

# ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI

TRƯỜNG ĐIỆN – ĐIỆN TỬ

----- □ & □ -----



## BÁO CÁO ĐỒ ÁN II

**Đề tài: Thiết kế mạng cảm biến đo nhiệt độ, độ ẩm, độ PH đất sử dụng truyền thông không dây và có hiển thị lên Web Server**

**GVHD: TS Trần Thị Anh Xuân**

STT	Họ và tên	MSSV
1	Trần Văn Lượng	20202446
2	Nguyễn Xuân Mai	20200382

**Hà Nội, tháng 12/2023**

# MỤC LỤC

MỤC LỤC .....	2
DANH MỤC HÌNH ẢNH .....	4
DANH MỤC BẢNG .....	6
CHƯƠNG 1: TÌM HIỂU VỀ CÁC ĐỒ ÁN LIÊN QUAN.....	7
1.1. Đề tài: Development of soil moisture measurement with wireless sensor web-based concept.....	7
1.2. Đề tài: A Wireless Sensor Network Deployment for Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture .....	7
1.3. Tên đề tài: Cloud based Low-Power Long-Range IoT Network for Soil Moisture monitoring in Agriculture .....	7
1.4. Design of IoT Monitoring System Based on LoRa Technology for Starfruit Plantation.....	8
1.5. Sản phẩm thực tế E-SENSOR® SLAVE SME WIRELESS SENSOR .....	10
1.6. So sánh các đồ án liên quan .....	10
CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ NGUYÊN LÝ ĐO.....	15
2.1. Cơ sở lý thuyết thiết bị đo môi trường .....	15
2.1.1. Thiết bị đo môi trường .....	15
2.1.2. Nguyên lý đo .....	15
2.2. Cơ sở lý thuyết mạng cảm biến và truyền thông không dây .....	22
2.2.1. Tổng quan về công nghệ truyền thông không dây .....	22
2.2.2. Mô hình truyền thông không dây .....	22
2.2.3. Phân loại mạng không dây .....	22
2.2.4. WIFI .....	24
2.2.5. BLE .....	24
2.2.6. Zigbee .....	24
2.2.7. Lora .....	27
CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH THIẾT KẾ .....	31
3.1. Kiến trúc chung nút cảm biến không dây .....	31
3.2. Tính toán nguồn cho node cảm biến không dây .....	31
3.3. Thiết kế mạch nguyên lý cho nút cảm biến .....	33
3.3.1. Khối MCU .....	33
3.3.2. Khối truyền thông không dây .....	34
3.3.3. Khối cảm biến .....	35
3.3.4. Khối hiển thị .....	36
3.3.5. Khối nguồn .....	36

3.4. Thiết kế sơ đồ nguyên lý cho gateway .....	37
3.4.1. Khối MCU.....	38
3.4.2. Khối Truyền thông không dây .....	39
3.4.3. Khối nguồn .....	40
3.5. Thiết kế phần mềm .....	41
3.5.1. Thiết kế phần mềm cho node .....	41
3.5.2. Thiết kế phần mềm cho gateway .....	42
3.6. Kịch bản cho Node cảm biến.....	43
3.6.1. Thêm hoặc bớt 1 node ra khỏi mạng.....	43
3.6.2. Tránh xâm lấn bản tin.....	43
3.6.3. Quy định cấu trúc khung bản tin.....	43
<b>CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ .....</b>	<b>45</b>
4.1. Thiết kế mạch in cho hệ thống .....	45
4.2. Kết quả thử nghiệm và đánh giá.....	47
4.2.1. Kết quả kiểm tra nguồn.....	47
4.2.2. Kết quả kiểm tra node .....	49
4.2.3. Kết quả thử nghiệm độ chính xác cảm biến.....	50
4.2.4. Kết quả kiểm tra Gateway.....	52
4.2.5. Kết quả kiểm tra đánh giá chất lượng hệ thống .....	53
<b>HOÀN THIỆN SẢN PHẨM.....</b>	<b>57</b>
<b>CHƯƠNG 5: TÀI LIỆU THAM KHẢO.....</b>	<b>58</b>

# DANH MỤC HÌNH ẢNH

Hình 1.3.1: Sơ đồ tổng quan .....	8
Hình 1.4.1: Sơ đồ bố trí .....	9
Hình 1.6.1: Thông kê cảm biến độ ẩm đất sử dụng trong các bài báo gần đây .....	13
Hình 1.6.2: Thông kê các loại vi điều khiển sử dụng trong các bài báo gần đây .....	13
Hình 1.6.3: Thông kê công nghệ truyền tin không dây sử dụng trong các bài báo gần đây .....	14
Hình 2.1.1: Các loại cảm biến nhiệt .....	16
Hình 2.1.2: Cảm biến nhiệt hồng ngoại .....	17
Hình 2.1.3: Cảm biến độ ẩm điện trở .....	19
Hình 2.1.4: Cảm biến độ ẩm điện dung .....	20
Hình 2.1.5: Cảm biến tích hợp .....	21
Hình 2.2.1: Mô hình truyền thông không dây .....	22
Hình 2.2.2: Các chuẩn truyền thông không dây .....	23
Hình 2.2.3: Hình dạng tín hiệu .....	28
Hình 2.2.4: Tỷ lệ mã hóa .....	29
Hình 2.2.5: Hệ số trải phổ .....	29
Hình 2.2.6: Băng thông của LoRa .....	30
Hình 3.1.1: Sơ đồ tổng quan chung của node cảm biến .....	31
Hình 3.3.1: Sơ đồ nguyên lý tổng quan của node .....	33
Hình 3.3.2: Sơ đồ nguyên lý khói MCU của Node .....	34
Hình 3.3.3: Khối truyền thông không dây của Node .....	35
Hình 3.3.4: Sơ đồ nguyên lý khói cảm biến của thiết bị Node .....	36
Hình 3.3.5: Khối nguồn của Node .....	36
Hình 3.4.1: Sơ đồ tổng quan chung của Gateway .....	37
Hình 3.4.2: Sơ đồ nguyên lý của Gateway .....	38
Hình 3.4.3: Khối MCU của Gateway .....	39
Hình 3.4.4: Khối truyền thông không dây của Gateway .....	39
Hình 3.4.5: Khối nguồn của Gateway .....	40
Hình 3.5.1: Lưu đồ thuật toán của Node .....	41
Hình 3.5.2: Quy trình hoạt động của Node .....	42
Hình 3.5.3: Lưu đồ thuật toán của Gateway .....	42
Hình 3.6.1: Khung bản tin xin nhập nút cảm biến .....	44
Hình 3.6.2: Khung bản tin phản hồi .....	44
Hình 4.1.1: Hình ảnh 3D của Node cảm biến .....	45
Hình 4.1.2: Mạch in 3D của Gateway .....	45
Hình 4.1.3: Ảnh thực tế của Node .....	46
Hình 4.1.4: Hình ảnh thực tế của Gateway .....	46
Hình 4.1.6: Hình ảnh các Node trên giao diện Web .....	47
Hình 4.2.1: Điện áp tại Node .....	48
Hình 4.2.2: Điện áp và độ đậm mạch áp tại Gateway .....	48
Hình 4.2.3: Điện áp đầu vào Lora .....	49
Hình 4.2.4: Giai đoạn đầu của chu trình Node .....	50
Hình 4.2.5: Bố trí thí nghiệm kiểm tra cảm biến .....	51
Hình 4.2.6: Bố trí thí nghiệm kiểm tra cảm biến trong nhà .....	51
Hình 4.2.7: Quá trình kết nối với Wifi .....	52

Hình 4.2.8: Quá trình các node ra vào mạng và Gateway gửi bản tin phản hồi.....	53
Hình 4.2.9: Quá trình kết nối MQTT.....	53
Hình 4.2.10: Khoảng cách kết nối tối đa .....	54
Hình 4.2.11: RSSI và SNR của hệ thống.....	54
Hình 4.2.12: Danh sách các node chờ thêm vào mạng và danh sách các node đang ở trong mạng.....	55
Hình 4.2.13: Hình ảnh setup thử nghiệm hệ thống .....	55
Hình 4.2.14: Bản tin Gateway gửi về để kiểm tra tỉ lệ lỗi.....	56

## **DANH MỤC BẢNG**

Bảng 1.3.1: Giá thành tính toán.....	8
Bảng 1.4.1: Đặc điểm truyền nhận của Lora .....	9
Bảng 1.4.2: Kết quả khảo sát .....	10
Bảng 1.6.1: Bảng so sánh các đồ án liên quan.....	10
Bảng 1.6.2: Các module giao tiếp được sử dụng nhiều nhất .....	13
Bảng 2.2.1: Bảng so sánh các công nghệ truyền tin không dây.....	25
Bảng 3.2.1: Các chế độ hoạt động của node cảm biến .....	31
Bảng 3.2.2: Bảng tính toán công suất của 1 node cảm biến .....	32
Bảng 4.2.1: Kết quả so sánh giữa cảm biến và thiết bị chính xác.....	51
Bảng 4.2.2: Kết quả thử nghiệm cảm biến trong nhà.....	52
Bảng 4.2.3: Đánh giá tỷ lệ bản tin.....	56

# CHƯƠNG 1: TÌM HIỂU VỀ CÁC ĐỒ ÁN LIÊN QUAN

## 1.1. Đề tài: Development of soil moisture measurement with wireless sensor web-based concept

Đường dẫn: February 2019 [Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science](#) 13(2):514

a) Cảm biến độ ẩm SEN0114P: 4,22\$

Là cảm biến độ ẩm có 3 đầu ra GND, Vcc, Vs. Việc sử dụng hai dây dẫn nhằm mục đích truyền dòng điện qua mặt đất nên rất nhạy cảm với điện tích. Điện áp hoạt động từ 3.3V – 5VDC, điện áp đầu ra 0 – 4.2V.

Sử dụng cảm biến độ ẩm điện trở nên dễ bị ảnh hưởng bởi muối hoặc chất nền trong đất.

b) Công nghệ truyền tin không dây: dùng MCU ESP8266 + Wifi

c) Kết quả đạt được:

- ✓ Sai số trung bình với American Standard Method (ASM) là 1.03%, và với máy đo độ ẩm của nsx là 1.86% .
- ✓ Khoảng cách kết nối là 14m với di chuyển hệ thống cảm biến ra các khoảng cách khác nhau với máy chủ và khi di chuyển máy chủ thì khoảng cách tối đa là 28m.

## 1.2. Đề tài: A Wireless Sensor Network Deployment for Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture

Đường dẫn: [Sensors | Free Full-Text | A Wireless Sensor Network Deployment for Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture \(mdpi.com\)](#)

a) Cảm biến

Thiết kế lại cảm biến độ đât, bao gồm hai cuộn dây điện từ được quấn trên cùng một ống nhựa PVC. Cuộn dây 1 nhận tín hiệu hình sin được tạo ra bởi mạch nguồn dựa trên ICM7555 tích hợp. Cuộn dây 1 tạo ra dòng điện trên Cuộn dây 2, từ trường bị ảnh hưởng bởi loại đất và hàm lượng nước bên trong nó.

b) Công nghệ truyền tin: Sử dụng module ESP32 và Wifi

c) Kết quả: kết quả đo chính xác đến 95% và kq tốt nhất khi đặt bộ phát ở kc 0.5-1m và bộ thu dc đặt gần mặt đất là, RSSI ở 20m là -60dBm

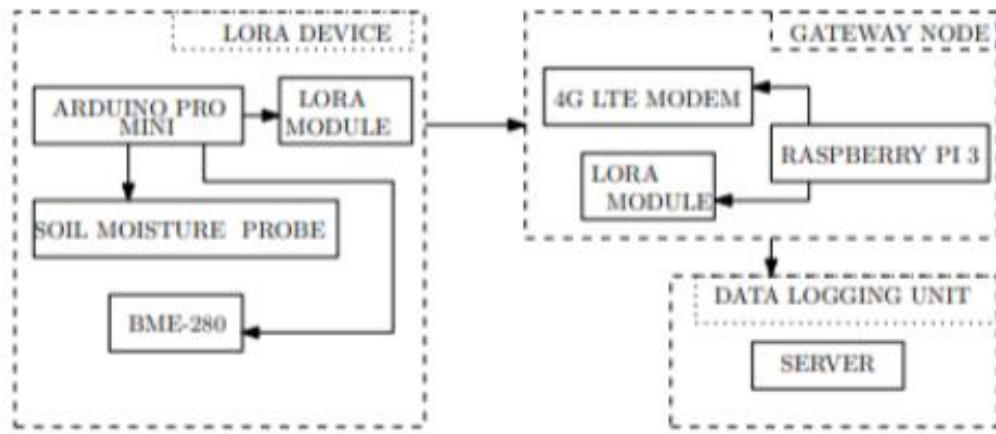
## 1.3. Tên đề tài: Cloud based Low-Power Long-Range IoT Network for Soil Moisture monitoring in Agriculture

a) Cảm biến: Sử dụng cảm biến độ ẩm dựa trên nguyên lý điện dung

b) Công nghệ truyền tin không dây:

Sử dụng Lora làm giao thức truyền thông, sử dụng băng tần ISM 868MHz để truyền tín hiệu, đặt 2 node trong một khu vực

Sơ đồ tổng quan:



Hình 1.3.1: Sơ đồ tổng quan

c) Kết quả đạt được:

Node công suất thấp: 120mA khi hoạt động và 716.7uA khi ở trạng thái ngủ => 8.2h cho pin 1000mAh.

Giá thành tính toán:

Bảng 1.3.1: Giá thành tính toán

Components Used	Cost(\$)
Dorji DRF1276 LoRa IC	8.485
Arduino Pro mini Board	2.404
PCB	2.825
Soil Moisture Sensor	2.404
BME - 280	6.647
3.7V Battery	4.596
Total	27.361

TABLE I  
COST ANALYSIS OF THE PROPOSED IoT NETWORK

RSSI được quan sát cao hơn nhiều so với mức nhiễu được xác định -127dBm so với mức nhiễu dc xác định theo datasheet của SX1276, khoảng cách giao tiếp <1.8 Km.

