

# XÂY DỰNG VÀ NÂNG CAO HIỆU NĂNG CỦA HỆ THỐNG LORA/LORAWAN TRONG CÁC ĐIỀU KIỆN MÔI TRƯỜNG THỰC TẾ

Võ Văn Hoàng<sup>1</sup>, Phan Thị Lan Anh<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trường Đại học Công nghệ Thông tin Và Truyền Thông Việt - Hàn, Đại học Đà Nẵng

vvhoang.19ce@vku.udn.vn

**Tóm tắt.** Công nghệ điều chế (Radio Frequency Long-range) RF LoRa đã được phát triển để đáp ứng nhu cầu của các mạng diện rộng công suất thấp (Low-Power Wide-Area Network) LPWAN, đặc biệt trong các ứng dụng (Internet of Things) IoT cần khả năng trao đổi dữ liệu ở khoảng cách xa và tiêu thụ năng lượng thấp. Trong bài báo này, nhóm tác giả đã đề xuất thiết kế LoRaWAN Gateway 1 kênh với chi phí thấp hơn so với các LoRaWAN Gateway đa kênh khác đang có trên thị trường. Điều này giúp cho các bạn sinh viên dễ dàng tiếp cận với công nghệ LoRa nói riêng và thiết kế linh kiện điện tử nói chung. Nhóm tác giả tiến hành thực nghiệm khảo sát các thông số đánh giá hiệu năng của hệ thống như (Received Signal Strength Indication) RSSI, (Signal to Noise Ratio) SNR ở khu vực Trường Đại học Công nghệ Thông tin & Truyền thông Việt Hàn. Kết quả thực nghiệm cho thấy, ở khoảng cách 50 mét giá trị SNR = 6,59 dB và RSSI = -15,9 dBm, hệ thống có khả năng truyền nhận tín hiệu giữa LoRaWAN Gateway và End-node ở mức cao và ít bị nhiễu.

**Từ khoá:** LoRa, LoRaWAN, LoRaWAN Gateway 1 kênh, IoT, LPWAN.

## 1 Giới thiệu

IoT là mạng lưới kết nối các thiết bị vật lý, cảm biến và đối tượng khác thông qua internet, không cần sự tham gia của con người [1]. Dự kiến đến năm 2025, số lượng thiết bị thông minh kết nối internet sẽ tăng lên đến 75 tỷ thiết bị, gấp ba lần so với năm 2019 [2]. Để hỗ trợ cho việc kết nối các thiết bị trong mạng IoT, giao thức mạng diện rộng công suất thấp LPWAN đã trở thành một trong những công nghệ quan trọng. LPWAN là tập hợp các công nghệ không dây như LoRa, NB-IoT, và SigFox, v.v. Các thiết bị IoT có thể truyền tải các gói tin kích thước từ 10 bytes đến 1000 bytes lên tới tốc độ uplink 200Kb/giây, với phạm vi hoạt động của công nghệ LPWAN có thể thay đổi từ vài km ở khu vực thành thị đến hơn 10 km ở khu vực nông thôn và thời gian sử dụng pin kéo dài [3].

LoRa là công nghệ điều chế cho mạng diện rộng, công suất thấp LPWAN được sử dụng để truyền các gói dữ liệu nhỏ (từ 0,3 kbps đến 50 kbps) đến các thiết bị nhận trong khoảng cách xa (lên tới 10km - 15km ở nông thôn và 2km - 5km trong đô thị), hoạt động trong dải tần miễn phí (863 MHz - 870 MHz và 433MHz ở Châu Âu, 902

MHz - 928 MHz ở Châu Mỹ, 779 MHz - 787 MHz ở Trung Quốc, ...) [4, 5]. LoRaWAN là một chuẩn kết nối mạng IoT sử dụng công nghệ LoRa cung cấp các tính năng như quản lý truy cập phương tiện, bảo mật, quản lý mạng, quản lý các thiết bị đầu cuối, v.v được phát triển và duy trì bởi liên minh LoRa [5]. Do tính tiện lợi, tiết kiệm chi phí, tiêu thụ năng lượng thấp, v.v. LoRaWAN được các nhà nghiên cứu quan tâm và phát triển [6] trong nhiều ứng dụng thực tế ngày nay như [7, 8]. Tiêu biểu, một nhóm tác giả [8] đã đề xuất xây dựng mô hình LoRaWAN để giám sát nhiệt độ và độ ẩm với Gateway và End-node sử dụng ESP32. Tuy nhiên, nghiên cứu này còn hạn chế vì giới hạn cấu hình của ESP32 và The Things Network không còn hỗ trợ cho Gateway 1 kênh [9].

Việc ứng dụng Gateway 1 kênh trong mạng LoRaWAN là một giải pháp phù hợp cho các ứng dụng một chiều, trong đó dữ liệu chỉ được truyền từ Node tới Gateway. Gateway 1 kênh có nhiều ưu điểm như: Đơn giản và dễ triển khai, tiết kiệm chi phí, khả năng mở rộng linh hoạt, khả năng chịu lỗi cao hơn so với các loại gateway đa kênh [10].

Trong bài báo này, nhóm tác giả đề xuất thiết kế và xây dựng mô hình mạng LoRaWAN bao gồm LoRaWAN Gateway 1 kênh được trang bị Raspberry Pi 4B để đảm bảo khả năng xử lý số lượng tác vụ lớn. Dữ liệu thu thập từ các End-node sẽ được truyền về LoRaWAN Gateway thông qua sóng LoRa và được xử lý bởi Chirpstack Network Server. Sau đó, dữ liệu sẽ được truyền đến ứng dụng Thingsboard Cloud Platform để trực quan hóa và phân tích. Nhóm tác giả tiến hành thực hiện khảo sát và đánh giá hiệu năng của mô hình mạng LoRaWAN trong phạm vi 400 mét tại khu vực Trường Đại học Công nghệ Thông tin & Truyền thông Việt Hàn.

