

NGHIÊN CỨU VÀ TRIỂN KHAI MỘT MÔ HÌNH MẠNG KHÔNG DÂY SUB – 1 GHz CHO CÁC ỨNG DỤNG IoT

Phan Hải Phong^{1*}, Hoàng Đại Long¹, Vương Quang Phước¹, Nguyễn Đức Nhật Quang¹

¹ Khoa Điện, Điện tử và Công nghệ vật liệu, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

*Email: phongph@husc.edu.vn

TÓM TẮT

Các chuẩn giao tiếp không dây là nền tảng cần thiết để có thể phát triển các hệ thống Internet cho vạn vật (Internet of Things – IoT) một cách hiệu quả. Hiện nay, nhiều chuẩn giao tiếp không dây đã được phát triển để phục vụ cho mục đích này như LoRa, NB-IoT, TI Sub-1 GHz,... Bài báo này tập trung vào việc triển khai thử nghiệm chuẩn không dây Sub-1 GHz được phát triển bởi Texas Instruments để khảo sát, đánh giá chuẩn giao tiếp này nhằm làm nền tảng phát triển cho các hệ thống IoT trong tương lai. Một hệ thống IoT đơn giản gồm hai nốt mạng giao tiếp với nốt chủ thông qua mạng Sub-1 GHz sẽ được triển khai thử nghiệm trong bài báo này để đánh giá khả năng triển khai hệ thống trong thực tế.

Từ khóa: Internet of Thing, Low-Power Wide Area Network, Wireless Network.

1. MỞ ĐẦU

Trong những năm gần đây, Internet vạn vật (Internet of Things – IoT) là từ khóa nổi bật nhất trong các ứng dụng thuộc lĩnh vực công nghệ thông tin - viễn thông. Các công nghệ không dây chiếm một tỉ lệ lớn trong truyền tải dữ liệu IoT lên Internet. Điểm đáng chú ý khi triển khai các ứng dụng IoT là khả năng tiết kiệm năng lượng, tốc độ truyền tải, cũng như độ bao phủ. Các công nghệ không dây cũng được phát triển để phù hợp với các nhóm ứng dụng IoT khác nhau.

Bên cạnh đó, LPWAN (Low-Power Wide Area Network) - Mạng diện rộng năng lượng thấp là một trong những xu hướng tất yếu không thể thiếu trong các ứng dụng IoT tương lai. LPWAN là các công nghệ không dây với các đặc điểm như phủ sóng lớn, băng thông thấp, kích thước gói tin nhỏ và thời gian sử dụng pin lâu dài. LPWAN có chi phí thấp hơn mạng di động và có phạm vi rộng hơn mạng không dây tầm ngắn [1]. LPWAN cung cấp khả năng kết nối cho các thiết bị và ứng dụng có tính di động thấp và mức độ truyền dữ liệu thấp - Ví dụ như các cảm biến, đồng hồ thông minh (đồng hồ nước, đồng hồ điện) là một phần trong Internet vạn vật. Chính vì thế, LPWAN sẽ mang tới một lựa chọn mới cho truyền tải dữ liệu IoT, được phát triển nhằm đáp ứng mục đích tiêu thụ năng lượng thấp, kéo dài thời gian hoạt động của thiết bị đầu cuối, khả năng truyền tải với khoảng cách xa tới hàng chục km.

Tích cực nhất trong việc phát triển LPWAN là một số nhà cung cấp và tổ chức như: LoRa Alliance, Texas Instruments, Sigfox, Ingothy,... Mỗi tổ chức đưa ra một tiêu chuẩn riêng với các phương thức hoạt động khác nhau, nhưng tất cả đều hướng tới mục đích sử dụng của LPWAN. Mặc dù có nhiều công nghệ và tiêu chuẩn LPWAN khác nhau, tuy nhiên một số công nghệ đang được triển khai hiệu quả tại nhiều nơi trên thế giới có thể kể đến như: LoRaWAN [2], NB-IoT [3] và Sub-1 GHz [4].

