

# HỆ THỐNG GIÁM SÁT VÀ CẢNH BÁO SỨC KHỎE TỪ XA THỜI GIAN THỰC ỨNG DỤNG IoT

## A REAL-TIME REMOTE HEALTH MONITORING AND WARNING SYSTEM USING IoT

Ngô Văn Tâm<sup>1\*</sup>, Nguyễn Đức Thiện<sup>1</sup>, Nguyễn Đình Luyện<sup>1</sup>, Huỳnh Nguyễn Bảo Phương<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường Đại học Quy Nhơn

\*Tác giả liên hệ: ngovantam@qnu.edu.vn

(Nhận bài: 27/01/2021; Chấp nhận đăng: 10/5/2021)

**Tóm tắt** - Ứng dụng IoT trong lĩnh vực sức khỏe đang thu hút nhiều sự quan tâm của cộng đồng học thuật và doanh nghiệp. Trong khuôn khổ bài báo này, nhóm tác giả nghiên cứu, thiết kế và triển khai hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa theo thời gian thực ứng dụng công nghệ IoT, đặc biệt là công nghệ LoRa (Long Range) kết hợp với nền tảng mã nguồn mở Thingsboard. Hệ thống đề xuất có khả năng thu thập dữ liệu về tình trạng sức khỏe của bệnh nhân (như nhịp tim, nồng độ oxy trong máu và tín hiệu điện tâm đồ), phân tích dữ liệu dựa trên thuật toán được tích hợp và đưa ra cảnh báo chính xác, phù hợp với tình trạng thực tế của bệnh nhân. Kết quả triển khai thử nghiệm và đối sánh với thiết bị y tế phổ biến trên thị trường cho thấy, hệ thống đề xuất của nhóm tác giả có độ tin cậy cao và hoàn toàn phù hợp với thực tiễn.

**Từ khóa** - IoT; Chăm sóc sức khỏe; LoRa; Nền tảng mã nguồn mở và thời gian thực

### 1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, với sự phát triển mạnh mẽ của cách mạng công nghiệp 4.0 và kết nối vạn vật IoT, việc ứng dụng công nghệ thông tin và truyền thông để hỗ trợ các dịch vụ y tế đang diễn ra một cách nhanh chóng, mạnh mẽ và ngày càng quan trọng đối với các quốc gia trên Thế giới nói chung và Việt Nam nói riêng. Điều này là hết sức cần thiết, đặc biệt là trong bối cảnh khi các hệ thống y tế đang phải đối mặt với những thách thức về nhu cầu ngày càng tăng của người dân đối với chất lượng dịch vụ y tế cũng như chi phí.

Thuật ngữ IoT được đề xuất lần đầu tiên vào năm 1999 bởi Kevin Ashton – nhà sáng lập trung tâm MIT Auto-ID [1]. Theo đó, IoT là một cơ sở hạ tầng mạng thông minh phân tán, mà trong đó, tất cả mọi “vật (things)” hoặc “đối tượng (objects)” được kết nối với nhau thông qua Internet nhằm thực hiện những nhiệm vụ từ đơn giản đến phức tạp theo các phương thức khác nhau [1, 2]. Với khả năng thu thập và trao đổi dữ liệu, IoT tác động lên tất cả các lĩnh vực của đời sống xã hội, đặc biệt là trong lĩnh vực y tế và chăm sóc sức khỏe. Việc triển khai IoT trong lĩnh vực chăm sóc sức khỏe mang lại những lợi ích:

- Tăng khả năng tham gia của bệnh nhân vào quá trình chăm sóc sức khỏe. Thông qua các ứng dụng và phần mềm, bệnh nhân có thể truy cập dữ liệu sức khỏe của bản thân như: Nhịp tim HR (Heart Rate), nồng độ oxy máu SpO<sub>2</sub>, điện tâm đồ ECG (Electrocardiogram) hay huyết áp,...;

- Cải thiện khả năng thu thập, lưu trữ, phân tích và đánh

**Abstract** - The application of Internet of Things (IoT) in the health domain is attracting much attentions from the academia and industry communities. In this paper, we design and deploy a remote healthcare monitoring and warning system in real-time based upon IoT technologies such as LoRa (Long Range) combined with the open source platform namely Thingsboard. The proposed system is capable of collecting data of patients' health (i.e., heart rate - HR, blood oxygen concentration - SpO<sub>2</sub> and Electrocardiogram - ECG signals), analyzing data based on integrated algorithms, and offering accurate warnings in accordance with the actual situation of the patients. Through testing results and comparing with popular certified medical devices on the market, our proposal system is highly reliable and completely suitable for practice.

**Key words** - Internet of Things (IoT); Healthcare; Long Range (LoRa); Open-source platform and Real-time

giá dữ liệu của bệnh nhân theo thời gian thực. Nhờ đó, nhân viên y tế có thể đưa ra phác đồ điều trị kịp thời, chính xác và phù hợp với tình trạng thực tế của bệnh nhân;

- Giảm thiểu chi phí khám chữa bệnh cho bệnh nhân thông qua việc triển khai thiết bị và phần mềm quản lý sức khỏe từ xa;

- Xây dựng cơ sở dữ liệu lớn và tập trung để nghiên cứu và phân tích chuyên sâu, hướng đến công tác ngăn chặn và kiểm soát bệnh tật trong tương lai.