## 2 Cơ sở lý thuyết

### 2.1 Kiến trúc phân lớp trong LoRaWAN

Kiến trúc phân lớp trong mạng LoRaWAN được miêu tả chi tiết như Hình 1. LoRaWAN là một giao thức mạng mở, được Liên minh LoRa chuẩn hóa và duy trì, cung cấp các dịch vụ liên lạc hai chiều, di động và bản địa hóa an toàn [5]. Giao thức LoRaWAN bao gồm các lớp như sau:

- **Lớp Vật lý (Physical Layer - PHY):** Đây là lớp thấp nhất trong kiến trúc phân lớp của LoRaWAN, quản lý các thông số vật lý như tần số, công suất và băng thông. Lớp này sử dụng công nghệ điều chế LoRa để truyền tải dữ liệu với khoảng cách xa và tiêu thụ năng lượng thấp.
- **Lớp Điều khiển truy cập vào phương tiện truyền (Medium Access Control - MAC):** Quản lý truy cập phương tiện truyền thông và đảm bảo tính toàn vẹn dữ liệu bằng cách sử dụng mã hóa và khóa. Lớp MAC cũng điều chỉnh tốc độ truyền dữ liệu, định thời truyền và kiểm soát luồng dữ liệu.
- **Lớp Ứng dụng (Application Layer):** Lớp cao nhất trong kiến trúc phân lớp của LoRaWAN, chứa các giao thức ứng dụng và cung cấp các dịch vụ ứng dụng cho các thiết bị kết nối mạng LoRaWAN. Các ứng dụng này có thể bao gồm giám sát

môi trường, đo lường nhiệt độ và độ ẩm, theo dõi vị trí, điều khiển từ xa và nhiều ứng dụng khác.

Thông qua việc phân lớp LoRaWAN, các thiết bị đầu cuối có thể gửi và nhận các thông điệp với độ tin cậy cao và tiết kiệm năng lượng, tăng tính ổn định và hiệu quả của mạng truyền thông [4, 5].

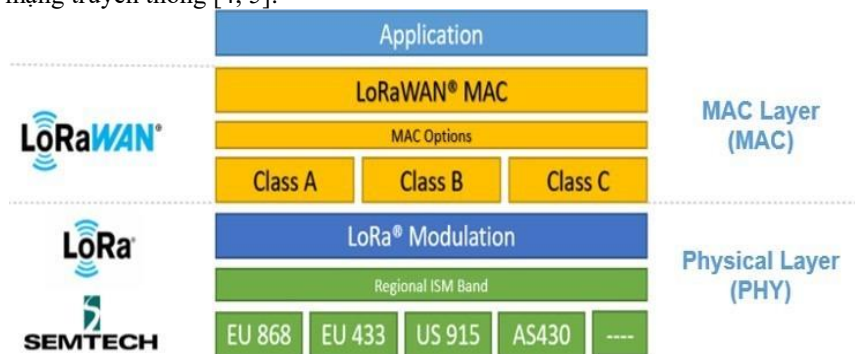


Fig. 1. Kiến trúc phân lớp công nghệ LoRaWAN

## 2.2 Điều chế và giải điều chế

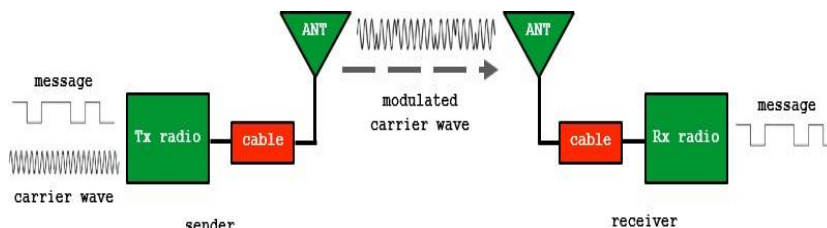


Fig. 2. Quá trình truyền tải dữ liệu trong LoRa

LoRa sử dụng kỹ thuật điều chế Chirp Spread Spectrum (CSS). CSS là một kỹ thuật điều chế mà tần số sóng mang tăng dần hoặc giảm dần trong suốt thời gian truyền tải. Tần số sóng mang tăng hoặc giảm dần được gọi là chirp. Kỹ thuật này cho phép LoRa truyền tải dữ liệu ở tốc độ thấp, nhưng với khoảng cách truyền tải rất xa, tiêu tốn rất ít năng lượng. Giải điều chế LoRa thực hiện việc phân tích chirp của tín hiệu và trích xuất dữ liệu từ tín hiệu đó được minh họa ở Hình 2. Việc phân tích chirp này cho phép giải mã dữ liệu ở khoảng cách xa và với mức độ chính xác cao [4, 11].

Kỹ thuật FEC (Forward Error Correction) cải thiện độ tin cậy trong truyền tải dữ liệu, giảm khả năng dữ liệu bị mất hoặc bị nhiễu do tác động của môi trường xung quanh. Trong quá trình điều chế, FEC được sử dụng để mã hóa dữ liệu trước khi truyền đi, trong đó mã hóa Hamming và mã hóa BCH là hai phương pháp thông dụng được sử dụng để mã hóa dữ liệu trong LoRa. Trong quá trình giải điều chế, FEC được sử dụng để giúp phát hiện và sửa chữa lỗi dữ liệu. Việc sử dụng FEC làm giảm tốc độ truyền tải dữ liệu, tuy nhiên đảm bảo rằng dữ liệu được chuyển tiếp với độ chính xác cao hơn [10, 11].

### 2.3 Hệ số trải phổ (SF – Spreading Factor)

Hệ số trải phổ (SF) là tỷ lệ giữa tốc độ ký hiệu (symbol rate) và tốc độ chip (chip rate). Hệ số trải phổ tỷ lệ thuận với SNR, độ nhảy, phạm vi truyền tin, và thời gian phát sóng của gói tin (packet) [4]. Số lượng chips trên mỗi symbol được tính là  $2^{\text{SF}}$ . Ví dụ: SF = 7 thì có 127 chips/symbol được sử dụng [10, 11].