LoRaWAN là một tiêu chuẩn mở được đưa ra từ đầu năm 2015 bởi tổ chức LoRa Alliance nhằm đảm bảo khả năng tương tác giữa các thiết bị IoT. Tuy nhiên, nó không thực sự mở vì chip LoRa cơ bản cần thiết để triển khai mạng LoRaWAN là độc quyền của nhà sản xuất chất bán dẫn SemTech. Về cơ bản, LoRa là lớp vật lý (chip) còn LoRaWAN là lớp MAC, tức là phần mềm được đặt trên chip để kích hoạt kết nối mạng. Đến giữa năm 2021, đã có 151 nhà khai thác mạng được đưa vào sử dụng và triển khai tại 167 quốc gia [5]. LoRa sử dụng phổ tần số Sub-GHz (868 MHz ở Châu Âu, 915 MHz ở Châu Mỹ và 433 MHz ở Châu Á). Với công nghệ LoRa, chúng ta có thể truyền dữ liệu với khoảng cách lên hàng km mà không cần các mạch khuếch đại công suất, từ đó giúp tiết kiệm năng lượng tiêu thụ khi truyền/ nhận dữ liệu. LoRa có thể được áp dụng rộng rãi trong các ứng dụng thu thập dữ liệu như mạng cảm biến không dây, trong đó các nốt cảm biến có thể gửi giá trị đo đạc về trung tâm cách xa hàng km và có thể hoạt động trong thời gian dài.

NB-IoT (NarrowBand – IoT) là một công nghệ IoT băng hẹp được chuẩn hóa bởi 3GPP vào năm 2016. NB-IoT được phát triển dựa trên các tiêu chuẩn di động hiện có. Như vậy đối với NB-IoT, có thể sử dụng gần như tất cả các dải tần số tương tự như 2G/3G/4G trong băng tần thấp, bao gồm: B20 (800 MHz), B8 (900 MHz), B3 (1800 MHz) [6]. Mục đích của NB-IoT là phục vụ các ứng dụng IoT thông lượng thấp. NB-IoT hỗ trợ kết nối hàng triệu thiết bị M2M (Machine-to-Machine) và ứng dụng. Kết nối này được đặc trưng bởi thông lượng thấp, truyền dữ liệu không thường xuyên. NB-IoT đáp ứng yêu cầu tuổi thọ pin kéo dài ít nhất 10 năm nhờ hai công nghệ tiết kiệm năng lượng là PSM và eDRX:

- PSM – Power Saving Mode: chế độ ngủ tối đa là 12 ngày nhưng vẫn giữ kết nối.
- eDRX – expanded Discontinued Reception: Kéo dài chu kỳ ở chế độ ngủ không tải tối đa 40 phút. Và cho phép thiết bị tắt một phần mạch điện để tiết kiệm năng lượng [7].

Thực tế, mạng NB-IoT được thiết kế dựa trên mạng LTE với sự điều chỉnh đặc biệt. Điều này cho phép NB-IoT có các lợi thế để sử dụng trong các ứng dụng IoT. Thành phố thông minh IoT, Industrial IoT vì chất lượng dịch vụ và tốc độ dữ liệu cao.

Chuẩn giao tiếp không dây Sub-1 GHz [4] được Texas Instruments phát triển nhằm góp phần giải quyết bài toán học búa trên, khi sử dụng nguồn năng lượng thấp nhưng cho phép truyền khoảng cách lên đến 10 km.

Tuy nhiên, quá trình nghiên cứu và phát triển của chuẩn này đã và đang gặp thách thức rất lớn, nổi bật là sự hạn chế trong khâu tiếp cận của người dùng với các vi mạch chuyên dụng.

Trong khuôn khổ của bài báo này, nhóm nghiên cứu chỉ tập trung tìm hiểu về nguyên lý hoạt động của mạng không dây Sub-1 GHz được phát triển bởi Texas Instruments. Đồng thời thiết kế một hệ thống IoT cơ bản với một số nốt cảm biến/chấp hành (Sensor/Actual Node - SAN) và một nốt chủ (Master Node - MN) dựa trên bo mạch CC1350 được tích hợp chuẩn TI SUB-1 GHz.

Với các bộ thu phát RF công suất thấp linh hoạt và bộ vi điều khiển không dây, Sub-1 GHz giúp loại bỏ các rào cản cho việc triển khai toàn cầu với khả năng truyền tải dữ liệu với độ tin cậy cao và hiệu suất năng lượng cực thấp.