Với nhu cầu ngày càng tăng trong việc triển khai các dịch vụ chăm sóc sức khỏe thông minh từ xa, nhiều thiết bị, hệ thống chăm sóc sức khỏe dựa trên sự kết hợp giữa IoT, dữ liệu lớn và trí tuệ nhân tạo đã được phát triển. Chẳng hạn, thiết bị chẩn đoán sức khỏe Apple Watch [3]; Miếng dán Zio Patch với kích thước nhỏ có khả năng đo chính xác nhịp tim và điện tâm đồ [4]; SleepBot [5]; Mydario [6]; Thiết bị xét nghiệm đông máu nhằm giảm nguy cơ đột quỵ hoặc chảy máu [7]. Một số hệ thống như Smart Healthcare có chức năng đo và phân tích huyết áp, nhịp tim, nhiệt độ và đưa ra cảnh báo nếu phát hiện các dấu hiệu bất thường [8]; Hệ thống We-care có thể phát hiện ngã, đo các dấu hiệu sinh tồn để gửi tới thiết bị giám sát và cảnh báo trong trường hợp khẩn cấp [9]. Trong nghiên cứu [10], các tác giả đề xuất giải pháp IoT y tế MIoT (Medical IoT) dựa trên công nghệ LoRa kết hợp với điện toán biên để thu thập dữ liệu tại bệnh viện và tại nhà. Tương tự, Wu và đồng sự đã đề xuất một hệ thống lai ghép dựa trên nền tảng điện toán biên, các routers có khả năng hỗ trợ kết nối BLE (Bluetooth Low Energy)/

<sup>1</sup> Quy Nhơn University (Ngo Van Tam, Nguyen Duc Thien, Nguyen Dinh Luyen, Huynh Nguyen Bao Phuong)

LoRa, và IoT gateway (hỗ trợ giao thức BLE, LoRa và Zigbee) để giám sát các tham số ECG và HR [11].

Tại Việt Nam, việc nghiên cứu, xây dựng và triển khai các hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa ứng dụng công nghệ IoT đang được chú trọng và có tiềm năng phát triển rất lớn. Tuy nhiên, số lượng nghiên cứu chưa nhiều. Nghiên cứu [12] đề xuất thiết bị đeo có khả năng đo nhiệt độ, nhịp tim, giám sát vận động của người cao tuổi và đưa ra cảnh báo hiện tượng ngã và địa điểm xảy ra ngã. Trong nghiên cứu [13], các tác giả xây dựng hệ thống tự động giám sát và chăm sóc sức khỏe từ xa cho người cao tuổi (nhiệt độ, nhịp tim, huyết áp), gửi dữ liệu tới website của bác sỹ và cảnh báo bằng tin nhắn SMS. TMA Innovation phát triển giải pháp hỗ trợ giám sát sức khỏe người cao tuổi – Elder Care sử dụng thiết bị đeo tay thông minh, ghi nhận chỉ số sức khỏe như nhịp tim, huyết áp, SpO2, điện tâm đồ ECG, số bước chân, chất lượng giấc ngủ [14].

Các hệ thống nêu trên cung cấp nhiều loại hình dịch vụ chăm sóc sức khỏe và nâng cao hiệu quả chăm sóc bệnh nhân. Tuy nhiên, vẫn còn tồn tại một số hạn chế chính:

- Hoạt động trên nền tảng riêng biệt, không đảm bảo tính tương thích với thiết bị cảm biến và hệ thống của các nhà sản xuất khác nhau;
- Chức năng giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa theo thời gian thực chưa được bổ sung kịp thời;
- Kiến trúc hệ thống tương đối phức tạp, độ tin cậy còn phụ thuộc nhiều vào hạ tầng mạng.

Để khắc phục một số hạn chế nêu trên, nhóm tác giả tiến hành nghiên cứu và thiết kế hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa theo thời gian thực ứng dụng công nghệ IoT, đặc biệt là công nghệ LoRa và WiFi. Hệ thống cho phép thu thập và giám sát một số chỉ số sinh học của bệnh nhân như HR, SpO2 và ECG. Đặc biệt, với sự hỗ trợ của giao thức Websocket, chức năng ECG không dây (ECG Wireless) được tích hợp vào hệ thống nhằm tự động hóa quy trình đo ECG tại các cơ sở y tế hay giúp cho người dùng đo ECG ngay tại nhà. Trên cơ sở phân tích dữ liệu, những cảnh báo phù hợp được gửi đến y bác sỹ cũng như chính bản thân người bệnh thông qua các ứng dụng trên web hay điện thoại. So với các hệ thống hiện nay, hệ thống đề xuất có những điểm mới chính như sau:

- Thu thập, giám sát và quản lý dữ liệu tự động từ xa theo thời gian thực. Dữ liệu được hiển thị trực quan với giao diện thân thiện, thuận tiện cho công tác giám sát, phân tích và đánh giá;
- Triển khai trên nền tảng mã nguồn mở để giải quyết vấn đề tích hợp hệ thống và tính tương thích với các thiết bị cảm biến và hệ thống khác nhau;
- Có khả năng triển khai ở các quy mô khác nhau: Trên thiết bị di động của bệnh nhân; Tại nhà bệnh nhân; Tại các phòng khám của bác sỹ; Tại các trung tâm y tế và bệnh viện.