### 2.4 RSSI và SNR

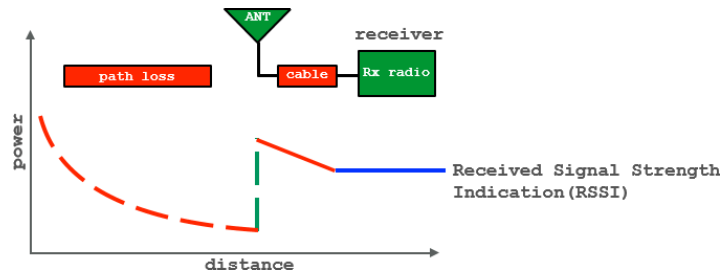


Fig. 3. Minh họa RSSI trong LoRa

RSSI được minh họa ở Hình 3 và đo bằng dBm. Giá trị RSSI sử dụng để đo mức độ "nghe" tín hiệu của người nhận từ người gửi. Phạm vi giá trị RSSI thường dao động từ -120 dBm (tín hiệu yếu) đến -30 dBm (tín hiệu mạnh) và giá trị càng gần 0 thì tín hiệu càng tốt [10]. Công thức tính toán giá trị RSSI trong truyền thông LoRa được mô tả bởi như sau:

$$RSSI \text{ (dBm)} = P_o - 10 \log_{10} \left( \frac{4\pi d}{\lambda} \right) \quad (1)$$

Trong đó,  $P_o$  là công suất phát ban đầu (mW),  $d$  là khoảng cách giữa thiết bị phát và thiết bị thu (mét),  $\lambda$  là bước sóng của tín hiệu (mét).

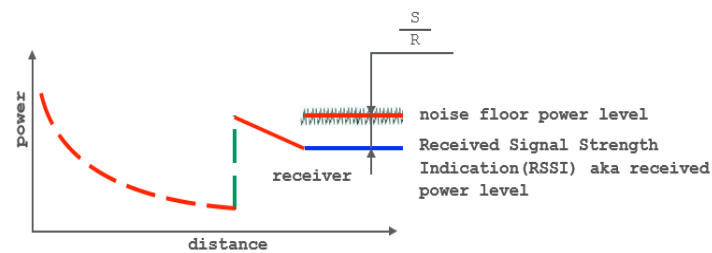
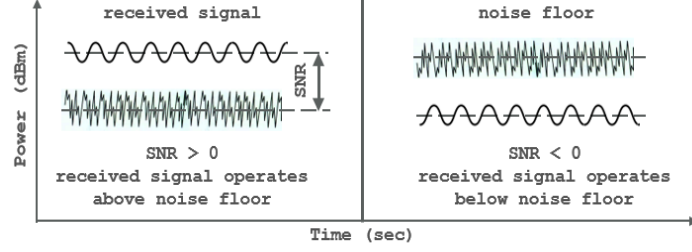


Fig. 4. Minh họa SNR trong LoRa



**Fig. 5.** Mức tín hiệu LoRa hoạt động so với nhiễu nền

SNR là tỷ lệ giữa tín hiệu công suất nhận được và công suất nhiễu nền, được minh họa ở Hình 4. Nhiễu nền (noise floor) là một khu vực của tất cả các nguồn tín hiệu gây nhiễu không mong muốn như tín hiệu từ các thiết bị điện tử, tín hiệu từ sóng radio, và các tín hiệu khác có thể gây nhiễu và ảnh hưởng đến chất lượng truyền tải dữ liệu. Tuy nhiên, tín hiệu LoRa có thể hoạt động dưới mức nhiễu nền, được minh họa ở Hình 5. Giá trị SNR điển hình từ -20dB đến +10dB (tín hiệu nhận được ít bị hỏng hơn) [10]. Công thức tính toán giá trị SNR trong truyền thông LoRa được mô tả như sau:

$$SNR (dB) = 10 \log_{10} \left( \frac{P_S}{P_N} \right) \quad (2)$$

Trong đó,  $P_S$  là công suất tín hiệu (mW),  $P_N$  là công suất nhiễu (mW). Giá trị SNR càng cao, tín hiệu càng mạnh và chất lượng truyền thông càng tốt. Ngược lại, nếu SNR thấp hơn ngưỡng nhận dạng tín hiệu của thiết bị, tín hiệu sẽ không được nhận dạng và dữ liệu sẽ bị mất hoặc bị lỗi [11].

## 2.5 Thời gian truyền (ToA), tốc độ dữ liệu ( $R_b$ )

Khi tín hiệu được truyền từ thiết bị gửi (sender), cần mất một khoảng thời gian nhất định để tín hiệu đến được thiết bị nhận (receiver), thời gian này được gọi là Time On Air (ToA) trong truyền thông LoRa. ToA là thời gian tính từ lúc bắt đầu truyền tín hiệu đến khi tín hiệu đó được nhận đầy đủ bởi thiết bị nhận, bao gồm các phần: thời gian truyền tín hiệu (airtime), thời gian chờ giữa các gói tin, thời gian xử lý tại thiết bị nhận và thời gian truyền phản hồi (acknowledge) mô tả ở Hình 6. ToA là một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến hiệu suất truyền thông và tuổi thọ pin của thiết bị LoRa [10]. Thời gian truyền gói tin được tính bằng công thức sau:

$$T_{payload} = T_s * (8 + \max(\text{ceil} \left( \frac{8PL - 4SF + 28 + 16 - 20H}{4(SF - 2DE)} \right) (CR + 4), 0)) \quad (3)$$

Trong đó,  $T_s$  (thời gian biểu diễn cho mỗi symbol), PL (số lượng byte dữ liệu truyền đi), SF (hệ số trải phổ, có giá trị từ 7 đến 12), CRC (CRC được bật (enable = 1) hoặc tắt (disable = 0), với giá trị mặc định là 1), H (Header, được bật (enable = 0 [explicit]) hoặc tắt (disable = 1 [implicit]), với giá trị mặc định là 0), LowDataRateOptimize (enable = 1 hoặc disable = 0), CR (tỷ lệ mã hóa (coding rate) có giá trị là 1, 2, 3 hoặc 4, với giá trị mặc định là 1).