2. MẠNG KHÔNG DÂY SUB – 1 GHz CỦA TEXAS INSTRUMENTS

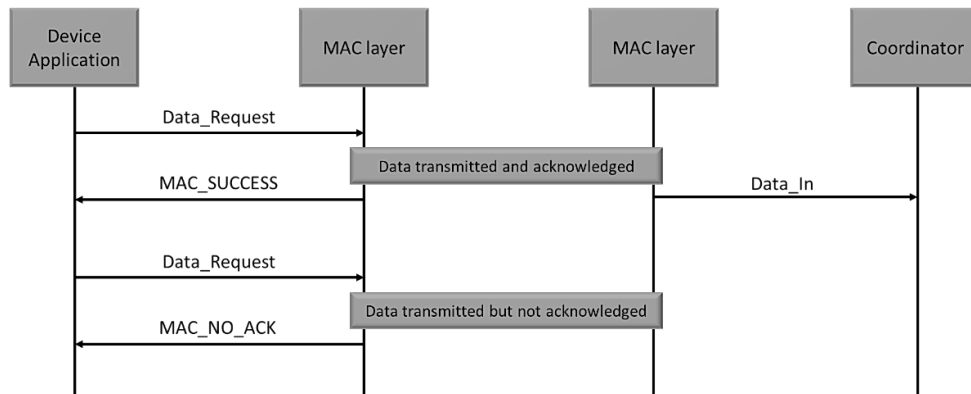
2.1. Giới thiệu về mạng không dây Sub-1 GHz

Nhằm xây dựng một chuẩn kết nối không dây cho các thiết bị IoT, hãng Texas Instruments (TI) đã đưa ra một chuẩn giao tiếp không dây riêng của mình và đặt tên là mạng không dây Sub-1 GHz. Giao tiếp này đã được hãng TI triển khai trên các thiết bị như SimpleLink CC13x0 và CC13x2 [8]. Ưu điểm của mạng Sub-1 GHz mà hãng TI đã đưa ra có thể kể đến như là:

- Hỗ trợ truyền nhận khoảng cách lớn (lên tới 10 km trong điều kiện tầm nhìn thẳng).
- Xây dựng dựa trên tiêu chuẩn đã được IEEE công nhận, đó là chuẩn IEEE 802.15.4 e/g.
- Hỗ trợ mạng hình sao (Star Networks).
- Hỗ trợ các nốt cảm biến năng lượng siêu thấp (Ultra-Low-Power Sensor Nodes).

Mạng không dây Sub-1 GHz của TI có ba chế độ hoạt động đó là định hướng (BEACON), vô hướng (NON BEACON) và nhảy tần (FREQUENCY HOPPING). Bài báo này sẽ tập trung vào việc thiết kế hệ thống hoạt động ở chế độ NON BEACON nên phần này sẽ trình bày sơ lược về chế độ NON BEACON.

Chế độ NON BEACON là chế độ mà bộ điều phối (coordinator) không gửi các tín hiệu định hướng (beacon signal) theo chu kỳ cho các thiết bị (device) hoặc các nốt mạng (node). Đây là một chế độ mạng không đồng bộ, hoạt động theo cơ chế CSMA/CA.



Hình 1. Cơ chế truyền nhận dữ liệu và phản hồi trong chế độ NON BECON.

Khác với chế độ BEACON, ở chế độ NON BEACON các dữ liệu được truyền từ thiết bị hay nốt mạng sẽ được gửi trực tiếp đến bộ điều phối mà không cần phải chờ tín hiệu định hướng. Khi nhận được dữ liệu, bộ điều phối sẽ gửi tín hiệu xác nhận (ACK) đến thiết bị. Trong trường hợp dữ liệu truyền bị lỗi, không có tín hiệu ACK, lớp MAC sẽ phản hồi dữ liệu truyền bị lỗi để thông báo cho ứng dụng trên thiết bị.

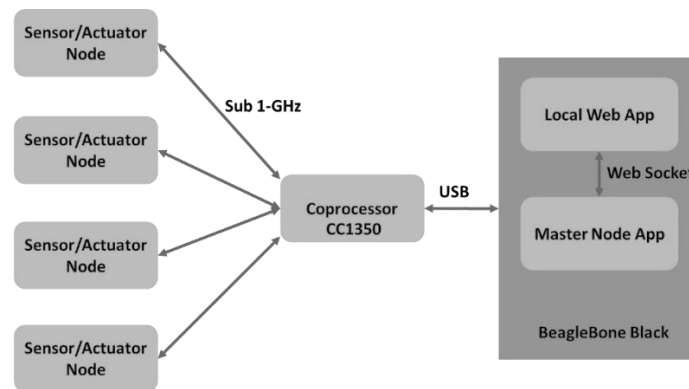
Với quá trình truyền thông tin từ bộ điều phối đến các thiết bị, các dữ liệu sẽ được xếp trong hàng đợi gửi đi của lớp MAC của MN, chờ đến khi có tín hiệu pooling (tín hiệu yêu cầu dữ liệu – data request signal) của thiết bị. Sau đó, các dữ liệu này sẽ được gửi đi đến thiết bị đã gửi yêu cầu. Các tín hiệu yêu cầu dữ liệu sẽ được gửi theo chu kỳ, và có thể thiết lập được chu kỳ này bằng cách cấu hình cho thiết bị.