## 2. Cơ sở lý thuyết

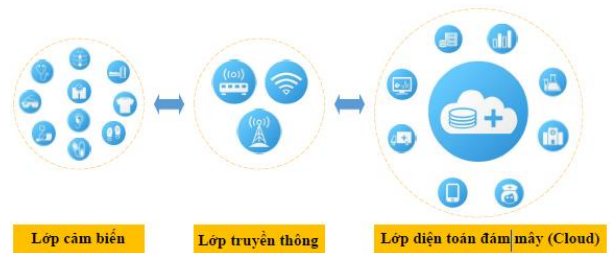
### 2.1. Hệ thống giám sát sức khỏe từ xa và IoT

Hệ thống giám sát sức khỏe từ xa dựa trên nền tảng công nghệ IoT cần tuân theo kiến trúc 3 lớp như minh họa ở Hình 1:

- Lớp cảm biến: Chịu trách nhiệm kết nối các thiết bị

cảm biến để thu thập dữ liệu về tình trạng sức khỏe bệnh nhân. Các cảm biến bao gồm: HR, SpO2, ECG, đường huyết, huyết áp, nhiệt độ, ...;

- Lớp truyền thông: Chịu trách nhiệm kết nối, truyền dữ liệu từ các thiết bị lớp cảm biến và trung tâm xử lý dữ liệu thông qua các công nghệ truyền thông phổ biến như LoRa, WiFi, 2G/3G/4G/5G, Bluetooth;



Hình 1. Kiến trúc chung của hệ thống chăm sóc sức khỏe dựa trên nền tảng IoT [11]

- Lớp điện toán đám mây: Bao gồm các máy chủ và trung tâm dữ liệu với khả năng tính toán mạnh và lưu trữ lớn. Lớp này chịu trách nhiệm lưu trữ toàn bộ dữ liệu từ các lớp dưới. Các thuật toán xử lý và phân tích dữ liệu được triển khai tại đây. Trên cơ sở đó sẽ dự đoán và đưa ra quyết định chính xác về tình trạng sức khỏe của bệnh nhân.

### 2.2. Công nghệ LoRa (Long Range)

LoRa là một chuẩn không dây được thiết kế cho các mạng diện rộng công suất thấp LPWAN (Low Power Wide Area Network) nhằm kết nối các thiết bị với băng thông và tốc độ dữ liệu thấp (0,3 – 30kbps), đồng thời tập trung vào hiệu quả về vùng phủ sóng (hàng km mà không cần các mạch khuếch đại công suất) cũng như hiệu suất năng lượng (thời gian hoạt động bằng pin của thiết bị LoRa là 3 - 10 năm). Chuẩn LoRaWAN được phát triển bởi LoRa Alliance định nghĩa lớp điều khiển truy nhập phương tiện MAC (Medium Access Control) và LoRa làm việc ở lớp vật lý trong kiến trúc LoRaWAN. LoRa hoạt động ở dải tần số vô tuyến Sub-GHz (nhỏ hơn 1GHz) miễn phí, bao gồm 433MHz, 868MHz (châu Âu), 915MHz (Australia và khu vực Bắc Mỹ), 865 – 867MHz (Ấn Độ) và 923MHz (khu vực châu Á). Tại Việt Nam, Bộ Thông tin và Truyền thông quy định LoRa hoạt động ở tần số 433MHz [15] hoặc ở dải tần số 920 - 923MHz [16]. Có ba thông số quan trọng khi cấu hình cho các thiết bị LoRa:

- Hệ số trải phổ SF (Spreading Factor, SF = 7 - 12). Hệ số SF sẽ tác động đến tốc độ, khoảng cách truyền dẫn và năng lượng tiêu thụ của các thiết bị trong hệ thống LoRa. Việc tăng giá trị SF sẽ làm tăng giá trị ToA (Time on Air) và khoảng cách truyền dẫn. Tuy nhiên, tốc độ truyền dẫn sẽ giảm và thiết bị sẽ tiêu tốn nhiều năng lượng. Tùy theo yêu cầu cụ thể, giá trị SF sẽ được lựa chọn phù hợp [17].

- Băng thông BW (Bandwidth): LoRa sử dụng các kênh tần số kết hợp với băng thông 125kHz, 250kHz hoặc 500kHz. Băng thông BW là một trong các tham số quyết định đến tốc độ dữ liệu của các thiết bị LoRa.

- Tốc độ mã hóa CR (Coding Rate): Là số lượng bit được thêm vào trong trọng tải của gói tin LoRa nhằm phục hồi lại một số bit dữ liệu nhận sai. Giá trị CR lớn làm tăng khả năng nhận dữ liệu đúng tại phía thu. Tuy nhiên, độ trễ truyền dẫn giữa các thiết bị đầu cuối cũng sẽ tăng lên [17].

### 2.3. Nền tảng IoT mã nguồn mở - Thingsboard

Để lưu trữ, quản lý và hiển thị dữ liệu thu thập, việc lựa chọn nền tảng IoT phù hợp có ý nghĩa quan trọng. Gần đây, nhiều nền tảng thương mại và mã nguồn mở đã được đề xuất để đáp ứng nhu cầu phát triển của các ứng dụng IoT. So sánh với các nền tảng mã nguồn mở Thingio, Sitewhere, WSo2, Kaa IoT..., Thingsboard được đánh giá là một nền tảng rất hiệu quả để giải quyết nhu cầu về thu thập, xử lý, trực quan hóa dữ liệu và quản lý thiết bị. ThingsBoard cho phép tích hợp các thiết bị với các hệ thống cũ và bên thứ ba bằng các giao thức hiện có [18].