#### 1.4. Design of IoT Monitoring System Based on LoRa Technology for Starfruit Plantation

a) Cảm biến độ ẩm đất: SEN0193 có giá trị số từ 0-520, cảm biến PH

Thông số:

- Operating Voltage: 3.3 ~ 5.5 VDC
- Output Voltage: 0 ~ 3.0VDC
- Operating Current: 5mA
- Interface: PH2.0-3P
- Dimensions: 3.86 x 0.905 inches (L x W)
- Weight: 15g

Dựa trên nguyên lý cảm biến độ ẩm điện dung

b) Công nghệ truyền tin không dây sử dụng:

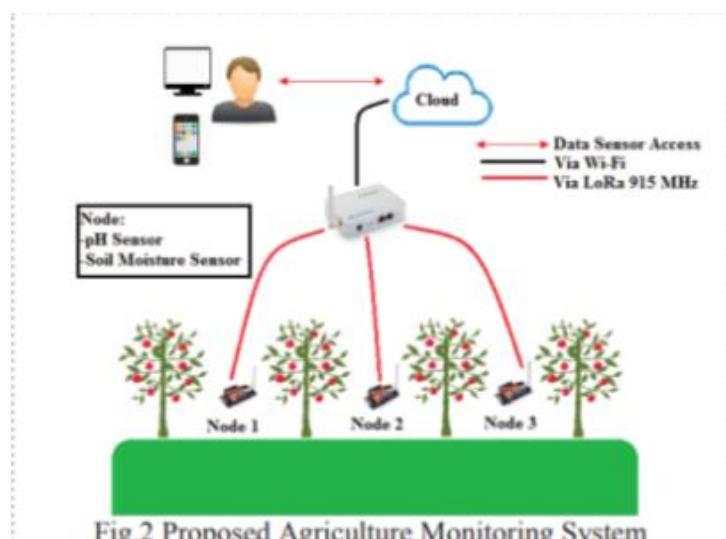
+ Bộ thu phát module Lora, VĐK Arduino UNO

+ Wemos d1 được sử dụng để truyền dữ liệu tới cơ sở dữ liệu trên đám mây

Bảng 1.4.1: Đặc điểm truyền nhận của Lora

Table III. Specification of LoRa Transceiver

Characteristic	Master	Client
Module	Dragino LoRa	Dragino LoRa
Power	14 dBm	14 dBm
Gain Antenna	2 dBi	2 dBi
Bandwidth	125 KHz	125 KHz
Spreading Factor	7	7
Coding Rate	4/5	4/5
Frequency Carrier	915 MHz	915 MHz



Hình 1.4.1: Sơ đồ bố trí

### Kết quả đạt được:

RSSI (Cường độ tín hiệu nhận được), PDR (Tỷ lệ phân phối gói tin) và SNR (Tỷ lệ tín hiệu trên nhiễu)

RSSSI (Received Signal Strength Indicator): bản chất của nó là chỉ số cường độ tín hiệu thu hay phép đo mức độ thiết bị có thể nghe thấy tín hiệu từ điểm truy cập hoặc bộ định và nó được định nghĩa trong chuẩn IEEE 802.11.

PDR (Packet Delivery Ratio): là tỉ lệ số gói dữ liệu được phân phối thành công đến nút đích trên tổng số gói dữ liệu gửi đi từ nút nguồn.

SNR (Signal to Noise Ratio) Nó thường được sử dụng để đánh giá chất lượng tín hiệu, bao gồm tín hiệu âm thanh, tín hiệu điện và tín hiệu từ các thiết bị khác nhau

Bảng 1.4.2: Kết quả khảo sát

Range	Client 1			Client 2			Client 3		
	RSSI (dBm)	SNR (dB)	PDR (%)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	PDR(%)	RSSI (dBm)	SNR (dB)	PDR (%)
100	-69	6	100.00	-71	6	100.00	-71	6	100.00
200	-80	5	100.00	-80	5	95.83	-81	5	100.00
300	-92	4	86.95	-93	4	86.95	-94	4	91.30
400	-101	3	78.26	-106	3	73.91	-104	3	78.26
500	-109	3	68.10	-110	3	68.10	-112	3	68.10
600	-116	2	59.00	-117	2	59.00	-118	2	59.00
700	-120	1	40.90	-122	1	36.00	-123	1	40.90

Thời gian phản hồi trung bình là 0.408s

## 1.5. Sản phẩm thực tế E-SENSOR® SLAVE SME WIRELESS SENSOR

a) Cảm biến: 3 đầu dò, Đầu dò thép không rỉ – vỏ đạt tiêu chuẩn IP68 có thể cắm và chôn dưới đất.

b) Công nghệ truyền tin không dây: LORA/RF (433HZ)

c) Kết quả

Phạm vi đo nhiệt độ: -40 – 80 oC, Độ chính xác:  $\pm 0.5$  oC

- Phạm vi đo độ ẩm đất: 0 – 50%, Độ chính xác:  $\pm 2\%$ ; 0 – 100%, Độ chính xác:  $\pm 3\%$ .

- Phạm vi đo EC trong đất: 0 – 10000 uS/cm,

Độ chính xác:  $\pm 3\%$ ; 10000 – 20000 uS/cm,

Độ chính xác:  $\pm 5\%$

- Cảm biến đo thông số môi trường liên tục và gửi dữ liệu về máy chủ đám mây (cloud server) cho phép người dùng giám sát qua Apps và web portal hoặc xem trực tiếp tại màn hình trên bộ trung tâm.

[E-Sensor Slave SME | Eplusi Technology](#)

Datasheet: [E-SENSOR\\_SLAVE\\_SME\\_SPEC.pdf](#) - Google Drive

## 1.6. So sánh các đồ án liên quan

Bảng 1.6.1: Bảng so sánh các đồ án liên quan

Tên	Cáu tạo	Truyền thông không dây	Tính năng, kết quả nghiên cứu	Ưu điểm	Nhược điểm	Giá thành
Development of soil moisture measurement with wireless sensor web-based concept T2/2019	SEN 0114, Arduino, ESP8266	Wifi	+ Hệ thống đo độ ẩm và truyền thông không dây tới máy chủ, đk qua Web server. + Khoảng cách kết nối là 14m với di chuyển	+ Kết quả đo khá chính xác với sai số trung bình 1.03% với ASM. + Thiết kế đơn giản,	+ Khoảng cách 14m, 28m là khá bé nếu muốn ứng dụng trong nông nghiệp thực	~20\$/1node

			hệ thống cảm biến ra các khoảng cách khác nhau với máy chủ và khi di chuyển máy chủ thì khoảng cách tối đa là 28m	cấu hình không quá phức tạp	té với diện tích vài ha. + Module Wifi có mức tiêu thụ năng lượng trung bình không phù hợp với hệ thống năng lượng thấp.	
A Wireless Sensor Network Deployment for Soil Moisture Monitoring in Precision Agriculture 30/11/2021	Gồm 3 node với 3 chức năng, ESP32, cảm biến độ ẩm,	Wifi	+ Hệ thống theo dõi độ ẩm đất với 3 node với 3 chức năng: cảm biến, truyền động, biên + Kết quả đo chính xác đến 95% và kq tốt nhất khi đặt bộ phát ở kc 0.5-1m và bộ thu dc đặt gần mặt đất là, RSSI ở 20m là -60dBm	+ RSSI khá tốt với kc tầm 20m + Tự thiết kế cảm biến độ ẩm đất nên có thể điều chỉnh theo ý muốn + Hệ thống phân cấp các node giúp dễ dàng thay thế, điện toán biên giúp giải quyết vấn đề real-time, cảnh báo và theo dõi chính xác	+ Tương tự như hệ thống trên mặc dù có hệ số RSSI khá tốt ở 20m nhưng module Wifi vẫn chưa đáp ứng đủ yêu cầu về diện tích lớn + Thiết kế lại cb đất khá phức tạp trong tính toán	N/A
Cloud based Low-Power Long-Range IoT Network for Soil Moisture monitoring in Agriculture IEEE 2020	Node: Arduino, DRF1276 Lora, Soil Moisture Sensor, BME-280	Lora ISM 915Mhz	+ Xây dựng thành công nền tảng IoT năng lượng thấp dựa trên Lora đo nhiệt độ, độ ẩm	Khoảng cách truyền xa ~1,8km phù hợp với nông nghiệp	Thiết kế khá phức tạp, nhiều công đoạn	27.4\$/1 node

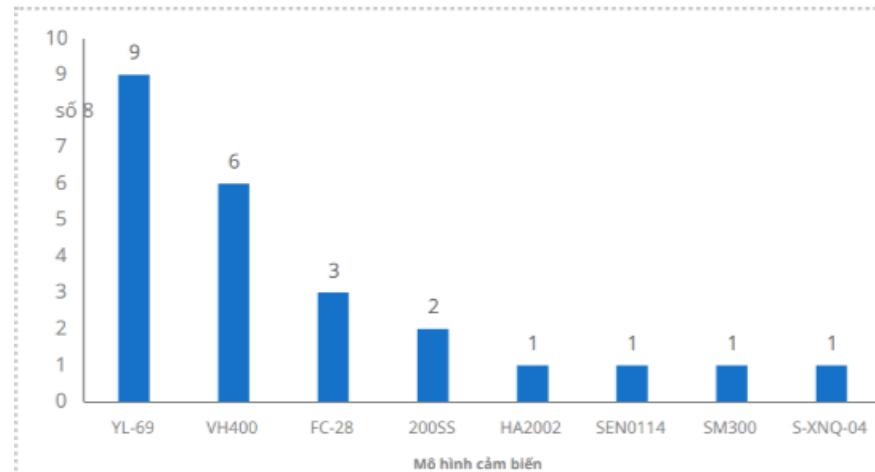
	Gateway: 4G LTE Modem, Lora module, Rasberry Pi3, sever		đất và gửi dữ liệu lên Web + Giao tiếp ít bị méo tiếng trong bán kính 1.8km + Công suất ở node: 120mA khi hoạt động và 716.7uA khi ở trạng thái ngủ => 8.2h cho pin 1000mAh.	Công suất thấp tiết kiệm năng lượng Chi phí phù hợp với nông dân		
Design of IoT Monitoring System Based on LoRa Technology for Starfruit Plantation TENCON 2018	Node: Module thu phát Lora Dragino, Arduino UNO, SEN 0193, CB PH, Wemos D1	Lora	+ Xây dựng thành công hệ thống ở độn điều tròng khé với dữ liệu đo gửi về Web và App 8h/1 lần + Các thông số RSSI, SNR, PDR ở mức khá và kết nối đc trong khoảng 700m + Thời gian phản hồi tb 0.408s	Khoảng cách ~700m không quá tốt nhưng cũng tạm ổn với trang trại vừa Có cả giao diện web lẫn app đth giúp người dùng dễ dàng theo dõi	Khoảng cách tầm trung, còn hạn chế với các trang trại lớn	50\$/1 node và 1 gate
Development of Wireless Sensor Network for Harumanis Mango Orchard's Temperature, Humidity and Soil Moisture Monitoring	Cảm biến nhiệt độ, độ ẩm, module nRF24L01, PIC8F4550, SN-M114	RF	Theo dõi các thông số môi trường, độ ẩm đất và truyền thông không dây qua module RF Kích thước vườn cây thử nghiệm là 30x50m, node các mặt đất 0.5m Trạm cách mặt đất 50m	Giúp phân tích đk môi trường cụ thể là vườn xoài	Khoảng cách còn hạn chế với các vườn cây có diện tích lớn	N/A

Một vài số liệu thu thập về các loại cảm biến độ ẩm đất và công nghệ truyền tin không dây

Bảng 1.6.2: Các module giao tiếp được sử dụng nhiều nhất

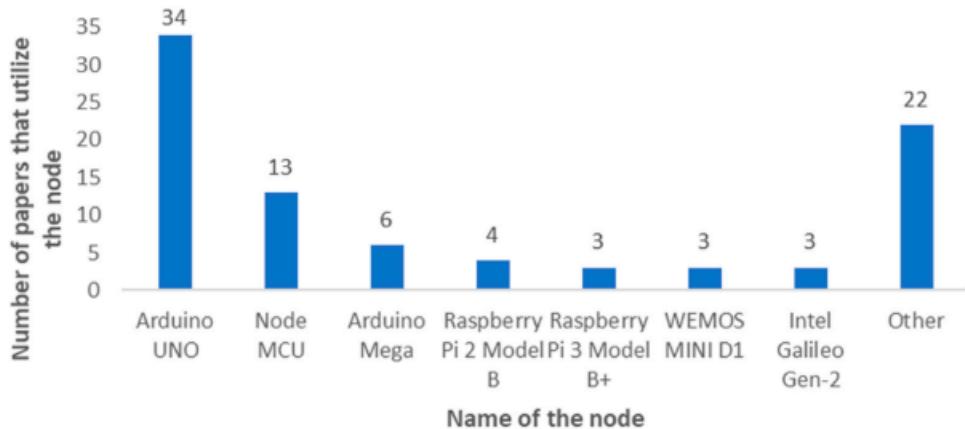
Bảng 7.Các mô-đun giao tiếp được sử dụng nhiều nhất.