Trong bài báo này, hệ thống truyền nhận dữ liệu sử dụng mạng TI Sub-1 GHz sẽ được phát triển dựa trên dự án TIDEP0084 của Texas Instruments. Dựa trên những khảo sát ban đầu, hệ thống sẽ được phát triển dựa trên một phần của dự án TIDEP0084 [9] bởi một số lý do cụ thể sau:

- Có cấu hình khá gần với hệ thống mà nhóm nghiên cứu muốn xây dựng.
- Có các tài liệu cũng như mã nguồn mở được công bố rộng rãi để tìm kiếm.
- Dự án được thiết kế chặt chẽ, kiểm soát lỗi và các sự kiện rất tốt.
- Có các phần tính năng mở để người lập trình có thể dễ dàng phát triển.

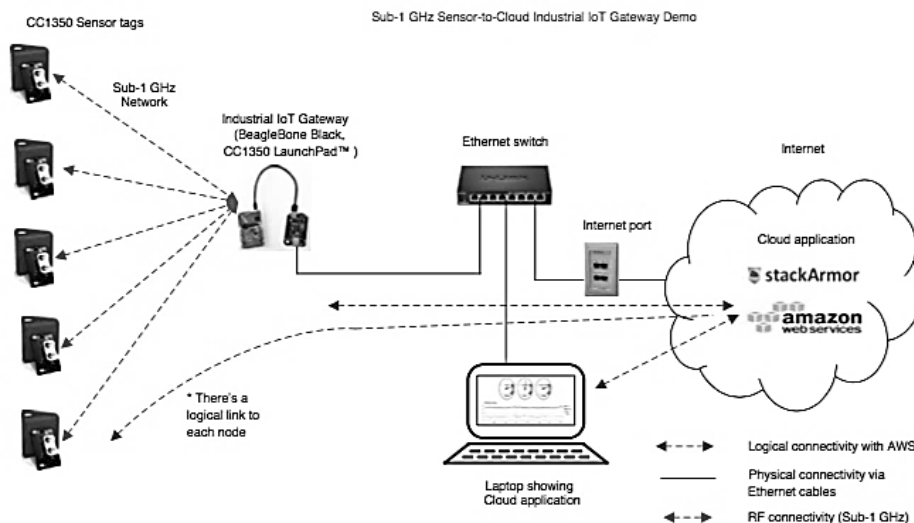
Vì vậy, sẽ thuận tiện hơn nếu thiết kế dựa trên dự án này thay vì tự thiết kế từ đầu đến cuối. Điều này cho phép nhóm nghiên cứu xây dựng nhanh một hệ thống để đánh giá hiệu quả của chuẩn giao tiếp không dây này, so với một số chuẩn giao tiếp khác mà nhóm đã từng thực hiện.

Sơ đồ khối hệ thống ban đầu được thể hiện như trên Hình 2. Các SAN sẽ gửi các dữ liệu nhận được từ cảm biến theo chu kỳ 3 giây và nhận các lệnh điều khiển từ MN theo chu kỳ là 1 giây. Hệ thống sẽ hoạt động theo nguyên lý của chế độ NON BEACON.



Hình 2. Sơ đồ khối hệ thống IoT sử dụng mạng không dây TI Sub-1 GHz.

Trên MN, một phần mềm (Master Node Application - MNA) sẽ được phát triển để giao tiếp trực tiếp với bo mạch CC1350 thông qua kết nối USB. Phần mềm này sẽ quản lý mạng Sub-1 GHz. Một ứng dụng Local Web cũng sẽ được thiết kế để tạo ra một giao diện tương tác người dùng. Tuy nhiên, trong đề tài này, giao diện này chỉ được phát triển đủ để kiểm thử các hoạt động của hệ thống. Ứng dụng web (Web-App) này sẽ giao tiếp với MNA thông qua Web Socket. Mô hình cụ thể của hệ thống này được triển khai như ở trong Hình 3.