**Fig. 6.** Minh hoạ ToA trong LoRa

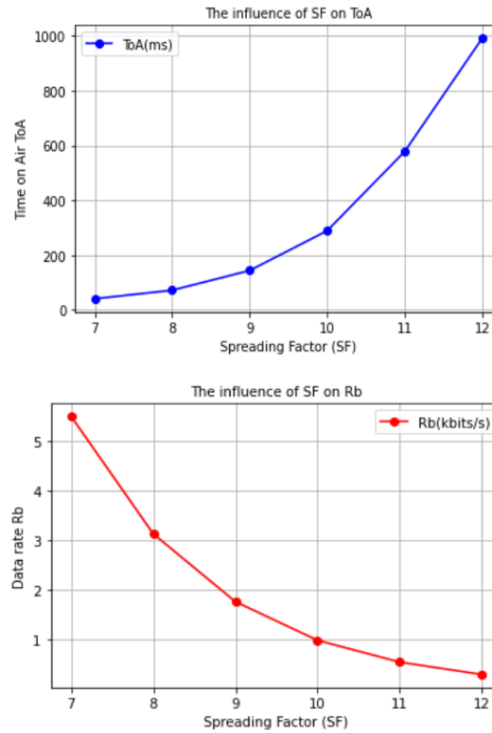
Tốc độ truyền dữ liệu (Data Rate) trong mạng LoRaWAN phụ thuộc vào băng thông và hệ số trải phổ (Spreading Factor). Hệ thống LoRaWAN cho phép sử dụng các kênh có băng thông tùy thuộc vào khu vực hoặc gói tần số. Hệ số trải phổ (SF) được chọn bởi thiết bị đầu cuối và ảnh hưởng đến thời gian cần thiết để truyền một khung (frame) [11]. Tốc độ truyền dữ liệu được tính bằng công thức sau:

$$R_b \left( \frac{\text{bits}}{\text{sec}} \right) = SF \times \frac{BW}{2^{SF}} \times \frac{4}{(4+CR)} \quad (4)$$

Trong đó, SF là hệ số trải phổ (7- 12), BW là băng thông (Hz), CR là tỷ lệ mã hoá biểu thị tỷ lệ các bit được truyền thực sự mang thông tin và số bit được thêm vào để sửa lỗi trong quá trình điều chế/giải điều chế (CR = 1, 2, 3 hoặc 4) [11].

## 2.6 Ảnh hưởng của SF đến Rb và ToA

Trong nghiên cứu này, nhóm tác giả đã sử dụng ngôn ngữ lập trình Python để mô phỏng và trực quan hóa tác động của hệ số trải phổ (SF) đến tốc độ truyền dữ liệu ( $R_b$ ) và thời gian truyền (ToA) trong mạng truyền thông LoRa. Để trình bày rõ hơn về sự tác động của SF đến  $R_b$ , các thông số được thiết lập với băng thông là 125kHz và Coding Rate (CR) là 1. Để phân tích tác động của SF đến ToA, các thông số được thiết lập với độ dài preamble là 8, explicit header được kích hoạt, CRC được kích hoạt, độ dài payload là 10 bytes, CR = 1 và băng thông là 125kHz. Giá trị SF được thay đổi tuần tự từ SF7 đến SF12.



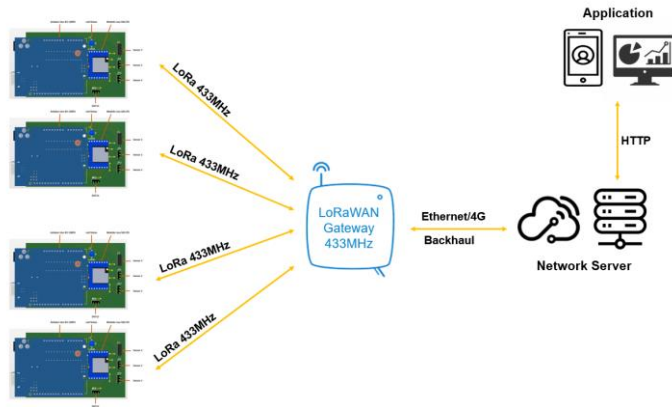
**Fig. 7.** Kết quả ảnh hưởng của SF đến Rb và ToA

Từ kết quả mô phỏng kết hợp với lý thuyết [10] đã chỉ ra rằng, khi SF càng lớn, khoảng cách truyền tin càng xa và khả năng gói tin bị lỗi sẽ giảm. Tuy nhiên, đồng thời cũng làm tăng thời gian truyền ToA và làm giảm tốc độ truyền gói tin, như được minh họa trong Hình 7.

Vì vậy, vấn đề này cần được chú ý để đảm bảo tính chính xác và đáng tin cậy của gói tin trong quá trình thực nghiệm LoRa. Thực tế cho thấy các SF lớn thường được ưu tiên sử dụng hơn các SF nhỏ trong mạng LoRa (trong phạm vi của bài báo này, nhóm tác giả đã sử dụng giá trị SF=9).

### 3 Thiết kế và xây dựng mô hình hệ thống mạng LoRaWAN

#### 3.1 Thiết kế mô hình mạng LoRaWAN



**Fig. 8.** Sơ đồ kết nối các khối trong LoRaWAN

Trong mô hình mạng LoRaWAN được đề xuất trong bài báo này, gồm có 4 khối chính được minh họa ở Hình 8:

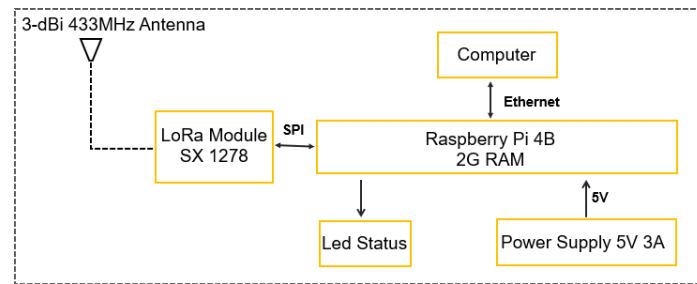
- **Khối End-node:** Là thiết bị đầu cuối thu thập dữ liệu từ các cảm biến và gửi gói tin dữ liệu tới LoRaWAN Gateway thông qua sóng LoRa. Khối End-node sử dụng board mạch LoRa của Semtech, vi điều khiển Atmega328P và các cảm biến để thu thập dữ liệu. Các gói được mã hóa và gửi đến LoRaWAN Gateway thông qua sóng LoRa.
- **Khối LoRaWAN Gateway 1 kênh 433MHz:** Là thiết bị đóng vai trò là cổng nối giữa End-node và Network Server. Khối LoRaWAN Gateway sử dụng máy tính nhúng mini Raspberry Pi 4B để xử lý dữ liệu từ các End-node và chuyển tiếp đến Chirpstack Network Server. Gateway thu nhận các gói tin dữ liệu từ End-node qua sóng LoRa, giải mã các gói tin dữ liệu và chuyển tiếp đến Network Server thông qua kết nối IP hoặc 3G/4G. Khối Gateway được đặt tại vị trí cao, giúp tối ưu hóa phạm vi truyền tải của mạng LoRaWAN.
- **Khối Network Server:** Là trung tâm quản lý của mạng LoRaWAN, khối Network Server tiếp nhận và phân tích các gói tin dữ liệu từ LoRaWAN Gateway và phân phối chúng đến ứng dụng cuối cùng. Trong mô hình này, Network Server sử dụng Chirpstack Network Server, một Network Server LoRaWAN mã nguồn mở phù hợp với mô hình được triển khai trong bài báo [12].
- **Khối ứng dụng:** Là khối cuối cùng trong hệ thống, khối ứng dụng nhận và xử lý dữ liệu từ Network Server và hiển thị chúng trực quan hóa thông qua nền tảng Thingsboard Cloud Platform [13]. Người dùng cuối sẽ tương tác trực tiếp với dữ liệu trong dạng trực quan hóa. Khối ứng dụng được liên kết với hệ thống Chirpstack Network Server thông qua giao thức HTTP.



**Table 1.** Thông số cấu hình LoRaWAN Gateway và End-Node

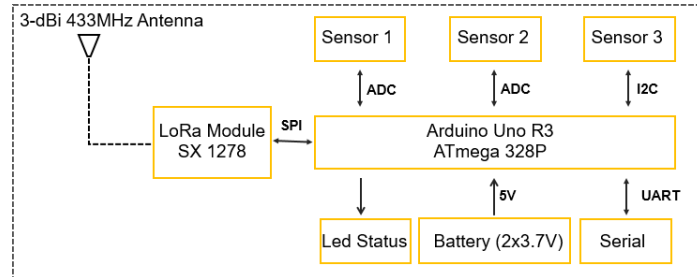
Thông số	Gateway	End-node
Module LoRa	LoRa-RA02	LoRa-RA02
LoRa Chip	Semtech SX1278	Semtech SX1278
Tần số	433175000 Hz	433175000 Hz
Băng thông (BW)	125kHz	125kHz
Công suất phát	14 dBm	14 dBm
Hệ số trải phổ (SF)	9	9
Tốc độ mã hoá (CR)	4/5	4/5

### 3.1.1 LoRaWAN Gateway.

**Fig. 9.** Sơ đồ khối LoRaWAN Gateway

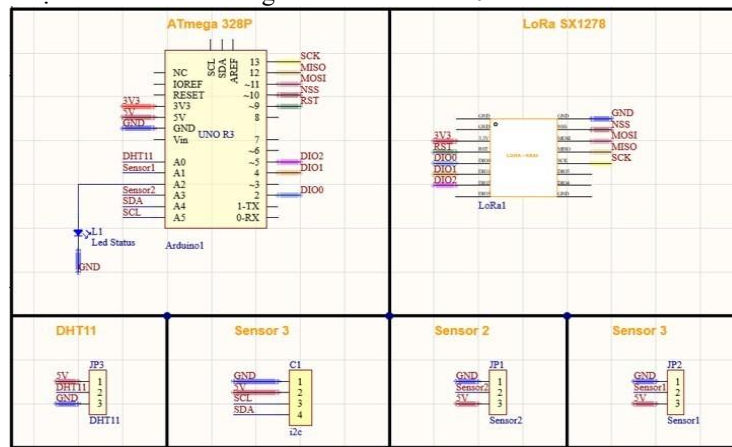
Gateway LoRaWAN được triển khai dựa trên yêu cầu của bài báo và sử dụng một máy tính nhúng mini Raspberry Pi 4B có dung lượng 2G RAM và thẻ nhớ 16GB để đảm bảo khả năng xử lý một lượng lớn các tác vụ đồng thời và đáp ứng yêu cầu thực tế của hệ thống. Raspberry Pi 4B được cấp nguồn điện 5V 3A và kết nối với máy tính thông qua cổng Ethernet. Gateway được kết nối với một module truyền nhận LoRa SX1278 có anten 3dBi và hoạt động ở kênh tần số 433175000 Hz, mô tả chi tiết trong sơ đồ khối Hình 9. Thiết lập của Gateway và các End-node LoRaWAN được cấu hình cụ thể như trong Bảng 1, nhằm đảm bảo sự tương thích và đồng bộ giữa các thành phần trong hệ thống.

### 3.1.2 LoRaWAN End-node



**Fig. 10.** Sơ đồ khối End-node

Khối phần cứng End-node được cấu hình với các thành phần sau: 1 bo mạch Arduino Uno R3 để điều khiển hoạt động của End- node, mô-đun LoRa SX1278 (cấu hình 433175000 Hz) để điều chế tín hiệu giao tiếp thông qua sóng LoRa và được kết nối với anten 3dBi để tăng khả năng truyền nhận tín hiệu, cảm biến DHT11 để giám sát nhiệt độ và độ ẩm không khí, cảm biến DS18B20 để giám sát nhiệt độ nước. End-node sử dụng nguồn điện 5V 1.5A. End-node có thể được mở rộng thêm 2 cảm biến 1 chân Output Data và 1 cảm biến giao tiếp thông qua I2C phù hợp với yêu cầu phát triển từng dự án cụ thể trong tương lai. Tất cả các thành phần và sơ đồ kết nối của End-node được mô tả chi tiết trong sơ đồ khối Hình 10 và sơ đồ schematic Hình 11.