Công nghệ	Người giới thiệu
ESP8266	[34,43,47,56,64,69,71,82,84,86,87,94,97,111,113,114,116,119,123,126,127,129,158,160,166,168,169,177,182,187,193]
SIM900	[35,36,44,61,72,122,129,179,192]
NRF24L01	[124,131,173] [
XBee S2	119,121,144]
SX1276	[78,95,145]



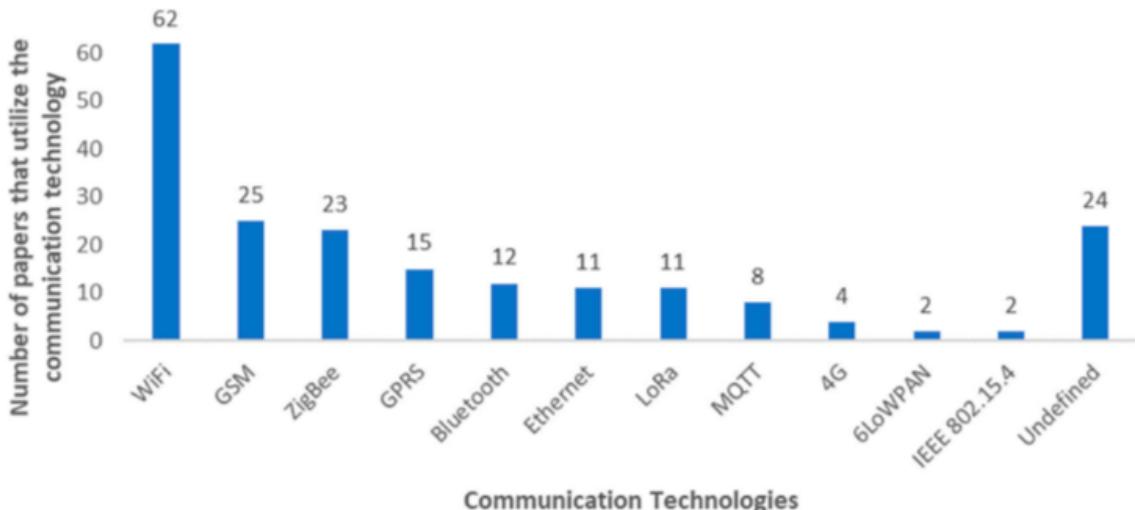
Hình 13.Số lượng bài báo sử dụng các mô hình cảm biến độ ẩm đất khác nhau.

Hình 1.6.1:Thống kê cảm biến độ ẩm đất sử dụng trong các bài báo gần đây



Hình 21.Các nút được sử dụng nhiều nhất để triển khai hệ thống tưới tiêu IoT.

Hình 1.6.2: Thống kê các loại vi điều khiển sử dụng trong các bài báo gần đây



Hình 1.6.3: Thông kê công nghệ truyền tin không dây sử dụng trong các bài báo gần đây

### Tổng kết:

Có 2 loại độ ẩm trong thực tế:

- ❖ Độ ẩm tuyệt đối là lượng hơi nước tồn tại trong một thể tích hỗn hợp dạng khí cụ thể (độ ẩm tuyệt đối được xác định bằng tỷ số giữa khối lượng hơi nước (gam) trên thể tích của một hỗn hợp không khí ( $m^3$ ) chứa nó).
- ❖ Độ ẩm tương đối (hay còn gọi là độ ẩm tỉ đối) là tỷ số áp suất hơi nước hiện tại của hỗn hợp khí với hơi nước so với áp suất hơi nước bão hòa (tỉ số của khối lượng nước trên thể tích hiện tại so với khối lượng nước trên cùng thể tích đó khi hơi nước bão hòa).

## CHƯƠNG 2: CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ NGUYÊN LÝ ĐO

### 2.1. Cơ sở lý thuyết của thiết bị đo môi trường

#### 2.1.1. Thiết bị đo môi trường

Thiết bị đo môi trường là các công cụ hoặc máy móc được sử dụng để đo lường và giám sát các yếu tố môi trường như khí, nước, đất, và tiếng ồn trong môi trường sống và làm việc. Các thiết bị này có thể đo đặc các thông số như nồng độ khí CO<sub>2</sub>, ô nhiễm không khí, nồng độ ozone, pH của nước, nồng độ các chất độc hại trong đất, cũng như các yếu tố khác như nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, và áp suất không khí.

Thiết bị đo môi trường có thể được phân loại theo nhiều tiêu chí khác nhau, bao gồm nguyên tắc hoạt động, ứng dụng, và loại dữ liệu mà chúng thu thập. Dưới đây là một số phân loại chính của thiết bị đo môi trường:

- Thiết bị đo chất lượng không khí đo lường các thông số như hàm lượng khí thải (khí NOx, SOx, CO, CO<sub>2</sub>), bụi mịn (PM<sub>2.5</sub>, PM<sub>10</sub>), ô-zôn (O<sub>3</sub>) và các chất ô nhiễm khác trong không khí. Các thiết bị đo chất lượng nước đo lường các thông số như độ pH, Oxi hòa tan (DO), hàm lượng các chất hữu cơ và không hữu cơ, vi khuẩn, độ đục, nồng độ các chất như nitrat (N), phosphat (P), kali (K), kim loại nặng, và các chất ô nhiễm khác.
- Các cảm biến đo độ ẩm đất đo lường độ ẩm trong đất thông qua sự thay đổi về điện trở hoặc dung lượng điện.
- Các thiết bị đo nhiệt độ bao gồm nhiệt kế thông thường, cảm biến nhiệt độ không dây, thiết bị đo nhiệt độ bề mặt và nhiều loại cảm biến nhiệt độ khác.
- Các cảm biến đo độ ẩm không khí đo lường độ ẩm tương đối và tuyệt đối trong không khí.
- Ngoài ra còn nhiều loại thiết bị đo, cảm biến độ rung, độ ồn, độ sáng, tia UV, khí thải...

Dựa trên số liệu thu thập được từ các thiết bị đo môi trường trên, ta sẽ có thông tin chi tiết về trạng thái, các thông số quan trọng của môi trường cần quan tâm, từ đó tiến hành tác động, cải tạo, điều chỉnh để kiểm soát, tối ưu hóa sử dụng tài nguyên, nâng cao hiệu suất sản xuất mà vẫn bảo vệ sức khỏe cộng đồng và hệ sinh thái thiên nhiên.

#### 2.1.2. Nguyên lý đo

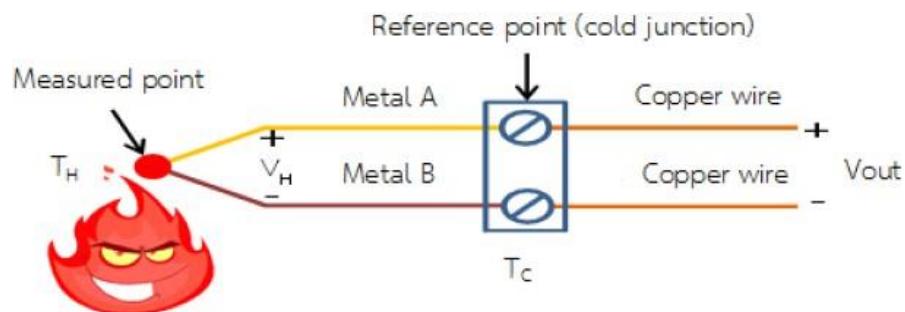
##### 2.1.2.1. Nguyên lý đo nhiệt độ của đất

Cảm biến nhiệt độ là một loại thiết bị dùng để đo lường và giám sát nhiệt độ của môi trường hoặc vật thể. Chúng là một phần quan trọng trong các ứng dụng đo nhiệt độ trong nhiều lĩnh vực, từ công nghiệp, nông nghiệp, y tế, điện tử, đèn ô tô và gia dụng. Cảm biến nhiệt độ có thể được phân loại dựa trên nguyên lý hoạt động và loại cảm biến.



Hình 2.1.1: Các loại cảm biến nhiệt

Cặp nhiệt điện (Thermocouple) là một trong những loại cảm biến nhiệt độ phổ biến nhất. Nguyên lý hoạt động của thermocouple dựa trên hiệu ứng Seebeck, là hiện tượng một điện thế được tạo ra khi hai đầu của hai dây dẫn điện khác nhau tiếp xúc với nhau ở hai nhiệt độ khác nhau. Sự khác biệt nhiệt độ này tạo ra một dòng điện trong mạch. Độ lớn của điện thế này phụ thuộc vào loại vật liệu của hai dây và sự chênh lệch nhiệt độ giữa hai đầu.



Cảm biến nhiệt điện trở là một loại cảm biến được sử dụng để đo nhiệt độ. Nó hoạt động dựa trên sự thay đổi của điện trở khi nhiệt độ thay đổi. Cụ thể, các cảm biến này thường sử dụng các loại vật liệu có điện trở biến thiên theo nhiệt độ, chẳng hạn như platinum, nickel hoặc thermistors (vật liệu dẫn điện có khả năng điện trở biến đổi mạnh khi nhiệt độ thay đổi). Khi nhiệt độ tăng lên, điện trở của vật liệu này thường giảm đi hoặc tăng lên tùy thuộc vào loại cảm biến. Các thiết bị điện tử sẽ đo sự thay đổi này và chuyển đổi nó thành giá trị nhiệt độ tương ứng.

Các cảm biến diode thường sử dụng các đặc tính điện tử của diode để chuyển đổi các biến đổi vật lý của môi trường thành tín hiệu điện. Cảm biến này được tích hợp vào nhiều thiết bị điện tử như vi xử lý và cảm biến.

Ngoài các loại cảm biến tiếp xúc trực tiếp, còn có loại cảm biến đo nhiệt không tiếp xúc sử dụng siêu âm, laser. Các loại cảm biến này thường sử dụng các nguyên lý vật lý hoặc hóa học để đo lường thông số môi trường từ xa. Chúng thích hợp để đo nhiệt độ trong các môi trường nguy hiểm hoặc khó tiếp cận.



Hình 2.1.2: Cảm biến nhiệt hồng ngoại

### 2.1.2.2. Nguyên lý đo độ ẩm đất

❖ Cảm biến độ ẩm điện dung  
Cảm biến thường có ít nhất hai điện cực được sử dụng để đo lường điện dung của vật liệu cảm biến. Thông thường, một điện cực là điện cực cố định, trong khi điện cực còn lại là điện cực di động hoặc cảm biến. Nguyên lý hoạt động của sự thay đổi điện dung của một vật liệu hoặc cấu trúc điện tử khi tiếp xúc với độ ẩm. Cảm biến độ ẩm điện dung thường sử dụng các vật liệu có tính chất hấp thụ nước. Khi vật liệu này tiếp xúc với không khí có độ ẩm, nó sẽ hấp thụ nước và thay đổi điện dung.

Ưu điểm : chi phí thấp, tiêu hao ít năng lượng

Nhược điểm: Không chính xác với độ mặn cao

#### ❖ Cảm biến độ ẩm dẫn điện

Cảm biến độ ẩm dẫn điện hoạt động dựa trên nguyên lý rằng độ dẫn điện của một vật liệu sẽ thay đổi tùy thuộc vào độ ẩm trong môi trường. Là thiết bị cảm biến dùng để đo giá trị tuyệt đối của độ ẩm thông qua việc tính toán mức độ dẫn nhiệt của không khí ẩm và không khí khô. Cảm biến độ ẩm dẫn điện thường sử dụng các vật liệu có khả năng hấp thụ nước và thay đổi độ dẫn điện của chúng theo độ ẩm. Các vật liệu thường được sử dụng bao gồm polyme dẫn điện, chất gel, hoặc các chất hấp thụ nước khác. Khi vật liệu cảm biến tiếp xúc với không khí có độ ẩm, nó sẽ hấp thụ nước và thay đổi độ dẫn điện của mình.

#### ❖ Cảm biến độ ẩm điện trở

Đây là loại cảm biến hoạt động dựa trên polymer hoặc súp hấp thụ độ ẩm, sau đó ảnh hưởng đến điện trở suất của nó. Và được kết nối với một mạch trong đó độ ẩm ảnh hưởng đến điện trở của vật liệu. Từ đó độ ẩm tương đối sau đó được xác định dựa trên sự thay đổi của dòng điện.

Nhược điểm: dễ bị ảnh hưởng bởi các môi trường khác nhau hiệu chuẩn theo hàm lượng đất và môi trường muối trong đất .

Ưu điểm: Chính xác cao

Nhược điểm: tốn kém, yêu cầu do giải phóng phóng xạ

#### ❖ Cảm biến TDR (Time domain reflectometry)

Xác định độ ẩm của đất bằng cách đo thời gian truyền của xung điện từ được phóng đọc theo đầu dò kim loại song song được chôn trong đất. Người ta đã chứng minh rằng thời gian truyền xung tỷ lệ thuận với hằng số điện môi biến kiển của đất

Ưu điểm: Ưu điểm chính của công nghệ này là độ chính xác cao, có thể tự động hóa, cung cấp các phép đo đơn giản và không phụ thuộc vào kết cấu đất, độ xốp, nhiệt độ và độ mặn

Một số nhược điểm liên quan đến chi phí thiết bị để lắp đặt cảm biến và khả năng ứng dụng hạn chế của cảm biến trong đất có điều kiện độ mặn cao hoặc đất có đất sét dẫn điện cao

❖ Cảm biến FDR (*Frequency domain reflectometry*)

Sử dụng đất làm tụ điện sóng điện từ được truyền đọc theo đầu đo và ghi lại tần số của sóng phản xạ Tụ điện gồm hai điện cực kim loại hình trụ rỗng được bố trí đồng trục nhưng cách nhau vài mm bằng một lớp nhựa cách điện và việc sử dụng bộ dao động điện tử tạo ra dạng sóng hình sin Điều này cho phép tụ điện tương tác với đất bên ngoài ống; do đó, điện dung đo được sẽ bị ảnh hưởng bởi độ thâm điện của khối đất và các lưỡng cực phản ứng với tần số của điện trường.Mối quan hệ giữa tần số dao động và hàm lượng nước trong đất là nghịch đảo.

#### 2.1.2.3. Nguyên lý đo độ Ph đất

Đầu dò của máy đo pH được thiết kế bằng kính có hai điện cực: Một là điện cực cảm biến bằng thủy tinh và điện cực còn lại là điện cực tham chiếu.