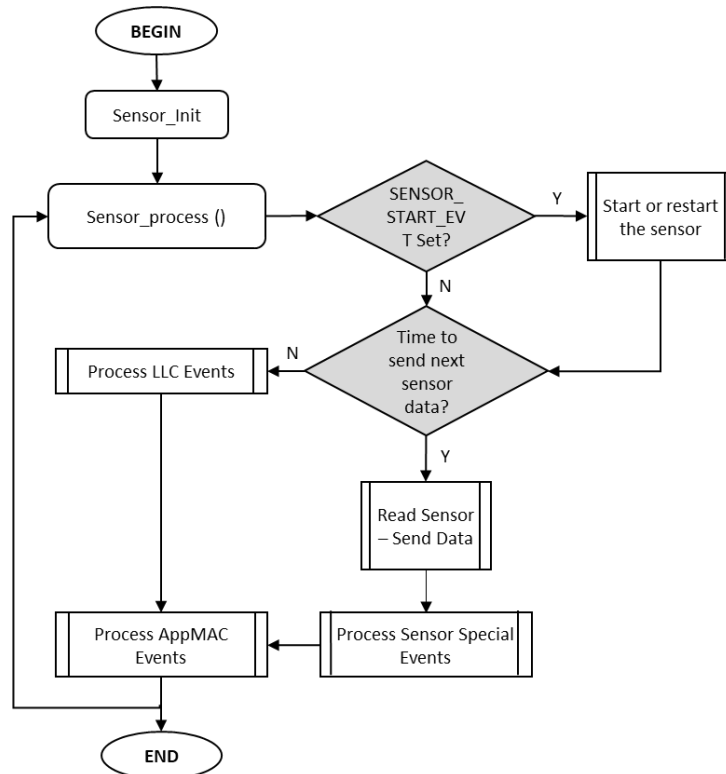
Hình 3. Hệ thống thử nghiệm truyền nhận dữ liệu sử dụng mạng không dây TI Sub-1 GHz [9].

Trong hệ thống này, các bo mạch CC1350 sẽ được sử dụng như là các SAN. Các bo mạch này sẽ đọc dữ liệu về nhiệt độ để gửi về MN, đồng thời nhận tín hiệu điều khiển từ MN để điều khiển các khối chấp hành. Hệ thống cũng sử dụng một bo mạch BeagleBone, kết hợp với bo mạch CC1350 để tạo thành MN cho hệ thống mạng Sub-1 GHz. Dữ liệu truyền nhận sẽ được gửi đến Web-App thông qua các dịch vụ điện toán đám mây như stackArmor hoặc Amazon Web Services (AWS).

2.2 Thiết kế các Sensor/Actuator Node

Phần trung tâm của SNA là bo mạch CC1350 được tích hợp sẵn chip TI SUB-1 GHz. SNA sẽ gửi các dữ liệu của cảm biến nhiệt độ có sẵn trên bo mạch (dữ liệu được đọc qua chân analog). Ở chiều ngược lại, SNA sẽ nhận các tín hiệu điều khiển của bộ điều phối để điều khiển các chân GPIO, PWM.

Phần mềm viết cho bo mạch CC1350 được viết trên Code Composer Studio, sử dụng TI RTOS các driver như ADC, PWM, PIN, SPI, I2C. Phần mềm sử dụng TI Sub-1 GHz MAC API để có thể giao tiếp với TI 15.4 stack. Sơ đồ thuật toán của SNA được thể hiện như Hình 4 dưới đây.



Hình 4. Sơ đồ thuật toán phần mềm điều khiển trên sensor/actuator node.

Hàm `Sensor_process()` là hàm lặp chính của chương trình. Trong hàm này chương trình sẽ xử lý các sự kiện của mạng như thiết lập mạng khi được kết nối vào một mạng của MN, đọc dữ liệu của các cảm biến và gửi đi cho MA khi đến thời gian report interval.

Hàm `readSensors()` được định nghĩa trong tệp `sensor.c` sẽ thực hiện việc đọc các cảm biến, ở đây là nhiệt độ được tích hợp ngay trong bo mạch (dữ liệu từ chân tín hiệu tương tự - IO23). Việc đọc được thực hiện bằng cách sử dụng các chân PIN và ADC trên TI-RTOS.

Hàm `dataIndCB()` là hàm callback được gọi mỗi khi có dữ liệu gửi về từ MN. Như khi có dữ liệu điều khiển bật/tắt led và điều chỉnh PWM, thì chương trình sẽ gọi các TI-RTOS driver để điều khiển các chân này theo dữ liệu điều khiển.

2.3 Thiết kế Master Node

Với MN, bo mạch CC1350 sẽ được nạp phần mềm coprocessor và kết nối với bo mạch Beagle Bone Black thông qua cổng USB. Ở bo mạch BeagleBone Black một phần mềm viết bằng ngôn ngữ C dùng để giao tiếp với Bo mạch CC1350, và điều khiển bo mạch hoạt động như một bộ điều phối, tổ chức và quản lý mạng TI Sub-1 GHz.