**Fig. 11.** Sơ đồ schematic End-node

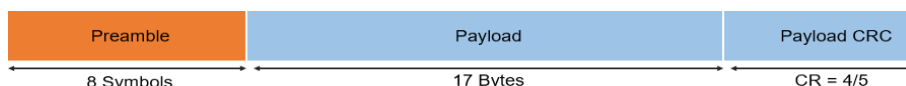
Trong phạm vi nghiên cứu, nhóm tác giả đã cấu hình 2 End- node với các thông số cụ thể như được thể hiện trong Bảng 1 để đảm bảo tính đồng bộ và tương thích với các thành phần khác trong hệ thống. Các thông số này bao gồm tần số hoạt động, băng thông, SF, CR, công suất phát tín hiệu.

### 3.2 Triển khai phần mềm

Mô hình triển khai được miêu tả trong Hình 8 trình bày cách các end-node thu thập và xử lý dữ liệu trước khi gửi chúng tới Gateway qua sóng LoRa. Các end-node sử dụng phương thức kích hoạt ABP (Activation by Personalization) để kết nối với mạng LoRaWAN. Mỗi end-node sẽ được cấu hình với các thông số như DevAddr (Device Address), AppSKey (Application Session Key) và NwkSKey (Network Session Key) riêng biệt. Khi gửi dữ liệu, gói tin sẽ có kích thước tối đa là 17 Bytes và được định dạng theo Implicit Header Mode, như được miêu tả trong Hình 12.

Gateway LoRaWAN sẽ nhận dữ liệu từ các end-node và chuyển tiếp chúng đến Network Server qua kết nối IP trong mạng LAN. Sau đó, Network Server sẽ xác thực, giải mã và chuyển tiếp dữ liệu tới ứng dụng phù hợp thông qua Application Server.

Dữ liệu được truyền tải đến Thingsboard Cloud dưới dạng JSON thông qua tính năng Chirpstack Integration trong Chirpstack Application Server, sử dụng giao thức HTTP. Tại phía Thingsboard Cloud, dữ liệu sẽ được giải mã (Decode) và hiển thị dưới dạng biểu đồ trực quan để người dùng có thể dễ dàng theo dõi các thông số cảm biến được thu thập từ các end-node.



**Fig. 12.** Định dạng gói tin theo Implicit Header Mode

## 4 Kết quả và đánh giá

### 4.1 Kết quả

Các dữ liệu quan trọng được thu thập từ các End-node bao gồm SNR (Signal-to-Noise Ratio), RSSI (Received Signal Strength Indicator), DevEUI (Device EUI), fCnt (frame counter), dữ liệu cảm biến như nhiệt độ, độ ẩm, nhiệt độ nước, cùng với vị trí Gateway. Các thông số này được trực quan hoá và hiển thị dưới dạng biểu đồ thời gian thực, với lịch sử hiển thị là 30 phút, cho phép người dùng dễ dàng theo dõi và đánh giá sự thay đổi của các thông số này. Các thông số SNR và RSSI được cập nhật ngay sau khi Thingsboard Cloud nhận được gói tin từ Network Server, có thể lưu trữ trong file csv hỗ trợ cho quá trình khảo sát và đánh giá như được mô tả trong Hình 13.