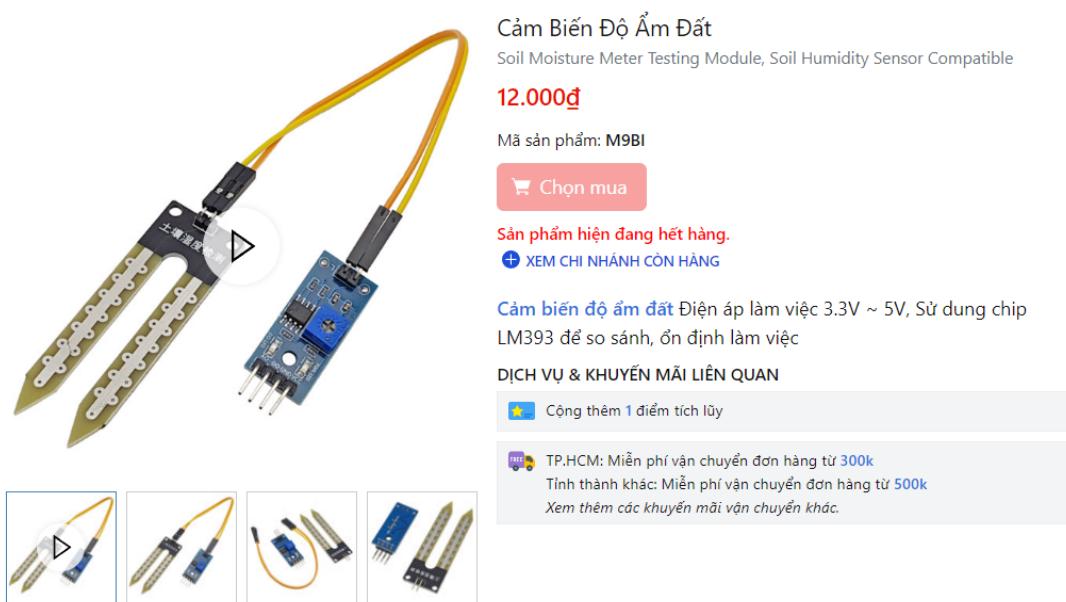
Nguyên lý đo: Máy đo pH cho một giá trị về nồng độ axit hoặc tính kiềm của chất lỏng.

Nguyên tắc hoạt động cơ bản của một máy đo pH là dựa trên đo lường nồng độ ion hydrogen ( $H^+$ ) trong dung dịch đất. Trong cảm biến pH, có một phản ứng hóa học xảy ra giữa điện cực và ion hydrogen. Phản ứng này tạo ra một biến đổi trong dòng điện hoặc điện thế, và điều này có thể được đo lường.

Cơ chế: Điện cực đo pH chứa một chất chuyển đổi ion hydrogen thành dòng điện. Khi điện cực này tiếp xúc với dung dịch có chứa ion hydrogen, nó tạo ra một dòng điện tương ứng với nồng độ ion  $H^+$  trong dung dịch.

#### 2.1.2.4. Các loại cảm biến trên thị trường

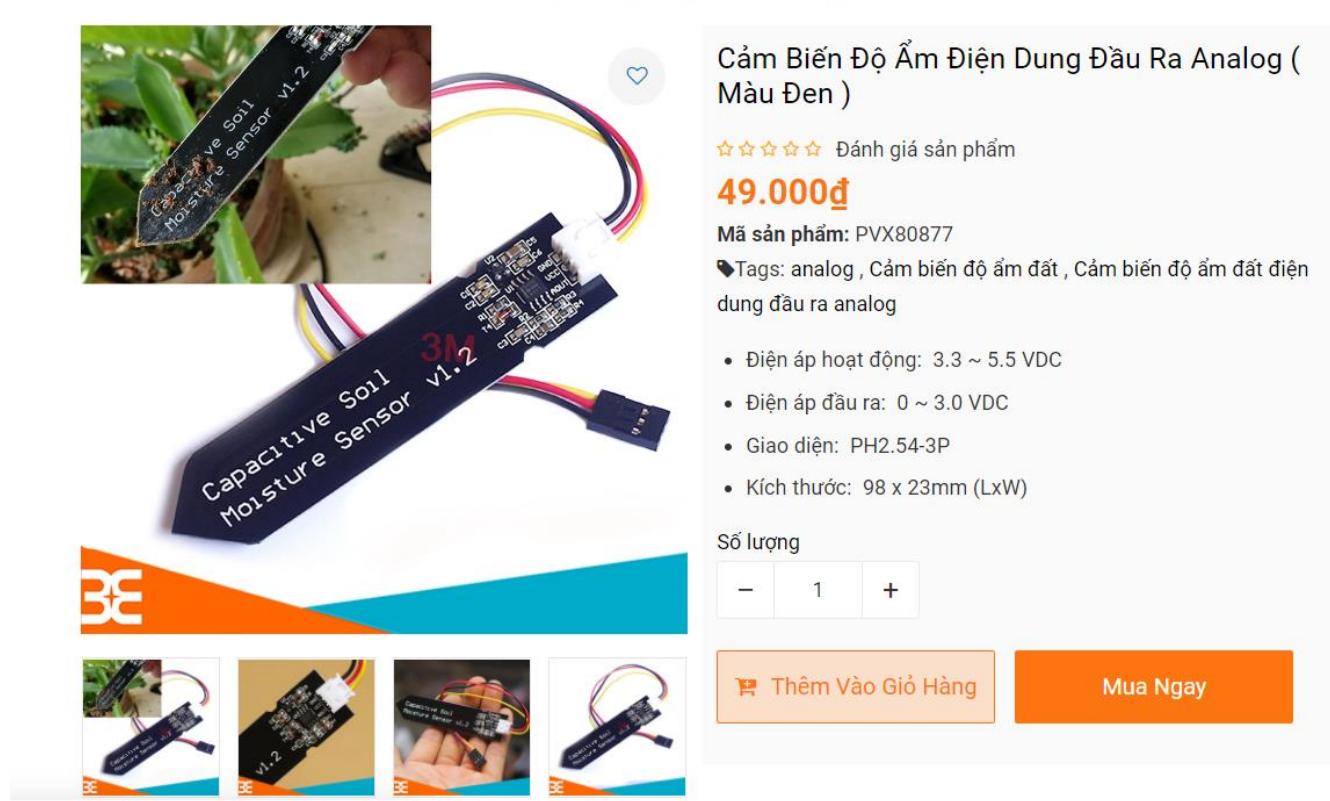
a) Cảm biến độ ẩm điện trở



*Hình 2.1.3: Cảm biến độ ẩm điện trở*

- Sử dụng theo nguyên lý độ ẩm điện trở: Độ chính xác thấp
  - + Điện áp làm việc 3.3V ~ 5V
  - + Có lỗ cố định để lắp đặt thuận tiện
  - + Kích thước: 59 \* 1.5 \* 19.6 mm
  - + Sử dụng chip LM393 để so sánh, ổn định làm việc
  - + Đầu kết nối sử dụng 3 dây
    - VCC      3.3V ~ 5V
    - GND      GND của nguồn ngoài
    - DO        Đầu ra tín hiệu số (mức cao hoặc mức thấp)
    - AO        Đầu ra tín hiệu tương tự (Analog)

b) Cảm biến độ ẩm điện dung



Hình 2.1.4: Cảm biến độ ẩm điện dung

- Dựa trên nguyên lý độ ẩm điện dung

- Ưu điểm hơn so với cảm biến điện trở độ ẩm: Bề ngoài được phủ lớp điện trở hàn làm giảm ăn mòn kim loại đầu dò như cảm biến điện trở.

c) Cảm biến tích hợp 4 đầu dò

[Capacitive Soil Moisture Sensor V2.0 | Makers Electronics](#)

Cảm biến đo PH trong đất



## Soil PH Sensor

The soil pH sensor is a device that measures the current pH of the soil. It detects the pH value of the soil by inserting two stainless steel probes vertically into the soil. We offer rs485 soil ph sensor, 0-5V soil ph sensor, 0-10V soil ph sensor, and 4-20ma soil ph sensor. This sensor can be used with our soil data logger.

- Model: RS-PH-\* -TR-1
- MOQ: 1 PCS
- Delivery date: within 24 hours
- Price: \$36.7

Contact us

Hình 2.1.5: Cảm biến tích hợp

[soil ph sensor soil meter for test ph value - Renkeer \(renkeer.com\)](#)

- Thông số

Nguồn điện : 5-30VDC

Công suất tiêu thụ tối đa : 0,5W

Dải đo : 3—9 PH

Độ phân giải : 0,1

Nhiệt độ hoạt động : -20oC~60oC

Độ ổn định lâu dài :  $\leq 5\%$ /năm

Thời gian đáp ứng : 10S

Mức bảo vệ : IP68

Vật liệu đầu dò : Điện cực đặc biệt chống ăn mòn Vật

liệu bít kín: Nhựa epoxy chống cháy màu đen

Tín hiệu đầu ra : RS485/4~20mA/0~5V/0~10V

Kích thước : 45\*15\*123mm

Cảm biến Tích hợp nhiều thông số:

7 trong 1 của nhà phân phối Trung Quốc. Các thông số của cảm biến được liệt kê như sau:

- Điện áp hoạt động: 5-24 VDC
- Điện năng tiêu thụ tối đa: 0.5W (tại 24V)
- Dải nhiệt độ hoạt động: - 40 °C đến 80 °C
- Chuẩn giao tiếp: RS-485
- Vỏ bảo vệ: IP68 (chống nước)

- Dải đo nhiệt độ đất: - 40 °C đến 115 °C
- Độ chính xác nhiệt độ:  $\pm 0.5$  °C
- Dải đo độ ẩm đất: 0 – 100 %RH
- Độ chính xác độ ẩm  $\pm 2\%$  (<50%RH),  $\pm 3\%$  (>50%RH)
- Dải đo pH đất: 3 – 9 pH
- Độ chính xác pH:  $\pm 0.3$  pH
- Dải đo độ dẫn điện đất: 0 – 10000  $\mu$ s/cm
- Độ chính xác dẫn điện:  $\pm 3\%$
- Dải đo vi lượng NPK: 1 – 2999 mg/kg (mg/L)
- Độ chính xác vi lượng: 1 mg/kg (mg/L)
- Số lượng đầu dò: 5 chân kim loại
- Cách lắp đặt: Cắm ngập đầu dò trong đất hoặc chôn

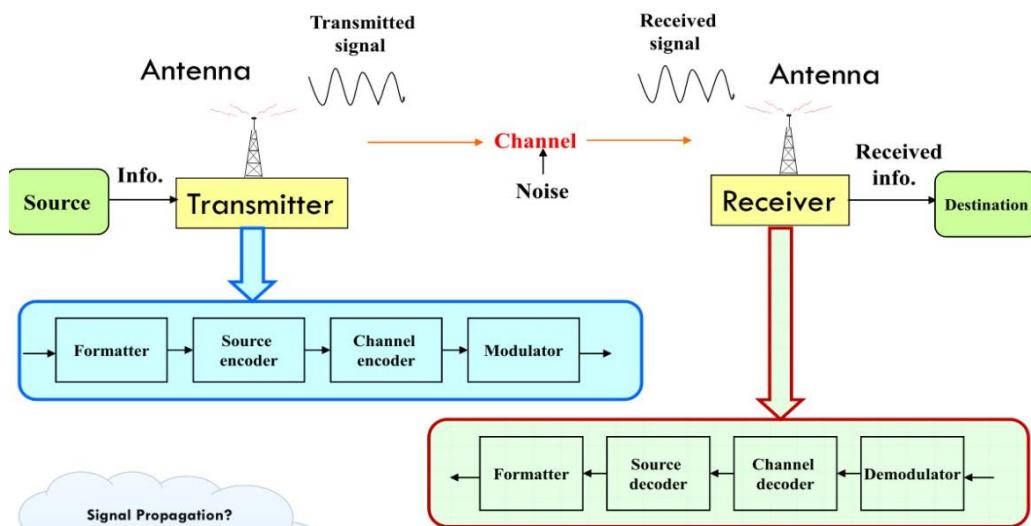
## 2.2. Cơ sở lý thuyết mạng cảm biến và truyền thông không dây

### 2.2.1. Tổng quan về công nghệ truyền thông không dây

Wireless: vô tuyến, không dùng dây dẫn

Truyền thông không dây là việc truyền tải thông tin qua một khoảng cách mà không cần dây dẫn làm môi trường truyền.

### 2.2.2. Mô hình truyền thông không dây



Hình 2.2.1: Mô hình truyền thông không dây

### 2.2.3. Phân loại mạng không dây

Mạng không dây được phân loại dựa theo:

- (1) Dựa vào kiến trúc (Infrastructure)
  - Mạng có kiến trúc:

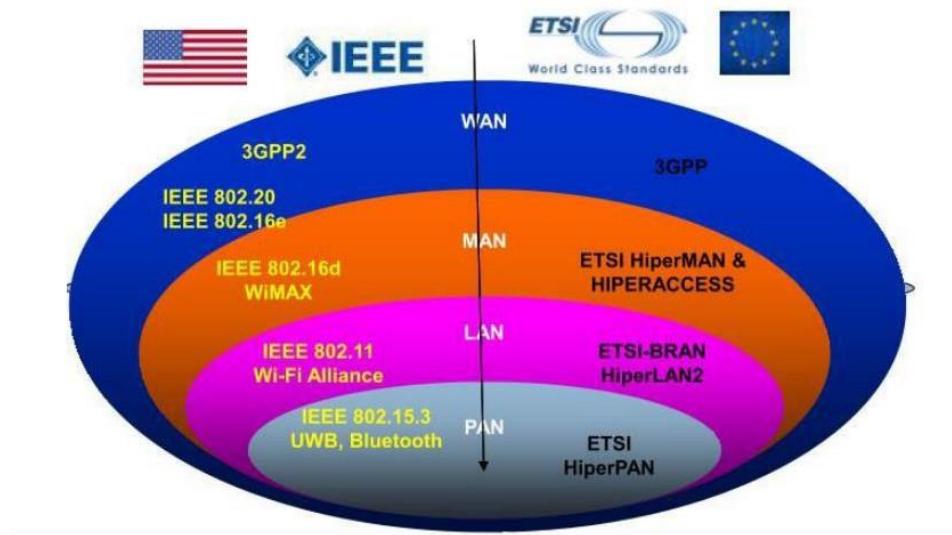
- Sử dụng các node và gateway có dây và không dây
- Mỗi node chính được định nghĩa trước vai trò trong mạng

Mạng có kiến trúc: Mạng tế bào, WLAN dùng access point,

- Mạng không có kiến trúc (Ad – hoc network)
  - Không có sự sắp xếp trước
  - Tập hợp ngẫu nhiên các node lại với nhau tạo thành một mạng

### (2) Dựa vào chuẩn (Standardizations)

- 3GPP: WCDMA, HSDPA, 4G LTE
- 3GPP2: CDMA2000, EV – DO, UMB
- IEEE: IEEE802.11, IEEE802.16



Hình 2.2.2: Các chuẩn truyền thông không dây

### (3) Dựa vào phạm vi (Scale)

- Body Area Networks: như cảm biến được gắn vào người
- Personal Area Networks: Home networking, Bluetooth và ZigBee
- Local Area Networks: Wireless LAN, WiFi
- Metropolitan Area Networks (Mạng đô thị): WiMAX
- Wide Area Networks: Cellular và Satellite networks

### (4) Dựa vào sự di động (Mobility)

- Mạng không dây cố định: người dùng đã kết nối được xem như ở yên một chỗ
- Mạng không dây di động: một phần trong các thiết bị không dây là di động
  - Việc thay đổi điểm kết nối vào mạng có thể được thực hiện khi thiết bị vẫn online.