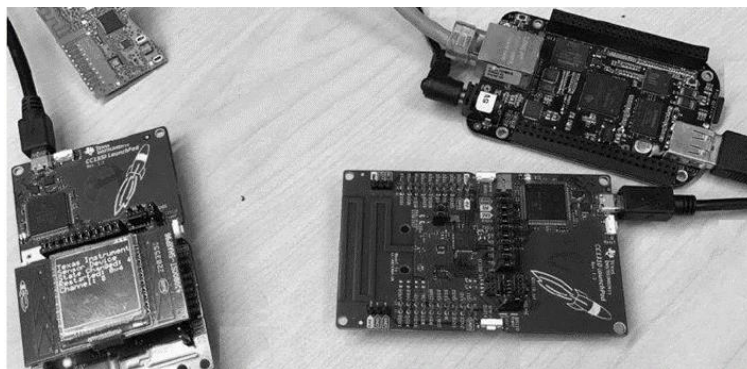
Chương trình có sử dụng TI 15.4 stack API để điều khiển các quá trình của mạng Sub-1 GHz. Ngoài ra chương trình này sẽ chạy như một Local Server để có thể giao tiếp với Web-App thông qua Web Socket. Chương trình này sẽ nhận các dữ liệu từ cảm biến được gửi theo chu kỳ từ các nốt cảm biến và thông báo cập nhật cho chương trình web thông qua Web Socket. Ở chiều ngược lại, chương trình sẽ nhận các lệnh điều khiển từ chương trình web để gửi đến điều khiển các SAN tương ứng.

Trong dự án này, TI15.4 Stack appServer [10] cũng được sử dụng để xây dựng một chương trình (sử dụng Node JS) nhằm cho phép kết nối với nền tảng điện toán đám mây (cloud) của AWS thông qua giao thức MQTT và MQTT over Web Socket. AWS sẽ cài đặt sẵn Mosquito Broker nhằm cho phép thực hiện giao thức MQTT giữa hệ thống với cloud. Trên AWS, cũng triển khai Web-App để người dùng có thể truy xuất dữ liệu sensor. Web-App này cũng được viết bằng Node JS.

Như đã nói ở trên, một chương trình ứng dụng trên nền tảng web (Web Application (Web-App)) được phát triển để tạo một giao diện điều khiển và giám sát dữ liệu cảm biến cho người dùng. Trong khuôn khổ của đề tài, giao diện web này chưa được phát triển nhiều, chủ yếu được dùng để kiểm tra kết nối và các chức năng của mạng. Hiện tại trên giao diện chỉ có thể điều khiển được tắt/bật led trên mỗi SAN và hiển thị nhiệt độ đo được từ các SAN.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Thực thi thử nghiệm phần cứng

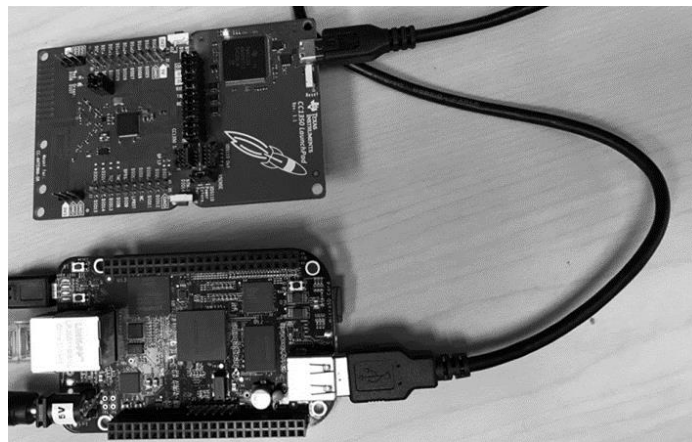


Hình 5. Thực thi thử nghiệm phần cứng của hệ thống truyền nhận dữ liệu qua mạng không dây TI Sub-1 GHz.

Nghiên cứu và thực thi thử nghiệm mô hình mạng không dây Sub – 1 GHz trong các ứng dụng IoT

Với mô hình được đề xuất như ở Hình 3, đề tài đã tiến hành thực thi thử nghiệm hai SAN sử dụng hai bo mạch CC1350 làm nhiệm vụ thu thập dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm. Đồng thời, khi nhận tín hiệu điều khiển từ MN thì các bo mạch sẽ điều khiển bật/tắt trực tiếp một đèn led trên bo mạch (trung ứng với một kênh điều khiển đóng/ngắt cho một thiết bị điện bất kỳ). Phần cứng hệ thống được thực thi như ở Hình 5.