### 2.4. Giao thức WebSocket

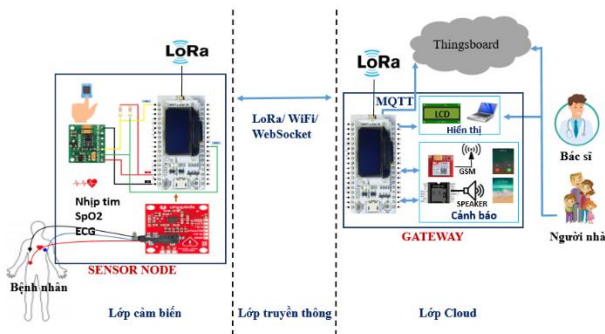
Là giao thức hỗ trợ giao tiếp hai chiều giữa client và server nhằm trao đổi dữ liệu. WebSocket cung cấp giao thức giao tiếp hai chiều mạnh mẽ, có độ trễ thấp và dễ xử lý lỗi. Vì vậy, giao thức WebSocket được sử dụng để triển khai ứng dụng ECG Wireless và Realtime (thời gian thực) ECG giữa thiết bị cảm biến và Gateway.

### 2.5. Giao thức MQTT (Message Queuing Telemetry Transport)

MQTT là giao thức tin nhắn dạng Publish-Subscribe. Giao thức này sử dụng băng thông thấp, nên đây là một giao thức lý tưởng cho các ứng dụng IoT. Trong hệ thống sử dụng giao thức MQTT, nhiều client kết nối tới một server (MQTT Broker). Mỗi client sẽ đăng ký theo dõi các kênh thông tin (topic) hoặc gửi dữ liệu lên kênh thông tin đó. Quá trình đăng ký này gọi là “subscribe” và khi client gửi dữ liệu lên kênh thông tin gọi là “publish”. Mỗi khi kênh thông tin đó được cập nhật dữ liệu, những client nào đã đăng ký theo dõi kênh này sẽ nhận được dữ liệu cập nhật đó. Trong bài báo này, giao thức MQTT được sử dụng để gửi dữ liệu HR, SpO2 và các thông tin cảnh báo giữa Gateway và Thingsboard.

## 3. Mô hình hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa theo thời gian thực

Dựa trên kiến trúc được mô tả trên Hình 1, nhóm tác giả đề xuất hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa ứng dụng công nghệ IoT, đặc biệt là công nghệ LoRa và WiFi như minh họa trên Hình 2.



Hình 2. Mô hình hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe theo thời gian thực ứng dụng công nghệ IoT

Hệ thống thu thập dữ liệu như HR, SpO2 và ECG. Dữ liệu này được xử lý và phân tích trước khi báo cáo đến bệnh nhân và nhân viên y tế. Hệ thống cũng cho phép đưa ra cảnh báo về tình trạng sức khỏe bệnh nhân thông qua loa, tin nhắn SMS hoặc cuộc gọi thoại. Hệ thống thiết kế đảm

bảo các yêu cầu:

- Thu thập và giám sát các chỉ số sinh tồn theo thời gian thực với độ tin cậy cao. Dữ liệu được hiển thị trực quan, thuận tiện cho giám sát và cảnh báo;
- Thiết kế nhỏ gọn (đặc biệt thích hợp với bệnh nhân khi di chuyển) và giá thành thấp;
- Các thiết bị trong hệ thống hoạt động ở chế độ tiêu thụ năng lượng thấp và có khả năng hoạt động lâu dài.

### 3.1. Thiết kế phần cứng

#### 3.1.1. Khối cảm biến Sensor Node

Khối cảm biến Sensor Node gồm Kit Heltec WiFi LoRa 32 [19], kết nối với cảm biến MAX30100 (giám sát dữ liệu HR và SpO2) [20] và cảm biến AD8232 (đo điện tâm đồ ECG) [21]. Các dữ liệu HR và SpO2 từ các Nodes cảm biến thường có tốc độ thấp (96bps) và phù hợp với kết nối bằng công nghệ LoRa. Dữ liệu ECG cần tốc độ truyền cao hơn sẽ được truyền với WiFi thông qua giao thức WebSocket (như mô tả ở phần 2.4).

Trong bài báo này, kết nối LoRa được cài đặt mặc định để Sensor Node gửi dữ liệu HR và SpO2 nhằm mục đích tiết kiệm năng lượng và tăng khoảng cách truyền dẫn. Khi người dùng nhấn phím chọn chức năng đo ECG thì kết nối WiFi được kích hoạt và Sensor Node sẽ gửi dữ liệu ECG dựa trên sự kết hợp giữa WiFi và giao thức WebSocket. Ngoài ra, Sensor Node còn tích hợp module thời gian thực DS3231, giao tiếp thẻ nhớ và cảnh báo rung. Khối cảm biến được thiết kế dưới dạng vòng đeo tay thông minh linh hoạt và phù hợp với trường hợp bệnh nhân nằm tại giường hay di chuyển trong phạm vi khuôn viên của tòa nhà.