- VD: Cellula network, mobile ad hoc network (MANET)
- (5) Dựa vào dạng tín hiệu (Signal)
- (6) Dựa vào băng thông (Bandwidth)
- Narrowband Wireless Network: Mạng băng hẹp.
  - Broadband Wireless Network: Mạng băng rộng (UWB, WiMax, LTE,...) Các tần số tiêu biểu: Bluetooth ~ 2.4 GHz hay WiFi ~ 2.4 GHz

#### 2.2.4. WIFI

WiFi (Wireless Fidelity) là một trong những công nghệ không dây được sử dụng rộng rãi nhất hiện nay trong các văn phòng kinh doanh và gia đình. WiFi sử dụng băng tần ISM 2,4 GHz và 5 GHz. **Wi-Fi** là một họ các giao thức mạng không dây dựa trên các tiêu chuẩn của họ IEEE 802.11, được sử dụng rộng rãi trong cho việc kết nối không dây của thiết bị trong mạng nội bộ và việc kết nối Internet, cho phép các thiết bị điện tử trong phạm vi ngắn chia sẻ dữ liệu thông qua sóng vô tuyến. Ngày nay, WiFi được sử dụng phổ biến trong các hệ thống mạng máy tính trên thế giới, như trong các hộ gia đình, văn phòng làm việc cho việc kết nối các máy tính bàn, laptop, tablet, điện thoại thông minh, máy in,...

Một số điểm quan trọng về Wi-Fi:

- (1) Necessity cầu bộ điều hợp không dây (Wireless Adapter) trên tất cả các thiết bị và bộ định tuyến không dây (Wireless Router) để kết nối với nó.
- (2) Tiêu thụ năng lượng lớn
- (3) Cung cấp bảo mật tốt
- (4) Hỗ trợ lượng lớn người dùng
- (5) Phạm vi tín hiệu ~ 100m
- (6) Yêu cầu băng thông cao

#### 2.2.5. BLE

BLE là một giao thức năng lượng thấp khác với công nghệ Bluetooth truyền thống. Đây là một phiên bản của công nghệ Bluetooth được phát triển để cung cấp kết nối không dây với tiêu thụ năng lượng thấp hơn so với các phiên bản Bluetooth truyền thống. BLE được thiết kế để hỗ trợ các ứng dụng yêu cầu tiêu thụ năng lượng thấp, như các thiết bị di động, thiết bị cảm biến, thiết bị y tế, thiết bị đeo thông minh và các ứng dụng Internet of Things (IoT).

#### 2.2.6. Zigbee

Zigbee giống như UWB (Băng tần siêu rộng). dải tần được hỗ trợ trong Zigbee hầu hết là 2,4 GHz trên toàn thế giới, có nghĩa là 2,4 GHz không được hỗ trợ mọi lúc. Nó bao gồm nhiều khoảng cách hơn so với Bluetooth. Có 16 kênh RF trong Zigbee.

Một số điểm quan trọng về Zigbee:

- (1) Phát triển theo chuẩn IEEE 802.15.4
- (2) Dải tần hỗ trợ ~ 2,4 GHz
- (3) Kỹ thuật điều chế BPSK và QPSK như UWB
- (4) Hơn 65.000 node trong Zigbee
- (5) 16 kênh RF
- (6) Zigbee cũng yêu cầu băng thông thấp nhưng cao hơn băng thông của Bluetooth.
- (7) Phạm vi tín hiệu ~ 10 – 100m

Bảng 2.2.1: Bảng so sánh các công nghệ truyền tin không dây

		<b>Bluetooth</b>	<b>WiFi</b>	<b>Zigbee</b>
<b>Lớp vật lý</b>	Dải tần hỗ trợ	2,4GHz 2,483GHz	– 2,4GHz và 5GHz	Chủ yếu là 2,4GHz trên toàn thế giới
	Số kênh RF	79 kênh RF		16 kênh RF
	Công nghệ điều chế (Modulation Technique)	GFSK	OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) và QAM(Quadrature Amplitude Modulation)	BPSK và QPSK (giống như UWB)
	Chuẩn	IEEE 802.15.1	IEEE 802.15.4.	IEEE 802.15.4.
<b>Định tuyến mạng</b>		Mạng mesh, mạng mắt lưới, mạng cây	Router vừa có thể kết nối wifi với điện thoại, máy tính bảng vừa kết nối mạng cáp dây với máy tính bàn, laptop, tivi. Các loại Router:	Nhiều dạng cấu trúc liên kết chung như hình sao, lưới, mesh, hình cây, định tuyến theo phương pháp OVDA
			Wired router Wireless router Virtual router Core router và Edge-router	

		Băng thông thấp	Băng thông cao	Băng thông thấp nhưng cao hơn Bluetooth
--	--	-----------------	----------------	---

		Mạng khu vực cá nhân không dây (WPAN)	Mạng cục bộ không dây (WLAN)	WPAN
	Tốc độ bit	1Mbps	11Mbps và 55Mbps	250kbps
<b>Phạm vi hoạt động</b>	Khoảng cách truyền	<p>Các yếu tố ảnh hưởng đến khoảng cách truyền thông như môi trường hoạt động, thiết kế anten, vật cản, hướng thiết bị,...</p> <p>BLE tập trung vào các ứng dụng truyền thông trong phạm vi gần.</p> <p>Với BLE ta có:</p> <p>Khoảng cách lý thuyết: 100m (điều kiện tốt).</p> <p>Khoảng cách khả thi: 30m.</p> <p>Khoảng cách thường được sử dụng: 2-5m.</p>	Trong môi trường không có vật cản, hấp thụ và nhiễu sóng: tối đa là 100m	Zigbee có phạm vi kết nối ngắn hơn trong khoảng 10-20 mét vì nó sử dụng ít năng lượng hơn. Điều này làm tăng đáng kể tuổi thọ pin cho các thiết bị sử dụng giao thức Zigbee.
		Công suất tiêu thụ thấp	Công suất tiêu thụ cao (Một bộ phát	Nhờ chức năng điều khiển từ xa

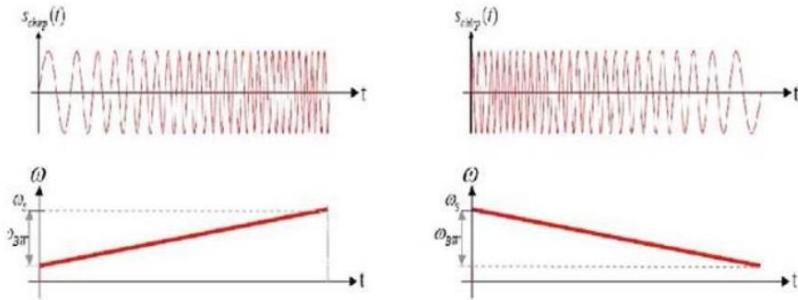
<b>Công suất tiêu thụ</b>		Bluetooth Low Energy đạt tối đa chỉ 1Mbps trong khi chỉ tiêu thụ 0,01 đến 0,5 watt.	sóng Wifi tiêu tốn từ 2W-20W)	không dây, truyền dữ liệu ổn định, tiêu thụ năng lượng cực thấp, công nghệ mở đã giúp công nghệ ZigBee trở nên hấp dẫn sử dụng cho các ứng dụng, đặc biệt là ứng dụng trong nhà thông minh hiện nay.
<b>Ứng dụng</b>		Communication, Cars, Multimedia, Industrial, Medical, Education	Wireless Internet, PC, PDA.	Mainly suitable for automatic control and remote control, you can embed various devices.

### 2.2.7. Lora

#### Giới thiệu về LoRa

LoRa (Long Range Radio) là một nền tảng công nghệ không dây có công suất thấp và phạm vi xa, sử dụng dải tần miễn phí. Mục đích của tạo ra công nghệ LoRa là nhằm loại bỏ repeater, giảm giá thành thiết bị. Nó là một lớp vật lí, được sử dụng cho giao tiếp với khoảng cách lớn. LoRa là một kĩ thuật điều chế dựa trên kĩ thuật trai phổ Spread-Spectrum và biến thể của Chirp Spread Spectrum (CSS), được nghiên cứu và phát triển bởi Cycleo và được mua lại bởi công ty Semtech vào năm 2012. Thay vì sử dụng công suất lớn và băng thông hẹp thì tín hiệu được trai ra băng thông rộng hơn với mức công suất nhỏ hơn (tổng mức công suất không đổi) mà bên thu có bộ giải mã thích hợp vẫn có thể nhận được chính xác dữ liệu. Nhờ áp dụng kĩ thuật trai phổ mà tín hiệu truyền đi ít bị suy hao và chống nhiễu tốt hơn, do đó có thể truyền tín hiệu đi xa trong khi truyền với mức công suất thấp.

Dữ liệu truyền đi được mã hóa thành các “Chirp” là tín hiệu hình sin có tần số thay đổi tuyến tính theo thời gian, có hai loại tín hiệu Chirp: Up – Chirp (Tần số tín hiệu tăng dần theo thời gian) và Down – Chirp (Tần số tín hiệu giảm dần theo thời gian).



Hình 2.2.3: Hình dạng tín hiệu

Trên một dải băng thông cố định cho phép truyền nhận dữ liệu nhờ sử dụng hệ số trai phỏ trực giao khác nhau. Điều này làm tăng tính linh hoạt trong thiết kế hệ thống khi các thiết bị có thể tối ưu về khoảng cách, tốc độ đường truyền hay là về tiết kiệm năng lượng. Để tăng độ nhạy tín hiệu cho thiết bị, mỗi gói tin LoRa truyền đi đều có phần mở đầu (Preamble). Phần mở đầu là một chuỗi các chu kì phát tín hiệu. Trong mỗi chu kỳ, tín hiệu được truyền đi có tần số tăng tuyến tính bắt đầu từ tần số thấp nhất đến tần số cao nhất. Hết một chu kì tương ứng với việc tạo ra một tín hiệu “chirp”. Kết thúc của phần mở đầu (Preamble) được phát hiện khi bộ lọc nhận được một tín hiệu “Down chirp”, tức là tần số tín hiệu giảm dần. Hơn nữa khả năng chống nhiễu và bảo mật thông tin cũng được cải thiện vì một gói tin chỉ được xử lý khi đã xác nhận đúng phần mở đầu.

Các tham số đặc trưng cho điều chế LoRa:

1. Tỷ lệ mã hóa
2. Hệ số trai phỏ
3. Băng thông

### Tỷ lệ mã hóa (Coding Rate)

Kỹ thuật FEC (Forward error correction) được sử dụng trong LoRa để tăng khả năng xử lý dữ liệu bên phía thiết bị nhận. FEC là một kỹ thuật mã hóa kênh dùng để phát hiện và sửa lỗi gói tin truyền đi bằng cách thêm vào sau gói tin một đoạn mã được tính toán từ dữ liệu bên trong rồi được gửi đi cùng với kiểu FEC.

Vì vậy độ lớn của gói tin phụ thuộc vào hệ số CR (coding rate). Nhà sản xuất LoRa đã đặt giá trị mã CR trong khoảng từ 0 đến 4, ở đây CR = 0 nghĩa là không có FEC. LoRa sử dụng tỉ lệ mã code là 4/5, 4/6, 4/7, 4/8. Hình dưới tương ứng với tỉ số giữa độ lớn mã FEC so với gói tin.

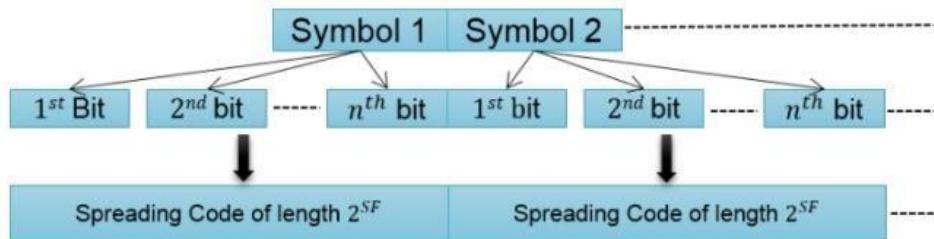
<b>CodingRate (RegTxCfg1)</b>	<b>Cyclic Coding Rate</b>	<b>Overhead Ratio</b>
1	4/5	1.25
2	4/6	1.5
3	4/7	1.75
4	4/8	2

Hình 2.2.4: Tỷ lệ mã hóa

Nếu CR = 4/8 thì cứ mỗi 4bit data nó sẽ được mã hóa bởi 8bit, tức là chipset LoRa phải gửi gấp đôi dữ liệu cần truyền. Do đó chúng ta có thể sử dụng CR thấp để tăng throughput nhưng độ nhạy sẽ kém đi do khả năng tự phục hồi dữ liệu của chipset LoRa sẽ thấp hơn.

### Hệ số trai phổ (Spread Factor)

SF xác định số lượng chip khi mã hóa tín hiệu đã được điều chế tần số, biểu diễn số lượng bit thông tin tối đa mà một symbol có thể mang theo, có giá trị từ 7 – 12.