Bo mạch BeagleBone sẽ được nối với CC1350 để tạo thành một MN nhằm quản lý mạng Sub-1 GHz như ở Hình 6. Bo mạch BeagleBone sẽ được kết nối với mạng internet qua cổng Ethernet bằng cáp mạng hoặc thông qua kết nối Wi-Fi. Một hệ điều hành với nhân Linux sẽ được cài đặt trên thẻ nhớ SD gắn trên bo mạch BeagleBone sẽ cho phép truy cập và điều khiển bo mạch này thông qua giao thức SSH.



Hình 6. Kết nối giữa bo mạch BeagleBone Black với CC1350 để tạo ra Master Node.

Nếu kết nối giữa hai bo mạch thành công, có thể kiểm tra lại kết quả kết nối thông qua terminal như ở Hình 7.

```
root@am437x-evm:~# ls -l /dev/ttyACM*
crw-rw----  1 root   dialout  166,  0 Oct 24 16:52 /dev/ttyACM0
crw-rw----  1 root   dialout  166,  1 Oct 24 16:52 /dev/ttyACM1
root@am437x-evm:~#
```

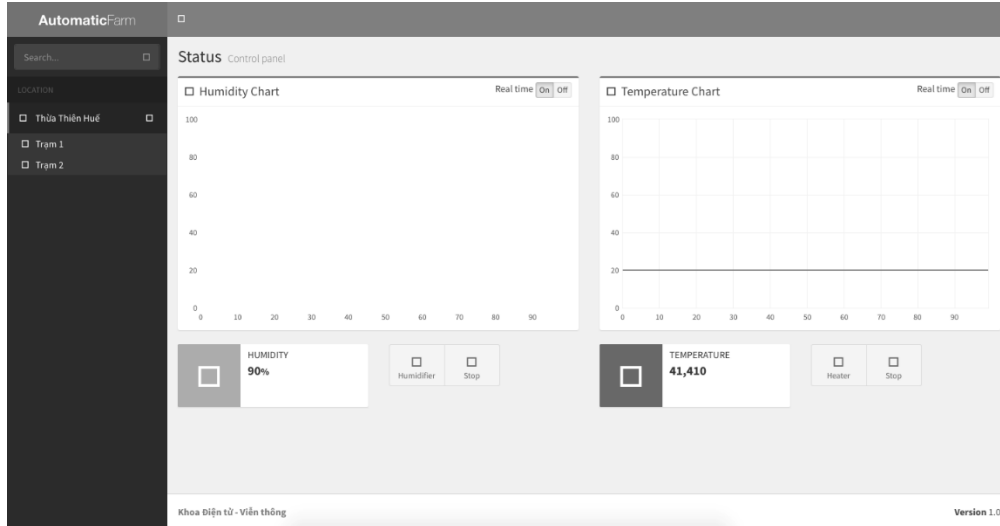
Hình 7. Kiểm tra kết nối giữa bo mạch BeagleBone và CC1350.

3.2. Phần mềm Web-App để giao tiếp với người dùng.

Web-App để giao tiếp với người dùng được nhóm tác giả phát triển bằng NodeJS. Giao diện cơ bản của Web-App này được thể hiện như trong Hình 8. Khi bo mạch BeagleBone được cấp nguồn, có thể truy cập Web-App thông qua địa chỉ IP: 54.82.231.80:8000.

Tuy nhiên, trong quá trình thực hiện do chưa có kinh nghiệm nhiều về Node JS nên chương trình thực hiện vẫn còn nhiều lỗi cần khắc phục. Hiện tại, chương trình chỉ mới nhận dữ liệu về nhiệt độ và độ ẩm để hiển thị lên Dashboard. Các Trạm 1, Trạm 2 trong chương trình cũng tương ứng với hai bo mạch CC1350 đóng vai trò là các SAN.

Trong tương lai, nhóm nghiên cứu sẽ hoàn thiện hơn chương trình này với đầy đủ các tính năng đã đặt ra từ trước, cũng như đạt được sự ổn định trong quá trình hoạt động.



Hình 8. Giao diện của Web-App được phát triển.

Tuy Web-App còn đơn giản, cũng như các thiết bị phần cứng còn nhiều hạn chế nhưng hệ thống được xây dựng đã có thể truyền được các dữ liệu về nhiệt độ, độ ẩm thu thập được từ các SAN về MN thông qua chuẩn không dây Sub-1 GHz của TI. MN xây dựng trên bo mạch BeagleBone cũng đã kết nối được với cloud của AWS và cho phép hiển thị được kết quả đo nhiệt độ, độ ẩm cho người dùng quan sát trực tiếp trên Web-App.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, nhóm nghiên cứu đã tập trung vào việc thực thi thử nghiệm một hệ thống IoT đơn giản, thực hiện việc truyền nhận dữ liệu giữa các nốt mạng với nốt chủ thông qua chuẩn giao tiếp không dây Sub-1 GHz được phát triển bởi TI. Các kết quả mà đề tài nghiên cứu thu được là rất khả quan khi đã triển khai thành công hệ thống với khả năng truyền nhận được các dữ liệu về nhiệt độ và độ ẩm lên một Web-App, cũng như cho phép điều khiển từ Web-App đến các nốt mạng chấp hành.