Hình 3. Khối cảm biến Sensor Node thực tế

#### 3.1.2. Khối Gateway và xử lý trung tâm

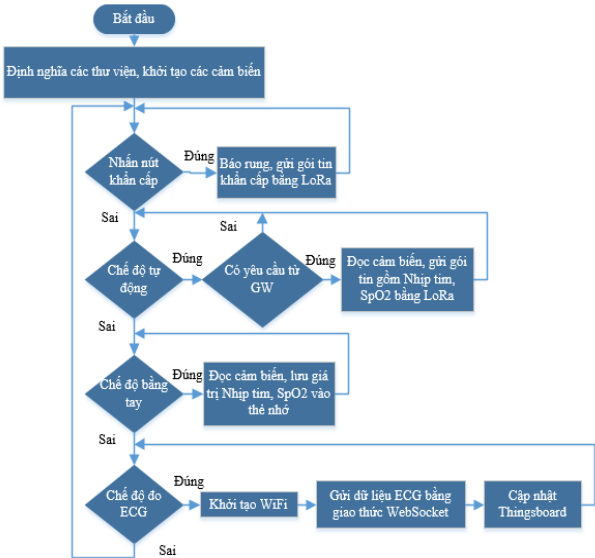


Hình 4. Khối Gateway thực tế

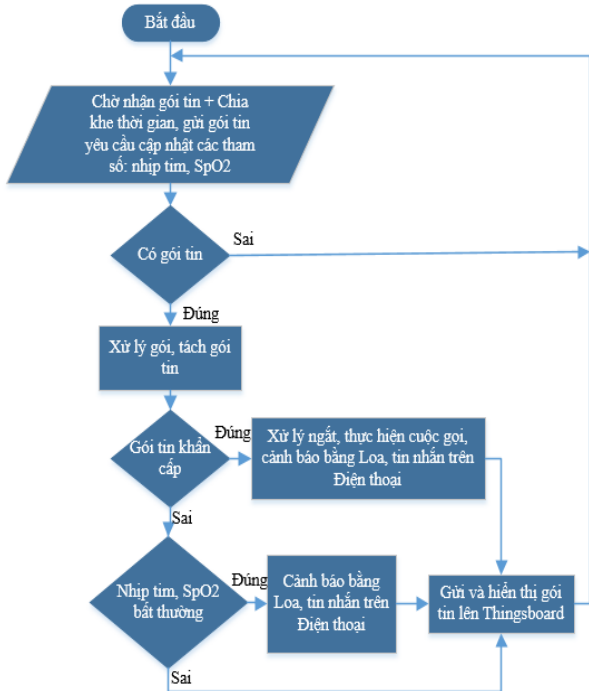
Khối Gateway (GW) có chức năng lưu trữ, giám sát, hiển thị và cảnh báo dữ liệu sức khỏe thu thập được. Việc cảnh báo được thực hiện bởi âm thanh bằng loa tại chỗ, tin nhắn SMS, gọi điện cho y bác sỹ hay người thân. Khối GW gồm Kit Heltec WiFi LoRa 32, module giao tiếp âm thanh DFR0299, màn hình hiển thị LCD2004 và module SIM 800L (hỗ trợ 04 băng tần 850/900/1800/1900MHz).

3.2. Thiết kế phần mềm

Trong phần này, nhóm tác giả tiến hành xây dựng các thuật toán để thu thập dữ liệu tại khối Sensor Node, xử lý dữ liệu tại GW, và đặc biệt là thuật toán cảnh báo tình trạng sức khỏe bệnh nhân dựa vào tín hiệu SpO2.



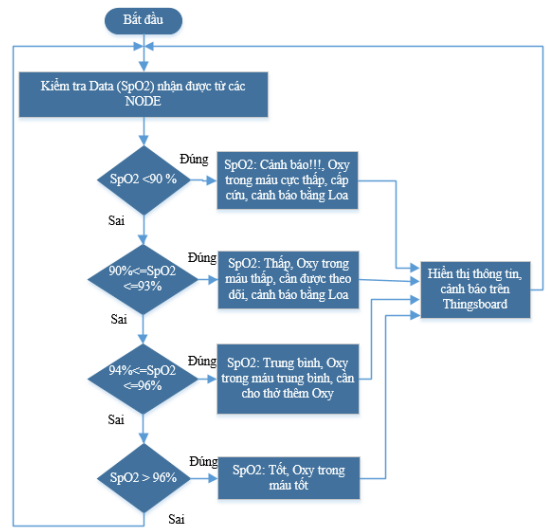
Hình 5. Lưu đồ thuật toán tại Sensor Node



Hình 6. Lưu đồ thuật toán tại Gateway

Bảng 1. Bảng tham chiếu chỉ tiêu SpO2 [22]

| SpO2 (%) | Ý nghĩa                  | Cảnh báo                   |
|----------|--------------------------|----------------------------|
| 97 - 99  | Oxy trong máu tốt        |                            |
| 94 - 96  | Oxy trong máu trung bình | Cần cho thở thêm oxy       |
| 90 - 93  | Oxy trong máu thấp       | Cần được theo dõi kịp thời |
| < 90     | Oxy trong máu cực thấp   | Cấp cứu                    |



Hình 7. Lưu đồ thuật toán cảnh báo dựa vào giá trị SpO2

4. Thử nghiệm và đánh giá

Nhóm tác giả tiến hành triển khai thực nghiệm mô hình hệ thống đề xuất trong khuôn viên Trường Đại học Quy Nhơn. Mô hình hệ thống thử nghiệm gồm 1 Gateway đóng vai trò là đơn vị xử lý trung tâm và 4 node cảm biến. Các tham số cấu hình của hệ thống thực nghiệm được minh họa ở Bảng 2. Trong bài báo này, nhóm tác giả cài đặt Gateway theo phương thức Polling với các khe thời gian khác nhau nhằm mục đích đảm bảo tỷ lệ nhận gói tin tốt nhất.