Hình 2.2.5: Hệ số trai phổ

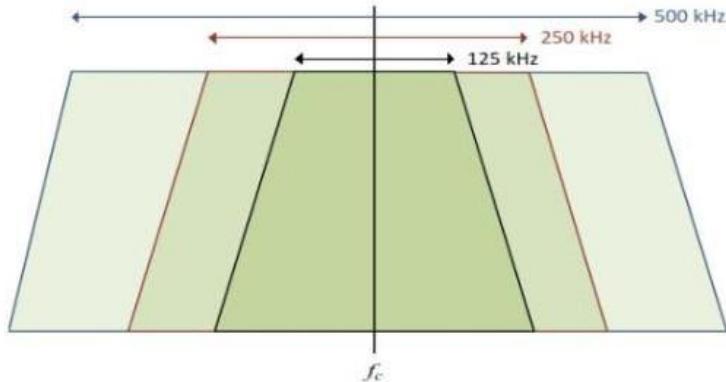
Mỗi *Symbol* mang thông tin trong LoRa sẽ được mã hóa thành  $2^{SF}$  “chip”. Việc tăng hệ số trai phổ lên một sẽ làm tăng số lượng “chip” mã hóa một *symbol* làm cho tốc độ truyền nhận dữ liệu giảm đi.

LoRa thường sử dụng các hệ số trai phổ trực giao từ 7 đến 12 (riêng với chip “SX1277” là từ 6 đến 9), cho phép các thiết bị có thể sử dụng nhiều hệ số khác nhau trong một hệ thống mà không gây nhiễu sang nhau. Hệ số trai phổ ảnh hưởng trực tiếp đến tốc độ truyền dữ liệu cũng như khoảng cách truyền. Ngoài ra khả năng kháng nhiễu cũng được tăng lên khi sử dụng hệ số trai phổ cao hơn.

### Bảng thông

Bảng thông là thông số quan trọng nhất của điều chế LoRa. Một *Symbol* bao gồm  $2^{SF}$  chip được truyền đi trong toàn dài băng thông. Loại tín hiệu sử dụng là “Up – chirp”. Tần số tín hiệu tăng dần đến khi đạt đến tần số tối đa của dài băng thông thì sẽ quay ngược lại tần số nhỏ nhất và lại tiếp tục tăng, cứ như vậy trong suốt khoảng thời gian truyền một *Symbol*. Trong kỹ thuật LoRa thì tốc độ chirp

phụ thuộc vào độ rộng băng thông, dải băng thông sử dụng càng rộng thì thời gian một chirp được truyền đi trong không khí càng lớn hay tốc độ đường truyền càng giảm. LoRa thường sử dụng 3 mức băng thông phổ biến là: 125kHz, 250kHz và 500kHz.



Hình 2.2.6: Băng thông của LoRa

Có thể nói SF, BW và CR là 3 thông số cơ bản và quan trọng của chipset LoRa. Trong đó, SF và BW sẽ ảnh hưởng thời gian và khoảng cách truyền dữ liệu; CR thì chỉ ảnh hưởng thời gian truyền dữ liệu. Tùy yêu cầu của ứng dụng cụ thể về khoảng cách, tốc độ gửi dữ liệu, v.v... chúng ta có thể chọn giá trị hợp lý để tối ưu quá trình truyền nhận qua LoRa.

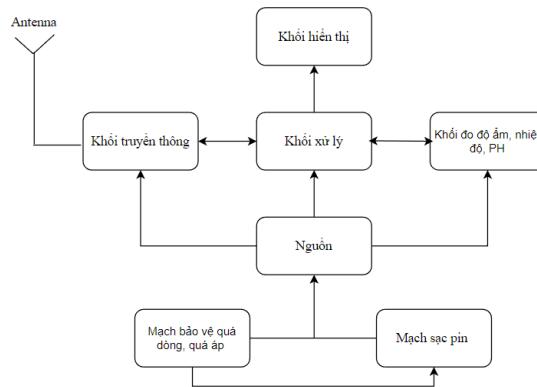
Hiện nay các chirp LoRa do Semtech sản xuất có tần số thuộc dải băng tần ISM (dải băng tần miễn phí cho các ứng dụng không dây) từ 137MHz đến 1020MHz tùy thuộc vào từng khu vực khác nhau trên thế giới:

- 430MHz: Châu Á
- 780MHz: Trung Quốc
- 433MHz hoặc 868MHz: Châu Âu
- 915MHz: Mỹ

# CHƯƠNG 3: PHÂN TÍCH THIẾT KẾ

## 3.1. Kiến trúc chung nút cảm biến không dây

Sơ đồ tổng quan chung cho node cảm biến



Hình 3.1.1:Sơ đồ tổng quan chung của node cảm biến

Một nút cảm biến không dây: bản chất là một thiết bị đo mang tính nhỏ gọn, tiêu thụ năng lượng thấp, dễ di chuyển và lắp đặt, sử dụng công nghệ truyền tin không dây.

Một nút cảm biến không dây bao gồm các khối:

1. Khối nguồn cung cấp
2. Khối đầu đo cảm biến/cơ cấu chấp hành
3. Khối điều khiển
4. Bộ nhớ
5. Khối truyền thông không dây

## 3.2. Tính toán nguồn cho node cảm biến không dây

Nhóm em dự định chia 3 chế độ cho node cảm biến hoạt động

Bảng 3.2.1: Các chế độ hoạt động của node cảm biến

Chế độ hoạt động tích cực (Active Mode)	Nút cảm biến thực hiện các nhiệm vụ như đo nhiệt độ, truyền thông tin đi hay nhận thông tin về với khối Gateway
	Ở chế độ này, khối xử lý trung tâm (MCU) của nút cảm biến luôn luôn hoạt động và gần như tất cả các khối còn lại cũng đều hoạt động.

Chế độ ngủ (Sleep Mode)	Nút cảm biến chưa phải thực hiện một nhiệm vụ cảm biến hay truyền thông nào, tuy nhiên nút cảm biến vẫn tham gia hoạt động trong mạng. Sau <i>một khoảng thời gian nghỉ t</i> , nút sẽ hoạt động trở lại
	Ở chế độ này, khói xử lý trung tâm (MCU) của nút cảm biến luôn ở trạng thái ngủ.
Chế độ nghỉ (Idle Mode)	Nút cảm biến chưa phải thực hiện một nhiệm vụ cảm biến hay truyền thông nào và không tham gia hoạt động trong mạng. Ở chế độ này, khói xử lý trung tâm (MCU) của nút cảm biến luôn ở trạng thái ngủ. Các khói khác cũng ở chế độ ngủ.

Nhóm em sử dụng nguồn pin Lithium 2 cell có dung lượng 2100mAh

Bảng 3.2.2: Bảng tính toán công suất của 1 node cảm biến

Linh kiện	Chế độ	Điện áp hoạt động (V)	Dòng điện tiêu thụ (mA)	Công suất tiêu thụ (mW)
Cảm biến đất	Active	5-24	0.06	0.5
STM32	Active	3.3	50.0	165.0
	Sleep	3.3	8.0	26.4
SX1278	Standby	3.3	1.6	5.28
	Tx	3.3	120.0	396.0
	Rx	3.3	12.0	39.6
	Sleep	3.3	0.0002	0.0007
LCD_I2C		3.3	12	40

Từ bảng trên, công suất tiêu thụ bởi nút cảm biến không dây ở chế độ Sleep là 26.7 mW( STM32 và SX1278 sleep, cảm biến đất active) , ở chế độ Active với module truyền thông ở mode Tx là 1617.5 mW, ở chế độ Active với module truyền thông ở mode Rx là 1261.1 mW.

Nhóm em lên phương án quản lý cho 10 node cảm biến mỗi cảm biến lấy mẫu là 6s  
Trong 60s mỗi node cảm biến sẽ nghỉ 40s và dậy để lắng nghe (chế độ rx) trong 19.5 còn 0.5s node cảm biến sẽ truyền (chế độ tx)

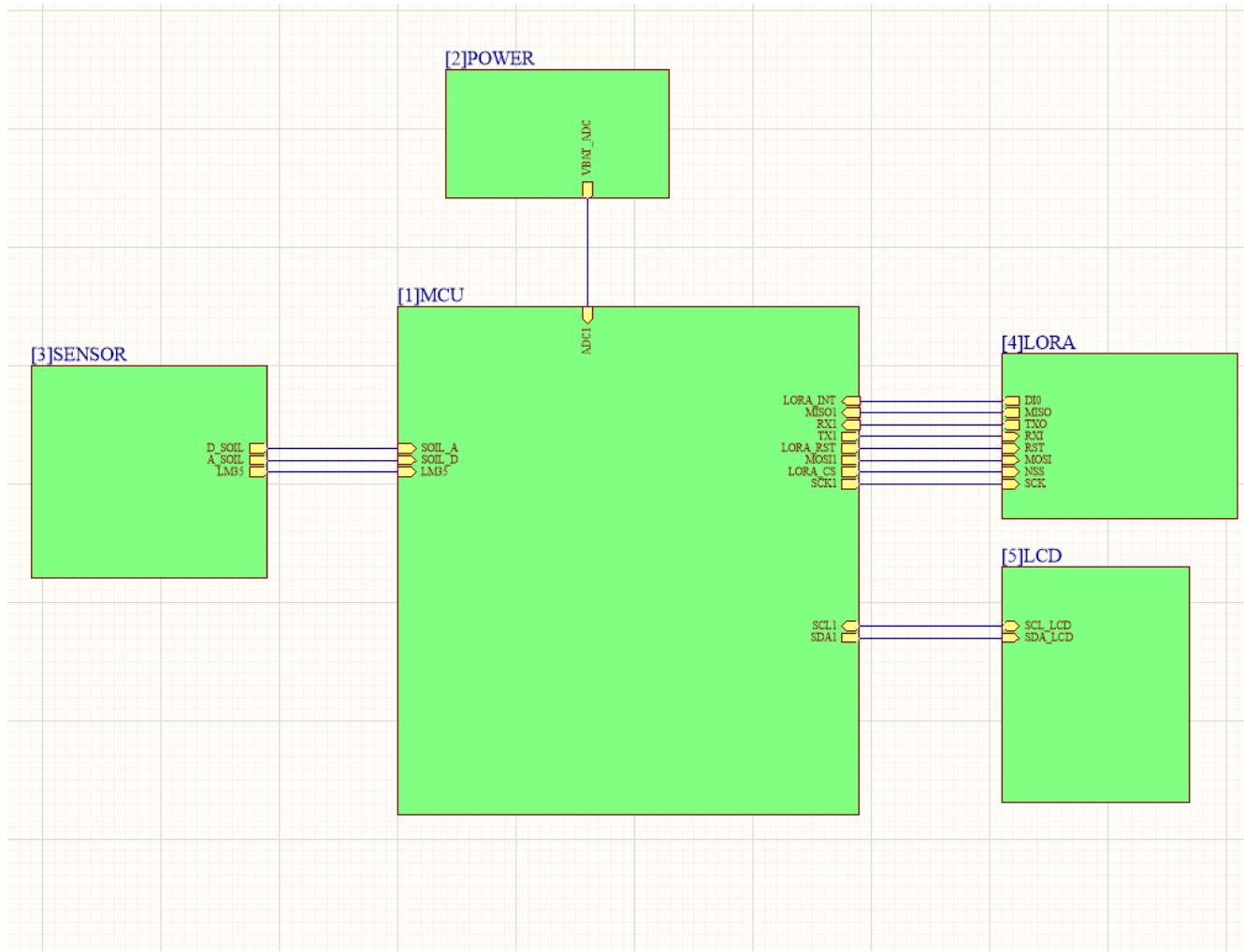
	Tx	Rx	Sleep
Thời gian	0.5s	19.5s	40s

Ta có công suất tiêu thụ trung bình (xét các linh kiện khác hoạt động chế độ tích cực)

$$P_{avg} = \frac{40 * 0.0007 + 19.5 * 39.6 + 0.5 * 390.6}{60} + 40 + 165 + 0.198 = 221.3 \text{ mWh}$$

$$\text{Thời gian 1 hoạt động liên tục 1 node là } t = \frac{2100}{P_{avg}/3.3} = 30h$$

### 3.3. Thiết kế mạch nguyên lý cho nút cảm biến

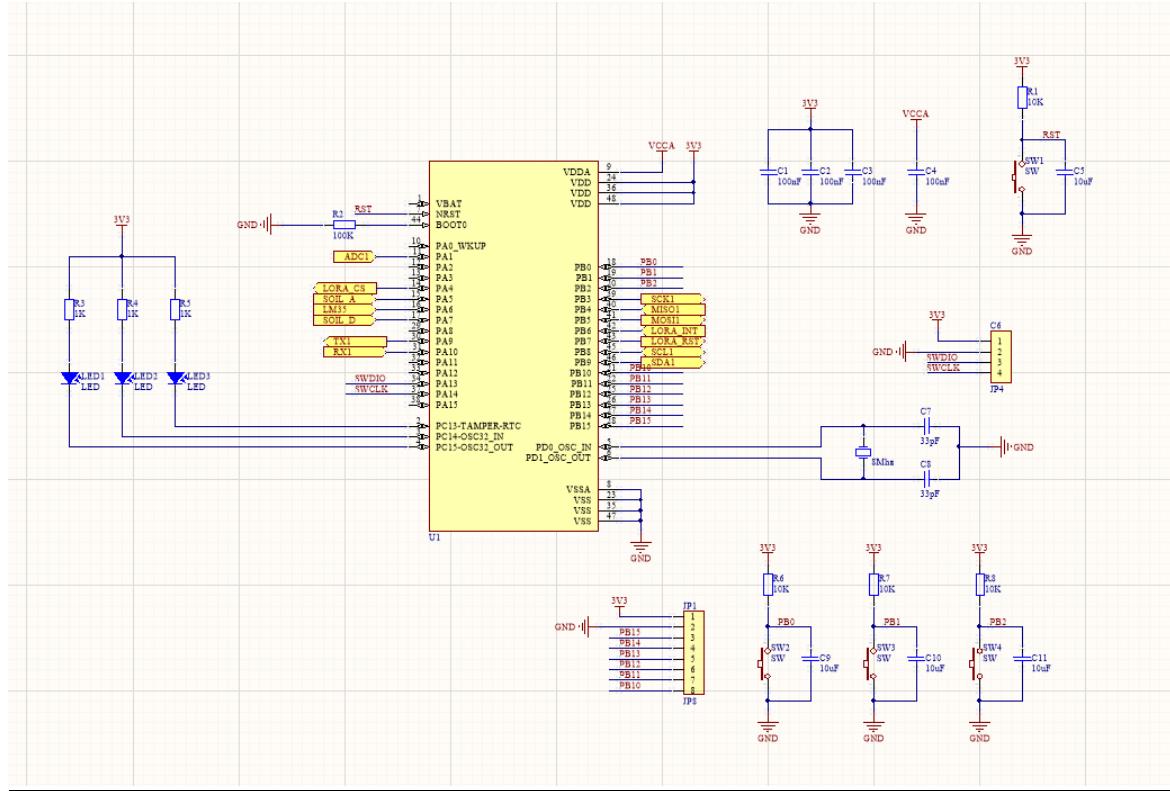


Hình 3.3.1: Sơ đồ nguyên lý tổng quan của node

#### Đối với node cảm biến gồm 5 khối chính:

- Khối MCU: Tính toán để quy ra giá trị độ ẩm và nhiệt độ của môi trường. Quản lý chế độ vào ra mạng của node cảm biến.
- Khối truyền thông không dây: Sử dụng công nghệ truyền tin không dây LORA để truyền tin. Các bản tin này sẽ được truyền về VDK xử lý hoặc từ Vi điều khiển gửi đi các bản tin cho gateway. Giao thức truyền tin giữa vi điều khiển và LORA sẽ là giao thức SPI
- Khối Sensors: Bao gồm cảm biến độ ẩm đất.
- Khối LCD: Hiển thị thông số pin và nhiệt độ, độ ẩm tại vị trí node cảm biến
- Khối nguồn: Sử dụng nguồn điện từ Pin lithium 1 cell qua ic hạ áp tuyến tính 3V3 đồng thời thêm một khối bảo vệ pin tránh sụt áp quá mức và một khối sạc 1 Cell cho pin.