Hệ thống được thử nghiệm tuy còn đơn giản, nhưng đây là tiền đề cho phép nhóm nghiên cứu phát triển, mở rộng hệ thống trên cả phần cứng và phần mềm để xây dựng một hệ thống IoT hoàn chỉnh.

Tuy nhiên, bài báo này chỉ mới đạt đến kết quả về việc truyền nhận thành công dữ liệu trên hệ thống. Các kết quả khảo sát về tốc độ truyền, khoảng cách truyền,... cũng như một số kết quả đo đạc khác phải cần được thực hiện trong những thử nghiệm tiếp theo để làm nền tảng cho việc phát triển những ứng dụng trong tương lai.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu và thực thi thử nghiệm mô hình mạng không dây Sub – 1 GHz trong các ứng dụng IoT

Nghiên cứu này được thực hiện trong khuôn khổ Đề tài cấp Đại học Huế mã số DHH2020-01-172.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. S. Farrell (2018), *Low-Power Wide Area Network (LPWAN) Overview*, Internet Engineering Task Force (IETF).
- [2]. Lora Alliance (2021). *Protocol Choice Determines Success: LoRaWAN® Drives Business Value*, Website: <https://lora-alliance.org>.
- [3]. I. Scoop (2020), *NB-IoT explained: a complete guide to Narrowband-IoT*, Website: <https://www.i-scoop.eu/>
- [4]. Texas Instruments (2018), *Sub 1-GHz Sensor to Cloud Industrial IOT Gateway Reference Design Application Note*, Website: <http://ti.com>.
- [5]. Lora Alliance (2021), *LoRaWAN Coverage*, Website: <https://lora-alliance.org>.
- [6]. 3GPP, *Standardization of NB-IOT completed*, Website: <https://www.3gpp.org>.
- [7]. Y. D. Beyene et al (June 2017), *NB-IoT Technology Overview and Experience from Cloud-RAN Implementation*, *IEEE Wireless Communications*, vol. 24, no. 3, pp. 26-32.
- [8]. Texas Instruments (2018), *CC1350 SimpleLink™ Ultra-Low-Power Dual-Band Wireless MCU*, Website: <http://ti.com>.
- [9]. Texas Instruments (2018), *TI Designs: TIDEP0084 Sub-1 GHz Sensor to Cloud Industrial Internet of Things (IoT) Gateway Reference Design*, Website: <http://ti.com>.
- [10]. Texas Instruments (2018), *TI 15.4-stack software developer's Guide*, Website: <http://ti.com>.

RESEARCH AND IMPLEMENT A MODEL OF WIRELESS NETWORK**SUB – 1 GHz FOR IoT APPLICATIONS****Phan Hải Phong^{1*}, Hoàng Đại Long¹, Vương Quang Phước¹, Nguyễn Đức Nhật Quang¹**¹Faculty of Electrics, Electronics Engineering and Material Technology, University of Sciences,
Hue University

*Email: phongph@husc.edu.vn

ABSTRACT

Wireless communication standards are the necessary foundation to build effective Internet of Things (IoT) systems. Many wireless communication standards are developing to serve this purpose, such as LoRa, NB-IoT, TI Sub-1 GHz,... This article focuses on implementing the Sub-1 GHz wireless standard developed by Texas Instruments to survey and evaluate this communication standard for IoT systems. In this project, a simple IoT system consisting of two network nodes communicating with the host node through the Sub-1 GHz network has been implemented. This system was used to test and evaluate the system's ability in practice.

Keywords: Internet of Thing, Low-Power Wide Area Network, Wireless Network.**GHI CHÚ:**

Sau khi bài viết đã được Hội đồng biên tập chọn đăng, đề nghị tác giả cung cấp 1 tệp ảnh chân dung và một số thông tin lý lịch ngắn gọn bằng tiếng Việt, bao gồm: họ và tên, ngày sinh, nơi sinh, chức danh, chức vụ, sơ lược quá trình học tập và công tác (những mốc thời gian chính, năm và nơi cấp học hàm, học vị, ...), lĩnh vực nghiên cứu và thành tích...

Những thông tin về tác giả sẽ được in vào cuối mỗi bài viết.