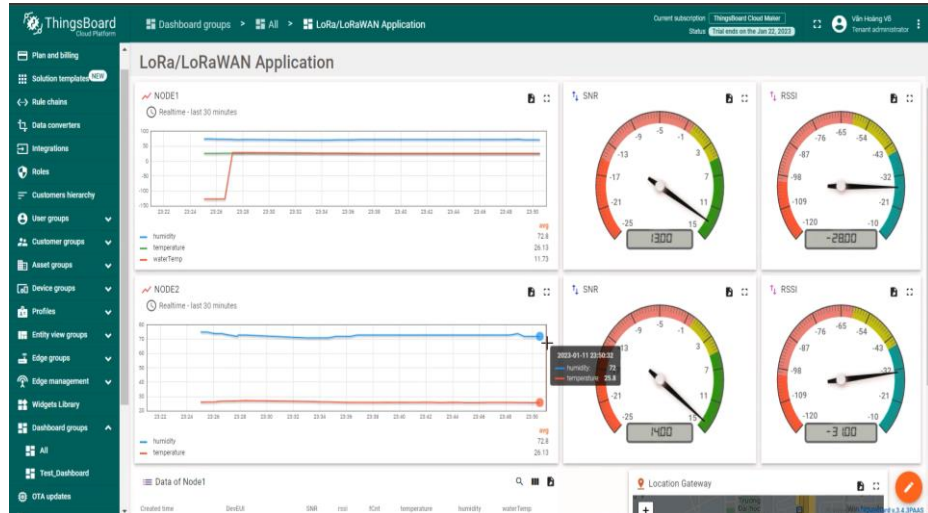


Fig. 13. Dữ liệu thu thập được trực quan hoá trên Thingsboard

## 4.2 Đánh giá mức ảnh hưởng của khoảng cách đến RSSI và SNR trong điều kiện thực tế

### 4.2.1 Phương pháp thực nghiệm

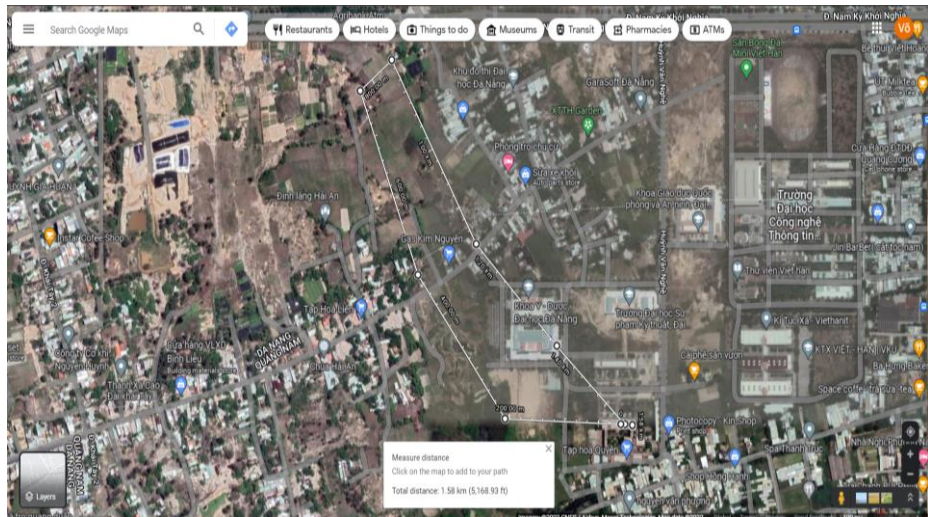


Fig. 14. Khu vực tiến hành khảo sát

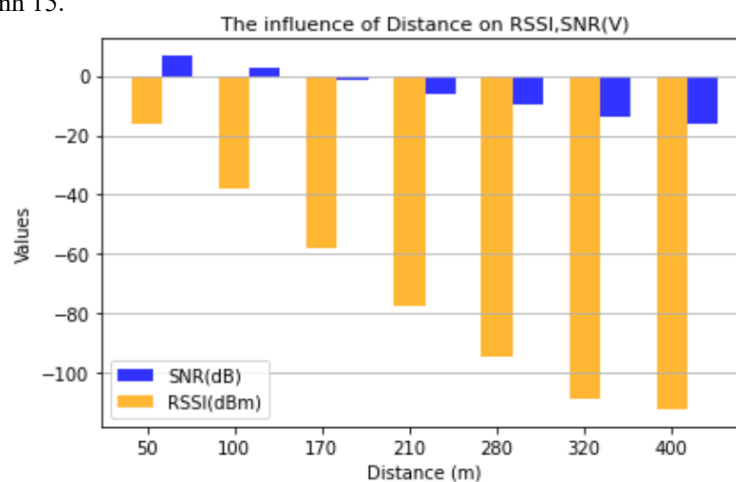
Trong thí nghiệm này, nhóm tác giả sẽ thực hiện việc thay đổi khoảng cách truyền thông giữa End-node và Gateway trong khu vực ít dân cư được phạm vi hóa như trong Hình 14 để đánh giá tác động của khoảng cách truyền thông đến các thông số

Signal-to-Noise Ratio (SNR) và Received Signal Strength Indicator (RSSI) của hệ thống mạng LoRaWAN. Thí nghiệm đã được tiến hành theo phương pháp sau:

- End-node gửi 90 gói tin tại mỗi điểm khoảng cách đến Gateway, với mỗi gói tin cách nhau 60 giây.
- End-node được đặt tuần tự ở các điểm khoảng cách khác nhau từ 50 mét đến 400 mét tính theo đường bay của chim bay.
- Các thông số cho Gateway và End-node đã được cấu hình như trong Bảng 1.
- Gateway đã được đặt tại sân thượng của Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông Việt - Hàn. Việc đặt Gateway ở vị trí trên cao nhằm giúp tăng khả năng thu thập dữ liệu từ các End-node trong phạm vi rộng hơn. Khi đặt Gateway ở vị trí cao, sóng truyền đi sẽ có khả năng lan rộng tốt hơn, giúp nâng cao độ phủ sóng và độ nhạy cảm của hệ thống LoRaWAN, từ đó giảm thiểu các vấn đề liên quan đến sự cản trở của các vật thể trong môi trường.
- Dữ liệu thu thập từ Gateway đã được truyền về và hiển thị trên Thingsboard Cloud. Sau khi thu thập đủ dữ liệu, nhóm tác giả sẽ tiến hành tổng hợp, tính toán giá trị trung bình của SNR và RSSI sau 90 lần ở mỗi khoảng cách. Phân tích dữ liệu, sử dụng Python để trực quan hoá dưới dạng đồ thị.

#### 4.2.2 Kết quả khảo sát

Sau quá trình thực nghiệm tại điều kiện thực tế, sử dụng phương pháp được miêu tả chi tiết trong mục 4.2.1. Kết quả cho thấy giá trị RSSI và SNR giảm đáng kể khi khoảng cách giữa Gateway và End-node tăng từ 50 mét đến 400 mét được trực quan hoá ở Hình 15.



**Fig. 15.** Biểu đồ mô tả sự thay đổi của RSSI và SNR trong phạm vi từ 50 mét đến 400 mét

Cụ thể, ở khoảng cách 50 mét, tổng giá trị trung bình sau 90 lần thu thập cho thấy  $SNR = 6,59$  dB và  $RSSI = -15,9$  dBm, biểu thị khả năng truyền nhận tín hiệu giữa Gateway và End-node ở mức cao, tín hiệu ít bị nhiễu (SNR tốt phổ biến ở mức 10

dB). Khả năng truyền nhận tín hiệu vẫn duy trì ở mức ổn định ở khoảng cách dưới 210 mét.

Tuy nhiên, khi khoảng cách tăng lên, cả hai thông số RSSI và SNR suy giảm đáng kể, xuất hiện hiện tượng mất gói tin hoặc gói tin bị lỗi. Cụ thể, tại khoảng cách 280 mét, mất gói dữ liệu đã bắt đầu xuất hiện. Tại khoảng cách này, SNR và RSSI là -9,58 dB và -94,42 dBm, số lần mất gói là 12 lần. Tại khoảng cách 320 mét, SNR và RSSI là -13,72 dB và -108,54 dBm, số lần mất gói là 21 lần. Tại khoảng cách 400 mét, SNR và RSSI là -15,86 dB và -112,06 dBm, số lần mất gói là 26 lần chiếm 28,8% tổng số gói tin thử nghiệm.