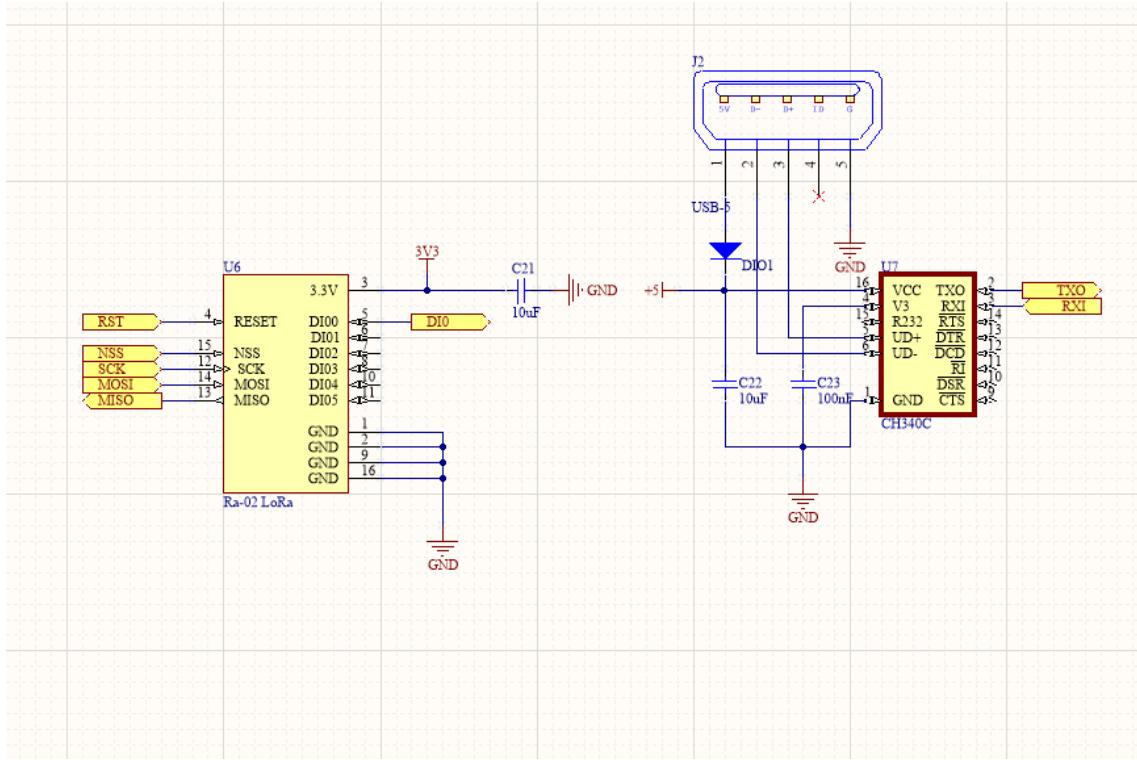
#### 3.3.1. Khối MCU



Hình 3.3.2: Sơ đồ nguyên lý khói MCU của Node

- Tại node cảm biến sử dụng vi điều khiển STM32F103C8T6 hỗ trợ các giao tiếp như SPI, I2C, UART
- Code sử dụng phần ngôn ngữ lập trình C kết hợp với keilC
- Sử dụng mạch nạp ST-Link để nạp code cho chương trình
- Sử dụng 3 nút ánh sáng để định 3 chế độ:
  - + Nút 1: Để bắt đầu đưa node về chế độ Provisioning
  - + Nút 2: Dừng đưa node về lại chế độ sleep
  - + Nút 3: Hiển thị nhiệt độ lên màn hình OLED
- Các chế độ hoạt động của Node cảm biến:
  - Chế độ hoạt động tích cực (Active Mode): Tất cả các khói đều hoạt động tích cực
  - Chế độ ngủ (Sleep Mode): MCU ở trạng thái ngủ và Node cảm biến không thực hiện truyền thông nhưng tham gia vào mạng
  - Chế độ nghỉ (Idle Mode): Không tham gia truyền thông và không tham gia vào mạng, đồng thời MCU cũng rời vào chế độ ngủ.

### 3.3.2. Khối truyền thông không dây



Hình 3.3.3: Khối truyền thông không dây của Node

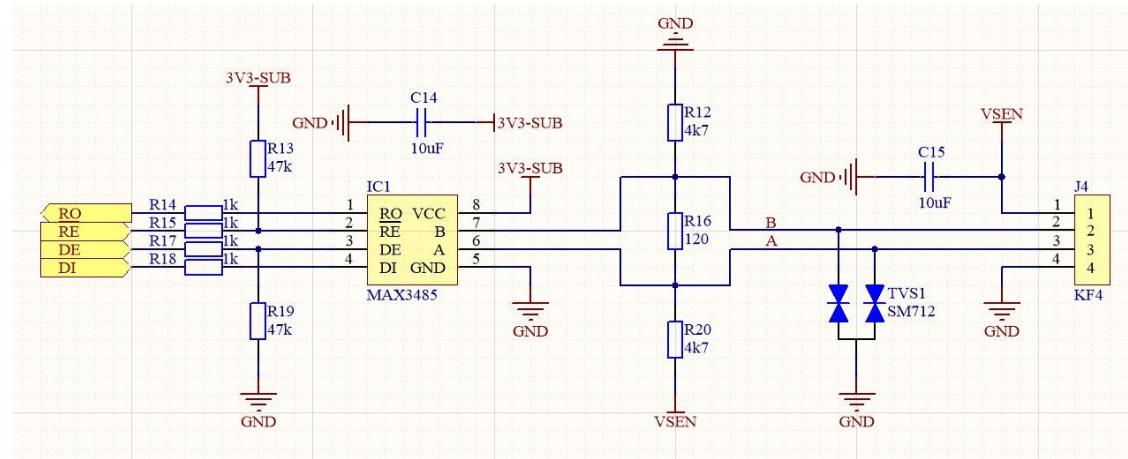
- Sử dụng IC SX1278 là IC cung cấp thu phát I2C-LORA ở tần số 433MHZ
- Sử dụng thêm USB5 chuyển đổi TTL sang UART để debug đọc các bản tin từ SX1278

### 3.3.3. Khối cảm biến

Cảm biến sử dụng chuẩn giao tiếp RS-485, sử dụng 4 dây bao gồm 1 dây nguồn, 1 dây đất và 2 dây RS-485 (A+ và B-). Do chuẩn giao tiếp RS485 không được tích hợp hỗ trợ trong các dòng Vi điều khiển thông dụng, do vậy cần sử dụng thêm IC MAX 3485 để làm IC chuyển đổi để giao tiếp với Vi điều khiển qua cổng UART.

RS485 là một chuẩn giao tiếp điều khiển được sử dụng rộng rãi trong các ứng dụng công nghiệp và hệ thống truyền dẫn dữ liệu từ xa. Đây là một chuẩn cơ bản trong họ chuẩn RS (Recommended Standard) của Viện Tiêu chuẩn và Công nghệ Hoa Kỳ (ANSI), được đề xuất ban đầu bởi Hiệp hội Công nghiệp Tự động hóa (AIA) vào năm 1983.

Nguyên lý thiết kế bao gồm một điện trở đầu cuối (R16) có điện trở  $120\Omega$ . Nhiệm vụ của điện trở kết thúc có giá trị này là tránh nhiễu phản hồi trên đường truyền của chuẩn truyền thông RS-485, nhiễu này sẽ tiêu tan ngay khi đến cuối đường truyền (điện trở kết thúc) khi điện trường lan truyền trên đường bus. Ngoài ra, về mặt bảo vệ còn có một diode TVS SMA712 nằm giữa đường A và đường B của bus RS-485, có nhiệm vụ chống sét trên bus, có điện áp đỉnh là 12V.



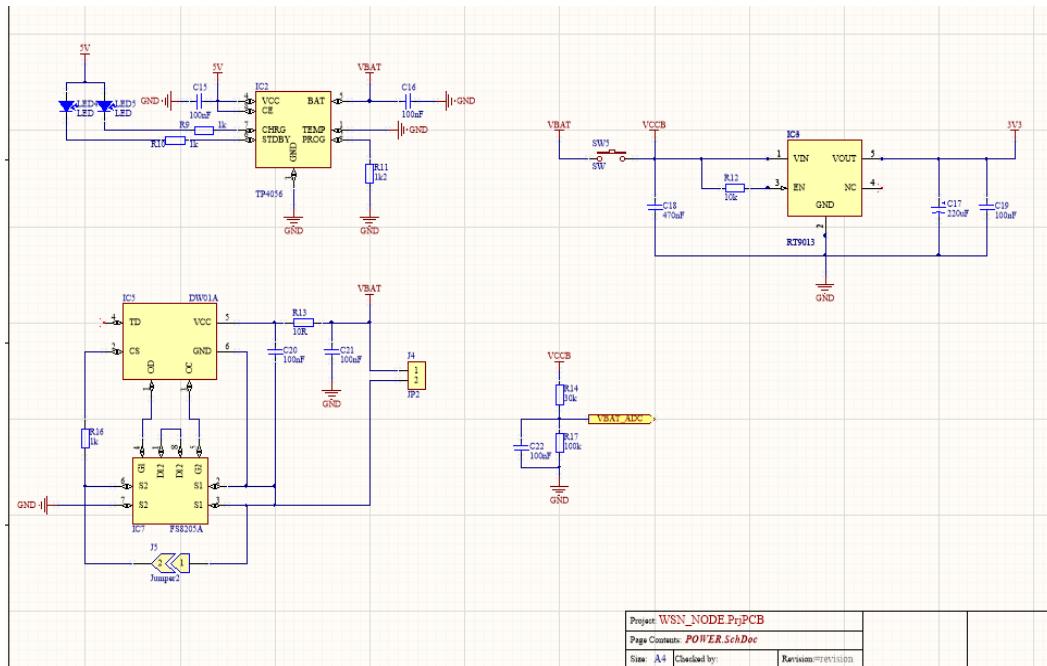
Hình 3.3.4: Sơ đồ nguyên lý khói cảm biến của thiết bị Node

Giá trị điện trở R13 đến R19 được sử dụng để đảm bảo an toàn và truyền tải tín hiệu chính xác giữa vi điều khiển và IC. Ngoài ra, điện trở R13 và R19 được dùng làm điện trở treo để điều chỉnh trạng thái làm việc của IC khi chân vi điều khiển bị treo (điện áp thả nổi). Theo nguyên lý trên, IC sẽ bị buộc vào trạng thái ngủ (DE=0, RE=1) trừ khi bộ vi điều khiển cho phép các trạng thái khác.

