiplexing)	Chirp spread spectrum (CSS)

Bảng 4 có thể thấy, công nghệ LoRa đã khắc phục được những hạn chế của các công nghệ không dây hiện tại trong lĩnh vực IoT, mang lại một hướng đi mới tiềm năng trong việc triển khai các mạng không dây với vùng phủ sóng rộng và tiết kiệm năng lượng.

## 4. Kết luận

Bài báo đã trình bày việc đánh giá công nghệ không dây LoRa mới cho hệ thống IoT cơ bản mới được nghiên cứu

và thử nghiệm trong một vài năm gần đây. Công nghệ này được phát triển để hứa hẹn sẽ mang lại nhiều hiệu quả hiệu năng hơn so với các mạng không dây diện rộng công suất thấp LPWAN trước kia. Có thể thấy, với việc sử dụng công nghệ không dây LoRa vào IoT hứa hẹn một hệ thống công suất thấp nhưng vẫn truyền được với khoảng cách xa. Tuy nhiên, LoRa là một mạng còn khá mới, nên các yêu cầu về bảo mật và QoS chưa được hoàn thiện. Trong tương lai nhóm tác giả sẽ tập trung thiết kế mạng LoRa tự thích nghi để tối ưu hiệu suất, khi môi trường thay đổi, có thể tốt hơn hay xấu hơn, thông số của mạng LoRa như SF hay BW có thể tự động thay đổi để khoảng cách truyền và tỷ lệ mất gói dữ liệu có thể được tối ưu.

**Lời cảm ơn:** Nhóm nghiên cứu xin gửi lời cảm ơn tới Trường Đại học Université Côte d'Azur (UCA) đã hỗ trợ PCB và chip LoRa SX1276 trong quá trình thực hiện. Bài báo này được tài trợ bởi Trường Đại học Bách khoa – Đại học Đà Nẵng với đề tài có mã số: T2018-02-11 và T2018-02-52.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Eyuel D. Ayele, Chiel Hakkenberg, Jan Pieter Meijers, Kyle Zhang, Nirvana Meratnia, Paul J.M. Havinga, Performance Analysis of LoRa Radio for an Indoor IoT Application, 2017 International Conference on Internet of Things for the Global Community (IoTGC), 10-13 July 2017.
- [2] Phí Thị Thu, *Phân tích và đánh giá hiệu năng mạng vô tuyến công suất thấp cự ly xa LPWAN*, Học viện công nghệ bưu chính viễn thông, Năm 2017.
- [3] Davide Magrin, Marco Centenaro, and Lorenzo Vangelist, Performance Evaluation of LoRa Networks in a Smart City Scenario, *IEEE ICC 2017 SAC Symposium Internet of Things Track*, 21-25 May 2017.
- [4] M. C. Bor, U. Roedig, T. Voigt, and J. M. Alonso, "Do LoRa low-power wide-area networks scale?" in *Proceedings of the 19th ACM International Conference on Modeling, Analysis and Simulation of Wireless and Mobile Systems*, ser. MSWiM '16. New York, NY, USA: ACM, 2016, pp. 59–67.
- [5] Andrew J Wixted, Peter Kinnaird, Hadi Larjani, Alan Tait, Ali Ahmadinia, Niall Strachan, Evaluation of LoRa and LoRaWAN for wireless sensor network, *2016 IEEE Sensors*, 30 Oct.-3 Nov. 2016.
- [6] Rizzi, M., Ferrari, P., Flammini, A., & Sisinni, E. (2017). Evaluation of the IoT LoRaWAN Solution for Distributed Measurement Applications. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 66(12), 3340–3349. doi:10.1109/tim.2017.2746378.
- [7] Feltrin, L., Buratti, C., Vinciarelli, E., De Bonis, R., & Verdone, R. (2018). LoRaWAN: Evaluation of Link- and System-Level Performance. *IEEE Internet of Things Journal*, 5(3), 2249–2258. doi:10.1109/jiot.2018.2828867
- [8] Noreen, U., Bounceur, A., & Clavier, L. (2017). A study of LoRa low power and wide area network technology. *2017 International Conference on Advanced Technologies for Signal and Image Processing (ATSIP)*. doi:10.1109/atsip.2017.8075570

(BBT nhận bài: 12/9/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 26/11/2018)