Bảng 2. Cấu hình hệ thống thực nghiệm

| Tham số                     | Ký hiệu                     | Giá trị |
|-----------------------------|-----------------------------|---------|
| Tần số hoạt động            | $f$                         | 433MHz  |
| Hệ số trải phổ SF           | $SF$                        | 12      |
| Tỉ lệ mã hóa                | $CR$                        | 4/8     |
| Băng thông                  | $BW$                        | 125kHz  |
| Công suất phát              | $Tx$                        | 14dBm   |
| Cảm biến HR và SpO2         | MAX30100                    |         |
| Cảm biến ECG                | AD8232                      |         |
| Node và GW                  | Heltec WiFi LoRa 32         |         |
| Nguồn cung cấp cho các Node | Pin Lithium (3.7V, 1000mAh) |         |

Mô hình thực nghiệm được triển khai theo hai (02) kịch bản (với các tham số SF, CR và BW giống nhau):

- Kịch bản 1: Thử nghiệm khoảng cách phủ sóng trong môi trường tầm nhìn thẳng LOS;

- Kịch bản 2: Thử nghiệm khoảng cách phủ sóng ở môi trường không tầm nhìn thẳng NLOS như mô tả ở Hình 8: Node1 và Node4 bị che chắn bởi các dãy nhà có chiều cao trung bình 12m. Vị trí Node2 bị che chắn bởi tòa nhà 15 tầng (~50m). Khu vực Node3 có khá ít vật cản.



Hình 8. Mô hình triển khai kịch bản 2

**4.1. Kết quả thử nghiệm vùng phủ sóng**

- Kịch bản 1: Kết quả vùng phủ sóng đạt được đối với mô hình hệ thống: 1,36km;
- Kịch bản 2: Kết quả thử nghiệm mô tả ở Bảng 3.

**Bảng 3. Kết quả thực nghiệm – Kịch bản 2**

|       | RSSI (dBm) | SNR (dB)      | Khoảng cách (m) |
|-------|------------|---------------|-----------------|
| Node1 | -80 → -70  | 12,75 → 14,05 | 151,44          |
| Node2 | -106 → -70 | 12,75 → 13,25 | 399,65          |
| Node3 | -102 → -65 | 12,05 → 13,15 | 257,41          |
| Node4 | -95 → -69  | 12,15 → 13,25 | 181,33          |

Kết quả đo đặc tín hiệu RSSI và SNR của các Nodes được mô tả trên Bảng 3. So với các Nodes còn lại, Node2 có điều kiện truyền sóng kém nhất, với giá trị RSSI nằm trong khoảng -106dBm đến -70dBm. Tuy vậy, giá trị RSSI này vẫn nằm trong ngưỡng cho phép (từ -120dBm đến -30dBm) để Node2 truyền/nhận dữ liệu với Gateway.

**4.2. Tỷ lệ mất gói và độ trễ gói**

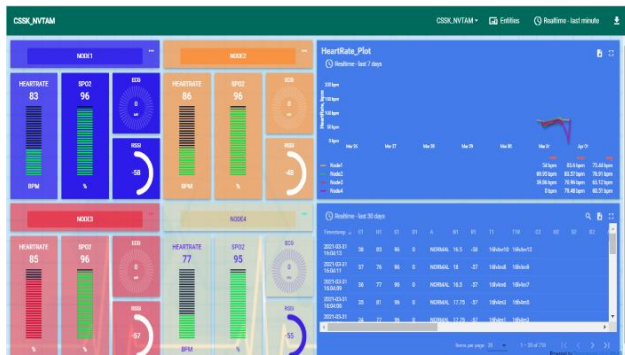
Để đánh giá tỷ lệ mất gói và độ trễ gói khi truyền tin bằng công nghệ LoRa, tác giả tiến hành thu thập dữ liệu từ các Node liên tục trong 3h. Các Node được di chuyển đến các vị trí được đánh dấu như mô tả trên Hình 8. Kết quả ở Bảng 4 cho thấy tỷ lệ mất gói dữ liệu cao nhất là 2.29% đối với Node2 (nguyên nhân là do Node2 có điều kiện truyền sóng kém nhất: khoảng cách xa và bị che chắn bởi tòa nhà 15 tầng). Đối với Node3 đạt tỷ lệ mất gói thấp nhất là 0.33% là do có khá ít vật cản. Vị trí Node1 và Node4 có tỷ lệ mất gói tương ứng là 0.49% và 1.14%. Đồng thời, độ trễ gói đối với Node2 là cao nhất (0.792s) so với 0.658s (Node3), 0.632s (Node4) và 0.502s (Node1).

**Bảng 4. Tỷ lệ mất gói và độ trễ gói**

| Thời gian thu dữ liệu (3h liên tục) | Tổng số gói dữ liệu gửi | Số gói dữ liệu bị mất | Tỷ lệ mất gói | Độ trễ gói |
|-------------------------------------|-------------------------|-----------------------|---------------|------------|
| Node1                               | 810                     | 4                     | 0.49%         | 0.502s     |
| Node2                               | 1091                    | 25                    | 2.29%         | 0.792s     |
| Node3                               | 603                     | 2                     | 0.33%         | 0.658s     |
| Node4                               | 961                     | 11                    | 1.14%         | 0.632s     |

**4.3. Trục quan hóa dữ liệu và cảnh báo trên Thingsboard và Mobile app Blynk**

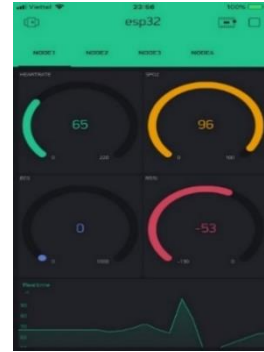
Thông tin cảnh báo về nhịp tim HR hay SpO2 bất thường cũng được hiển thị trên Thingsboard với quy định về màu hiển thị cảnh báo (màu đỏ).



**Hình 9. Trục quan hóa dữ liệu sức khỏe trên Thingsboard**



**Hình 10. Tích hợp ECG Wireless trên Thingsboard**



**Hình 11. Hiển thị dữ liệu với app Blynk**

Trong hệ thống đề xuất, cảnh báo được đưa ra khi có dấu hiệu bất thường đối với tình trạng sức khỏe của bệnh nhân. Cảnh báo được thực hiện bằng âm thanh (loa), bằng app Blynk trên điện thoại, Thingsboard, hoặc bằng cuộc gọi khẩn cấp.