- Dựa trên nguyên lý hoạt động của hệ thống truyền thông LoRa [10, 11]. Sự suy giảm của thông số RSSI và SNR trong mô hình LoRaWAN được nhóm tác giả thiết kế và xây dựng bao gồm các nguyên nhân sau:
- Sự giảm dần của công suất tín hiệu khi tín hiệu phải truyền qua các vật cản như tường, cây cối hoặc các công trình xây dựng.
- Hiệu ứng đa đường (Multipath fading) gây ra sự giảm đáng kể của RSSI và SNR [10]. Hiện tượng này là do các tín hiệu phản xạ và đến Gateway đồng thời nhưng với độ trễ khác nhau, dẫn đến hiện tượng tín hiệu trùng lặp và mất sóng tạm thời.
- Ảnh hưởng của môi trường, trong đó tín hiệu nhiễu từ các thiết bị khác trong môi trường như sóng wifi, sóng điện thoại, sóng vô tuyến truyền hình và các thiết bị khác có thể làm giảm chất lượng tín hiệu LoRa.

## 5 Kết luận

Trong bài báo này, nhóm tác giả đã thiết kế và xây dựng mô hình LoRaWAN Gateway 1 kênh thành công, sau đó tiến hành khảo sát và đánh giá tín hiệu trong môi trường thực tế. Kết quả khảo sát cho thấy khoảng cách tốt nhất mà Gateway có thể đáp ứng là 210m. Kết quả này cho thấy rằng LoRaWAN Gateway 1 kênh có thể được áp dụng trong một số ứng dụng thực tế như nhà kính, giám sát cây trồng, vật nuôi hoặc những ứng dụng khác có khoảng cách truyền tải nhỏ hơn 210 mét.

Với sự phổ biến của công nghệ IoT và nhu cầu ngày càng tăng cao của việc giám sát từ xa, ứng dụng LoRaWAN là một giải pháp hữu ích để giải quyết các vấn đề này. Việc thiết kế LoRaWAN Gateway 1 kênh như nhóm tác giả đã trình bày cũng phù hợp với những người muốn tìm hiểu về LoRa/LoRaWAN. Kết quả khảo sát của nhóm tác giả cũng cho thấy rằng việc xây dựng một gateway LoRaWAN 1 kênh là khả thi và có thể đáp ứng nhu cầu của nhiều ứng dụng IoT. Ngoài ra, việc sử dụng LoRaWAN Gateway 1 kênh có chi phí thấp hơn so với việc sử dụng các Gateway đa kênh, vì vậy nó là một giải pháp phù hợp cho các dự án có ngân sách hạn chế.

## Tài liệu tham khảo

1. Kamal Gulati, Raja Sarath Kumar Boddu, Dhiraj Kapila, Sunil L. Bangare, Neeraj Chandnani, G. Saravanan, A review paper on wireless sensor network techniques in Internet of Things (IoT), Vols. 51, Part 1, 2022.

2. Statista, "Internet of Things (IoT) Connected Devices Installed Base Worldwide from 2015 to 2025," 10 October 2022. [Online]. Available: <https://www.statista.com/statistics/471264/iot-number-of-connected-devices-worldwide/>.
3. Editorial Team, "What is LPWAN?," Everything RF, 10 Jun 2020. [Online]. Available: <https://www.everythingrf.com/community/what-is-lpwan>.
4. L. D. Portal, "Overview, LoRa® and LoRaWAN®: A Technical," December 2019. [Online]. Available: [https://loradevelopers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa\\_and\\_LoRaWAN-A\\_Tech\\_Overview-Downloadable.pdf](https://loradevelopers.semtech.com/uploads/documents/files/LoRa_and_LoRaWAN-A_Tech_Overview-Downloadable.pdf). [Accessed January 2023].
5. LoRa Alliance®, [Online]. Available: [https://loralliance.org/resource\\_hub/rp2-101-lorawan-regional-parameters-2/](https://loralliance.org/resource_hub/rp2-101-lorawan-regional-parameters-2/). [Accessed November 2022].
6. W. Ayoub, A. E. Samhat, F. Nouvel, M. Mroue and J. -C. Prévotet,, "Internet of Mobile Things: Overview of LoRaWAN, DASH7, and NB-IoT in LPWANs Standards and Supported Mobility," IEEE Communications Surveys & Tutorials, vol. 21, pp. 1561-1581, 2019.
7. V. A. Vu, D. Cong Trinh, T. C. TRUVANT and T. Dang Bui,, "Design of automatic irrigation system for greenhouse based on LoRa technology," 2018 International Conference on Advanced Technologies for Communications (ATC), pp. 72-77, 2018.
8. José Paulo Lousado, Sandra Antunes, "Monitoring and Support for Elderly People Using LoRa Communication Technologies: IoT Concepts and Applications," Future Internet, 2020, vol. 12, 2020.
9. Bluejedi, "Single Channel Packet Forwarders (SCPF) are obsolete and not supported," The Things Network, October 2019. [Online]. Available: <https://www.thethingsnetwork.org/forum/t/single-channel-packet-forwarders-scpf-are-obsolete-and-not-supported/31117>. [Accessed January 2023].
10. Lie, "LoRa/LoRaWAN Tutorial," [Online]. Available: [https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan\\_quickguide\\_tutorial.html](https://www.mobilefish.com/developer/lorawan/lorawan_quickguide_tutorial.html). [Accessed January 2023].
11. Semtech, LoRa™ Modulation Basics, Semtech Corporation, 2015.
12. Brocaar, "The Chirpstack V3 Document," Chirpstack.io, [Online]. Available: <https://www.chirpstack.io/docs/v3-documentation.html>. [Accessed January 2023].
13. ThingsBoard, "ChirpStack Integration," [Online]. Available: <https://thingsboard.io/docs/user-guide/integrations/chirpstack/>. [Accessed January 2023].