**Hình 12. Cảnh báo trên Thingsboard và cuộc gọi khẩn**

**4.4. Đối sánh kết quả**

Trong phần này, nhóm tác giả tiến hành thực nghiệm đối sánh chức năng đo nhịp tim và SpO2 của thiết bị được sử dụng trong mô hình hệ thống đề xuất (gọi là thiết bị A) với thiết bị đã được kiểm định và sử dụng phổ biến trên thị trường như Medally PRO-F8 (gọi là thiết bị B) [23]. Nhóm tác giả đánh giá dựa trên mức độ sai số giữa hai thiết bị A và B. Sai số của mỗi lần đo (giữa thiết bị A và B) được xác định như sau:

$$\Delta A_n = \frac{|A_{Sn} - A_{Dn}|}{A_{Sn}} \times 100 \tag{1}$$

Trong đó,  $A_{Sn}$  là kết quả đo trên thiết bị B và  $A_{Dn}$  là kết quả đo trên thiết bị A trong lần đo thứ n.

Sai số trung bình sau các phép đo (giữa thiết bị A và thiết bị đối sánh B):

$$\overline{\Delta A} = \frac{\Delta A_1 + \Delta A_2 + \dots + \Delta A_n}{n} \tag{2}$$

Căn cứ vào kết quả ở Bảng 5, có thể thấy so với thiết bị B (máy đo PRO-F8), sai số trung bình trong các phép đo nhịp tim và SpO2 của thiết bị A lần lượt là 0,95% và 0,55%. Các giá trị này nằm trong ngưỡng cho phép +/- 5%. Vì vậy, thiết bị được sử dụng trong mô hình hệ thống đề xuất đảm bảo được độ tin cậy khi sử dụng.

**Bảng 5.** Kết quả đối sánh

| Lần đo | Thiết bị A |          | Thiết bị B |          | Sai số đo giữa A và B (%) |      |
|--------|------------|----------|------------|----------|---------------------------|------|
|        | HR (bpm)   | SpO2 (%) | HR (bpm)   | SpO2 (%) | HR                        | SpO2 |
| 1      | 94         | 97       | 94         | 96       | 0,0                       | 1,04 |
| 2      | 96         | 96       | 97         | 96       | 1,03                      | 0,0  |
| 3      | 94         | 96       | 94         | 96       | 0,0                       | 0,0  |
| 4      | 92         | 96       | 93         | 95       | 1,08                      | 1,05 |
| 5      | 94         | 96       | 95         | 96       | 1,05                      | 0,0  |
| 6      | 91         | 97       | 91         | 98       | 0,0                       | 1,02 |
| 7      | 86         | 96       | 86         | 95       | 0,0                       | 1,05 |
| 8      | 91         | 96       | 93         | 96       | 2,15                      | 0,0  |
| 9      | 73         | 96       | 74         | 97       | 1,35                      | 1,03 |
| 10     | 75         | 96       | 74         | 97       | 1,35                      | 1,03 |
| 11     | 88         | 97       | 86         | 97       | 2,32                      | 0,0  |
| 12     | 80         | 97       | 80         | 97       | 0,0                       | 0,0  |
| 13     | 77         | 96       | 78         | 96       | 1,28                      | 0,0  |
| 14     | 76         | 96       | 77         | 97       | 1,29                      | 1,03 |
| 15     | 76         | 97       | 75         | 98       | 1,33                      | 1,02 |

## 5. Kết luận

Trong khuôn khổ bài báo, nhóm tác giả đã nghiên cứu, thiết kế, xây dựng và triển khai thử nghiệm hệ thống giám sát và cảnh báo sức khỏe từ xa thời gian thực ứng dụng công nghệ LoRa và WiFi. Các kết quả đạt được từ thực nghiệm cho thấy, việc ứng dụng công nghệ LoRa vào hệ thống chăm sóc sức khỏe từ xa mang lại hiệu quả đáng kể trên các tiêu chí: vùng phủ sóng rộng (1,36km trong môi trường LOS hay 399,65m trong môi trường NLOS), độ trễ thấp (0,792s, đối với Node2) và tỷ lệ mất gói thấp (2,29%, đối với Node2). Ngoài ra, so sánh với thiết bị phổ biến trên thị trường hiện nay, sai số của thiết bị được đề xuất trong bài báo này là nhỏ (2,32% với chỉ số HR và 1,05% với chỉ số SpO2). Bên cạnh đó, WebSocket cung cấp giao thức giao tiếp hai chiều mạnh mẽ, có độ trễ thấp và dễ xử lý lỗi. Với giao thức WebSocket này, chức năng đo ECG Wireless và Realtime ECG được tích hợp vào hệ thống mang lại nhiều lợi ích khi mạng Mesh WiFi đang ngày càng phổ biến như hiện nay.

Trên cơ sở những kết quả đã đạt được, nhóm tác giả sẽ tiếp tục phát triển và tích hợp thêm nhiều cảm biến giám sát sức khỏe. Đặc biệt, các tính năng phân tích dữ liệu và chẩn đoán tình trạng sức khỏe bệnh nhân theo độ tuổi/giới tính dựa vào trí tuệ nhân tạo AI (Artificial Intelligence) sẽ được nghiên cứu và phát triển, góp phần nâng cao khả năng chăm sóc sức khỏe cho người dân trong tương lai.

**Lời cảm ơn:** Nhóm tác giả xin chân thành cảm ơn Quỹ Đổi mới sáng tạo VinIF - Vingroup đã tài trợ kinh phí cho nghiên cứu này, thông qua hợp đồng tài trợ số: VINIF.2020.ThS.85.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Sarma, D. L. Brock, and K. Ashton, The networked physical world: Proposals for engineering the next generation of computing, commerce & automaticidentification, MIT Auto-ID Center, Massachusetts Institute of Technology (MIT), Tech. Rep, Oct 2000.
- [2] L. Atzori, A. Iera, and G. Morabito, "The Internet of Things: A survey", *Computer Networks*, 2010, vol. 54, no. 15, pp. 2787 – 2805.
- [3] "Apple watch". [Online]. Available: <https://www.apple.com/healthcare/apple-watch/>.
- [4] "Zio Patch". [Online]. Available: <https://www.irhythmtech.com/patients/why-zio/>.
- [5] "My Sleep Bot - Reviews For Better Dreams". [Online]. Available: <https://mysleepbot.com/>.
- [6] "Personal Smart Care for Diabetes and Hypertension". [Online]. Available: <https://mydario.com/>.
- [7] "CoaguChek® INRange system". [Online]. Available: <https://www.manualslib.com/manual/1366425/Roche-CoaguChek-INrange.html>.
- [8] B. Thaduangta, P. Choomjit, S. Mongkolveswith et al, "Smart Healthcare: Basic health check-up and monitoring system for elderly", *2016 International Computer Science and Engineering Conference (ICSEC), Chiang Mai, Thailand*, Dec. 2016, 14-17.
- [9] S. Pinto, J. Cabral, T. Gomes, "We-care: An IoTbased health care system for elderly people", *IEEE International Conference on Industrial Technology (ICIT), Toronto, ON, Canada*, March 2017, 22-25.
- [10] Drăgulescu, Ana Maria Claudia, et al, "LoRa-Based Medical IoT System Architecture and Testbed", *Wireless Personal Communications*, 2020, 1-23.
- [11] F. Wu, C. Qiu, T. Wu and M. R. Yu, "Edge-Based Hybrid System Implementation for Long-Range Safety and Healthcare IoT Applications", in *IEEE Internet of Things Journal*, doi: 10.1109/JIOT.2021.3050445.
- [12] Nguyễn Minh Đức, Trần Hải Nam, Đỗ Hạnh, "Thiết bị đeo chăm sóc sức khỏe cho người cao tuổi", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ*, 2018, 125, 023-028.
- [13] Phùng Trung Nghĩa, Lương Văn Giang, "Hệ thống tự động cảnh báo, giám sát và chăm sóc sức khỏe từ xa cho người cao tuổi về nhịp tim, nhiệt độ, huyết áp". [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://2075.com.vn/he-thong-can-hao-cham-soc-va-giam-sat-suc-khoe-tu-xa>.
- [14] TMA Innovation, "Giải pháp hỗ trợ giám sát sức khỏe người cao tuổi Elder Care". [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://www.tmainnovation.vn/elder-care-he-thong-ho-tro-giam-sat-suc-khoe-nguoi-cao-tuoi/>.
- [15] "Thông tư số 46/2016/TT-BTTTT ngày 26/12/2016 của Bộ Thông tin và truyền thông". [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://thuvienphapluat.vn/van-ban/cong-nghe-thong-tin/Thong-tu-4-6-2016-TT-BTTTT-danh-muc-thiet-bi-vo-tuyen-dien-duoc-mien-giay-phem-su-dung-338304.aspx>.
- [16] "Thông tư số 38/2020/TT-BTTTT ngày 16/11/2020 của Bộ Thông tin và truyền thông". [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://hoatieu.vn/thong-tu-38-2020-tt-btttt-quy-chuan-ky-thuat-thiet-bi-vo-tuyen-mang-dien-rong-cong-suat-thap-204281>.
- [17] Trần Văn Líc, Lê Hồng Nam, "Mạng không dây LoRa cho ứng dụng IoT tầm xa", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ - Đại học Đà Nẵng*, 2018, số 11(132), quyển 1, 50 – 53.
- [18] Ngo Van Tam, Nguyen Duc Thien, "Real-time healthcare data visualisation using open-source platform Thingsboard". *Quy Nhơn University Journal of Science*, 2020, vol.14, no.3, pp.89-97.
- [19] "Heltec WiFi LoRa 32". [Online]. Available: <https://heltec.org/project/wifi-lora-32/>.
- [20] "Datasheet MAX30100". [Online]. Available: <https://datasheets.maximintegrated.com/en/ds/MAX30100.pdf>.
- [21] "SparkFun Single Lead Heart Rate Monitor - AD8232". [Online]. Available: <https://learn.sparkfun.com/tutorials/ad8232-heart-rate-monitor-hookup-guide/all>.
- [22] "Chỉ số SpO2 ở người bình thường là bao nhiêu?". [Trực tuyến]. Địa chỉ: [https://www.vinmec.com/vi/tin-tuc/thong-tin-suc-khoe/chi-so-spo2-o-nguoi-binh-thuong-la-bao-nhieu/?link\\_type=related\\_posts](https://www.vinmec.com/vi/tin-tuc/thong-tin-suc-khoe/chi-so-spo2-o-nguoi-binh-thuong-la-bao-nhieu/?link_type=related_posts).
- [23] "Medally PRO-F8". [Trực tuyến]. Địa chỉ: <https://medally.com.vn/san-pham/may-do-nong-do-oxy-medally-pro-f8/>.