#### 3.3.4. Khối hiện thị

Sử dụng màn hình HMI để hiển thị giá trị nhiệt độ và độ ẩm cùng với điện áp của pin

### 3.3.5. Khôi nguồn



Hình 3.3.5: Khối nguồn của Node

Mạch nguồn gồm 3 khối:

- + Khối hạ áp xuống 3V3
- + Khối bảo vệ điện áp pin
- + Khối sạc pin

#### 1. Khối Hạ áp 3V3

Sử dụng pin Lithium 2 cell cung cấp 7.6 – 8.4V thông qua IC hạ áp tuyến tính hạ xuống 3V3 cung cấp cho toàn bộ hệ thống

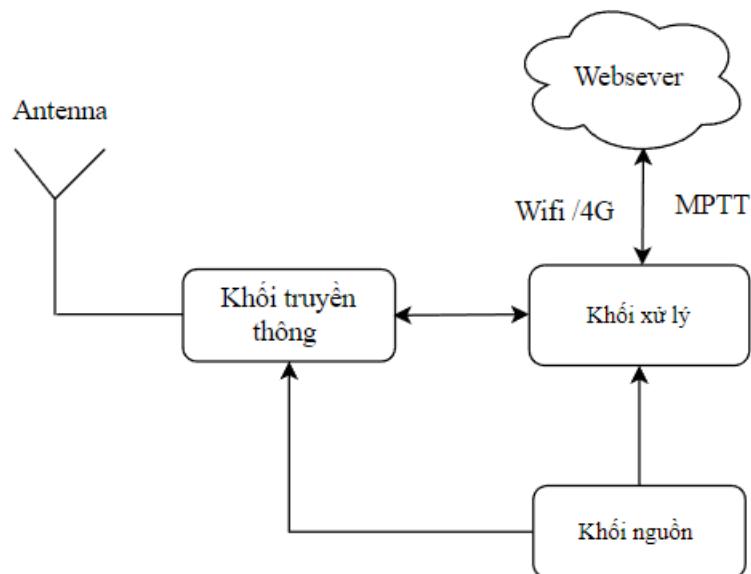
#### 2. Khối bảo vệ cell pin

Sử dụng IC DW01A và 2 mosfet để bảo vệ pin ngắt pin khỏi hệ thống khi điện áp sụt dưới ngưỡng cho phép 3.8V

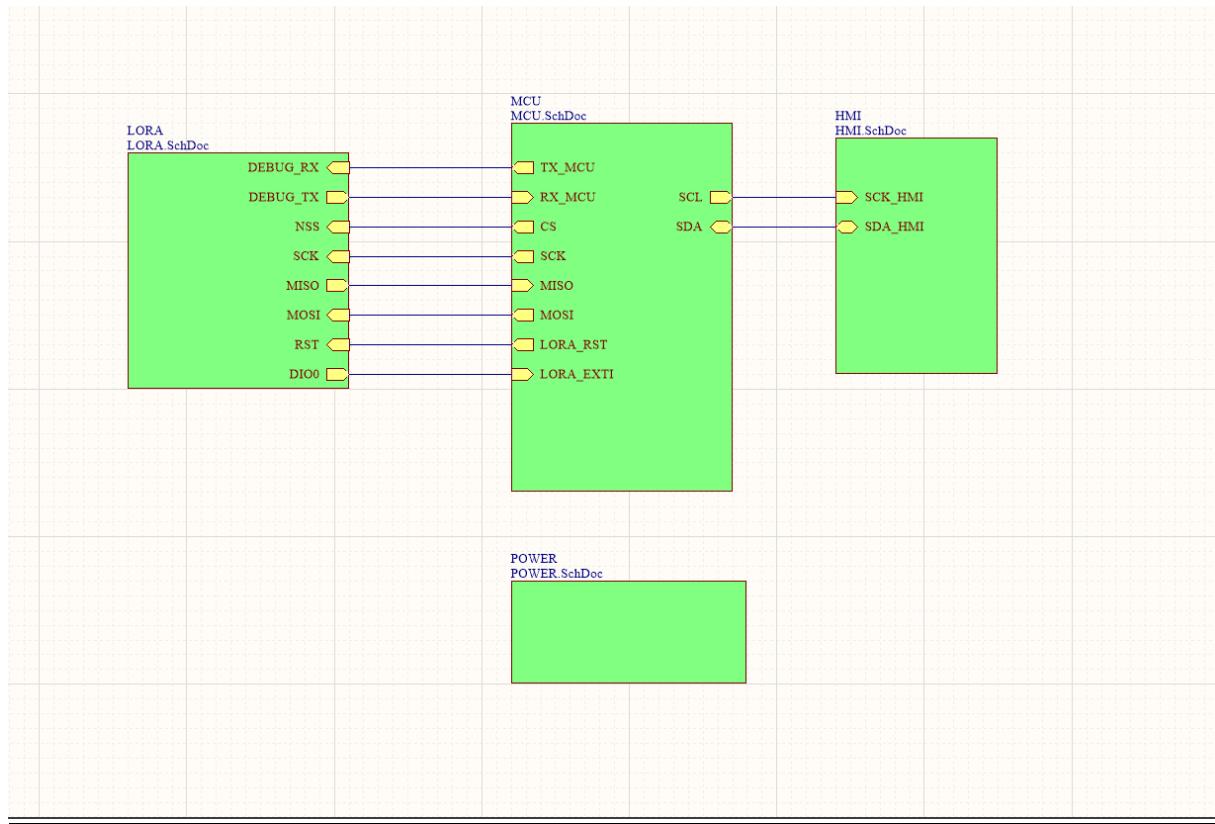
#### 3. Khối sạc pin

Sử dụng IC TP4056 để sạc cho cell pin sử dụng nguồn điện 5V được cấp từ USB 5 của máy tính để sạc cho cell pin

### 3.4. Thiết kế sơ đồ nguyên lý cho gateway



Hình 3.4.1: Sơ đồ tổng quan chung của Gateway

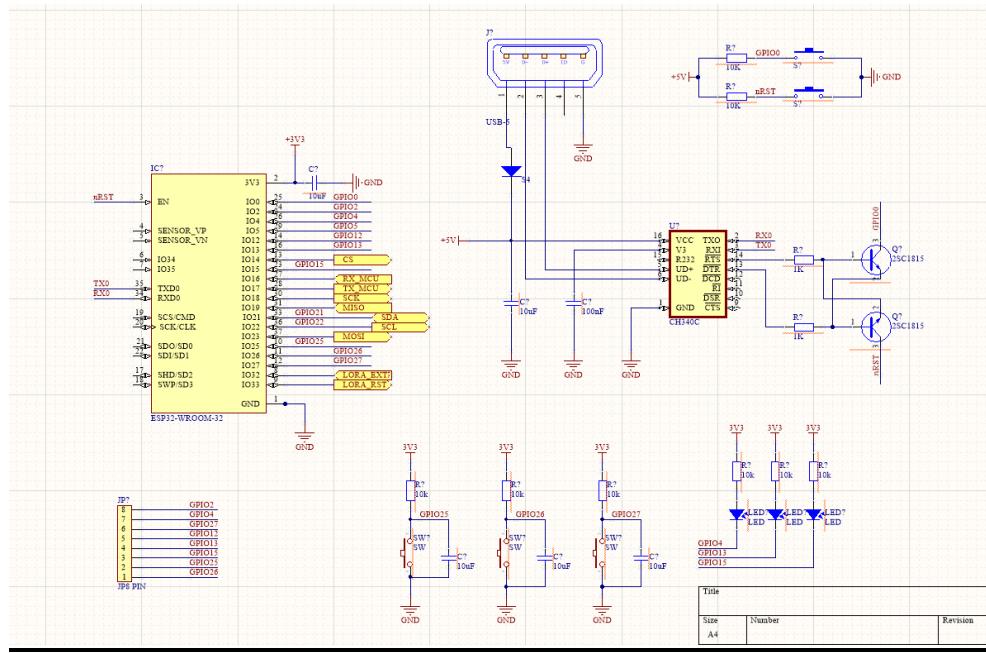


Hình 3.4.2: Sơ đồ nguyên lý của Gateway

Đối với gateway gồm 4 khối chính:

- Khối MCU: Quản lý việc truy nhập vào ra của mạng cảm biến, truyền tải dữ liệu lên web, sever thông qua công nghệ wifi và giao thức mqtt
- Khối Nguồn: Cung cấp nguồn 3V3 cho toàn bộ hệ thống từ adapter 5V hoặc USB qua máy tính
- Khối Truyền thông không dây: Sử dụng công nghệ truyền tin không dây LORA.
- Khối HMI: Hiển thị thông tin về pin cùng với độ ẩm tại các node

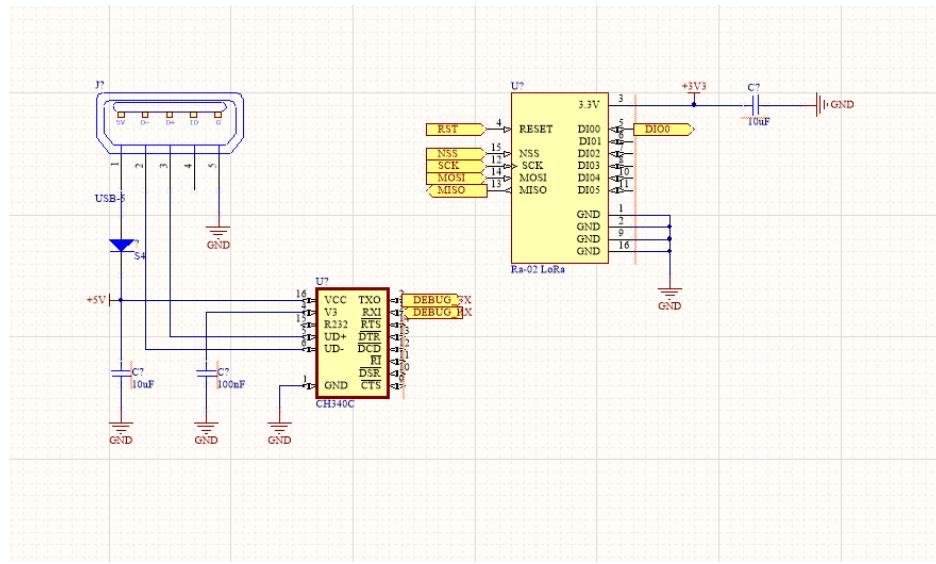
### 3.4.1. Khối MCU



Hình 3.4.3: Khối MCU của Gateway

- Sử dụng MCU ESP32WROOM có tích hợp wifi on chip cho phép kết nối mạng.
- MCU ESP32 có bộ nhớ 16 MB cho phép chia bộ nhớ để OTA
- Sử dụng ngôn ngữ lập trình ESP-IDF với tập API do nhà sản xuất phát triển
- Kết hợp mạch nạp qua chuẩn UART để nạp code ( sử dụng qua IC chuyển đổi CH340).

### 3.4.2. Khối Truyền thông không dây



Hình 3.4.4: Khối truyền thông không dây của Gateway

- Sử dụng IC SX1278 là IC cung cấp thu phát I2C-LORA ở tần số 433MHZ
- Sử dụng thêm USB5 chuyển đổi TTL sang UART để debug đọc các bản tin từ SX1278
- Các chế độ của SX1278:
  - + Sleep: Chỉ SPI và thanh ghi có thể truy cập, FIFO không thể truy cập.

- + Standby: FIFO có thể truy cập
- + TX: Kích hoạt tất cả các khối để gửi, gửi packet rồi về Standby.
- + RX: gồm 2 loại RXContinuous và RXSingle

RXContinuous: Kích hoạt tất cả các khối để nhận, xử lý tất cả các packet nhận được đến khi user chuyển mode.

RXSingle: Kích hoạt tất cả các khối để nhận, duy trì đến khi nhận được packet (hoặc đến khi timeout) rồi về Standby.

Đối với Buffer: FIFO buffer location có thể được đọc và ghi qua SPI bằng thanh ghi RegFifoAddrPtr. Khi đọc hoặc ghi vào FIFO buffer (RegFifo), RegFifoAddrPtr sẽ tự động tăng.

Các mode cho chế độ thiết lập data (Data Reception Sequence):

- Single Reception Operation Mode: Ở mode này, device tìm preamble trong chu kỳ thời gian cho trước. Nếu không tìm được preamble thì device tạo ngắt RxTimeout và quay lại Standby. Độ dài của reception window (in symbols) được xác định bởi RegSymb Timeout và nên nằm trong phạm vi từ 4-1023.

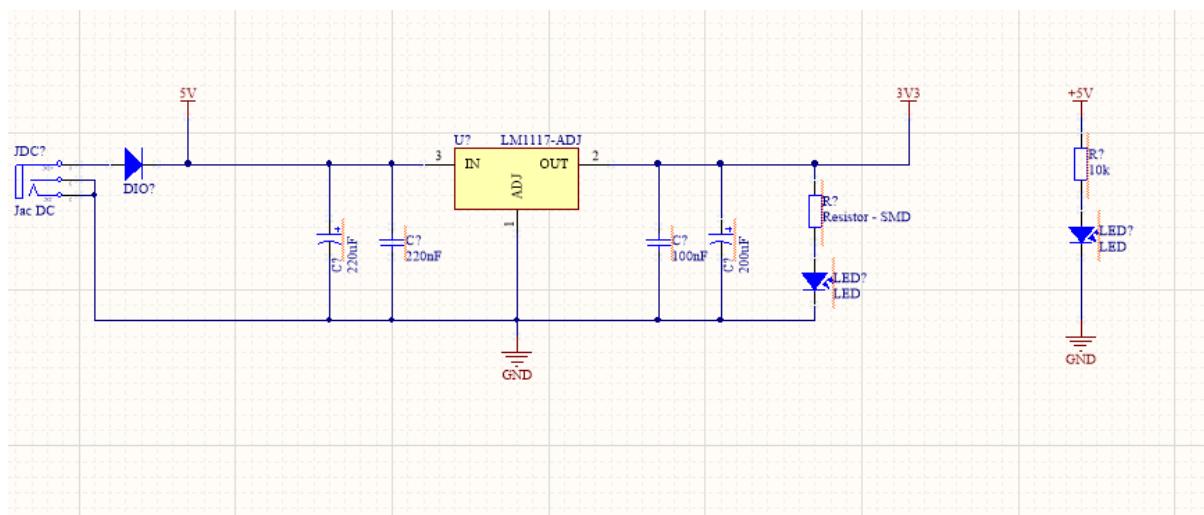
Ở cuối payload, ngắt RxDone được tạo cùng với ngắt PayloadCrcError nếu payload CRC invalid. Tuy nhiên kể cả khi CRC invalid, data vẫn được viết vào FIFO. Theo sau ngắt RxDone thì sẽ chuyển sang Standby.

Mode Single Rx sẽ tự động chuyển sang Standby khi có ngắt RxDone. Vì thế mode này chỉ được sử dụng khi biết trước được khung thời gian packet đến.

Continuous Reception Operating Mode: Ở mode này, device scan liên tục để tìm preamble. Một khi tìm được preamble, device theo nó cho đến khi packet được nhận và sau đó tiếp tục đợi preamble tiếp theo.

Nếu độ dài preamble vượt quá giá trị dự kiến được set ở thanh ghi RegPreambleMsb và RegPreambleLsb ... Ở chế độ Rx Continuous, ngắt RxTimeout sẽ không được xảy ra và thiết bị sẽ không bao giờ tự động sang Standby.

### 3.4.3. Khối nguồn

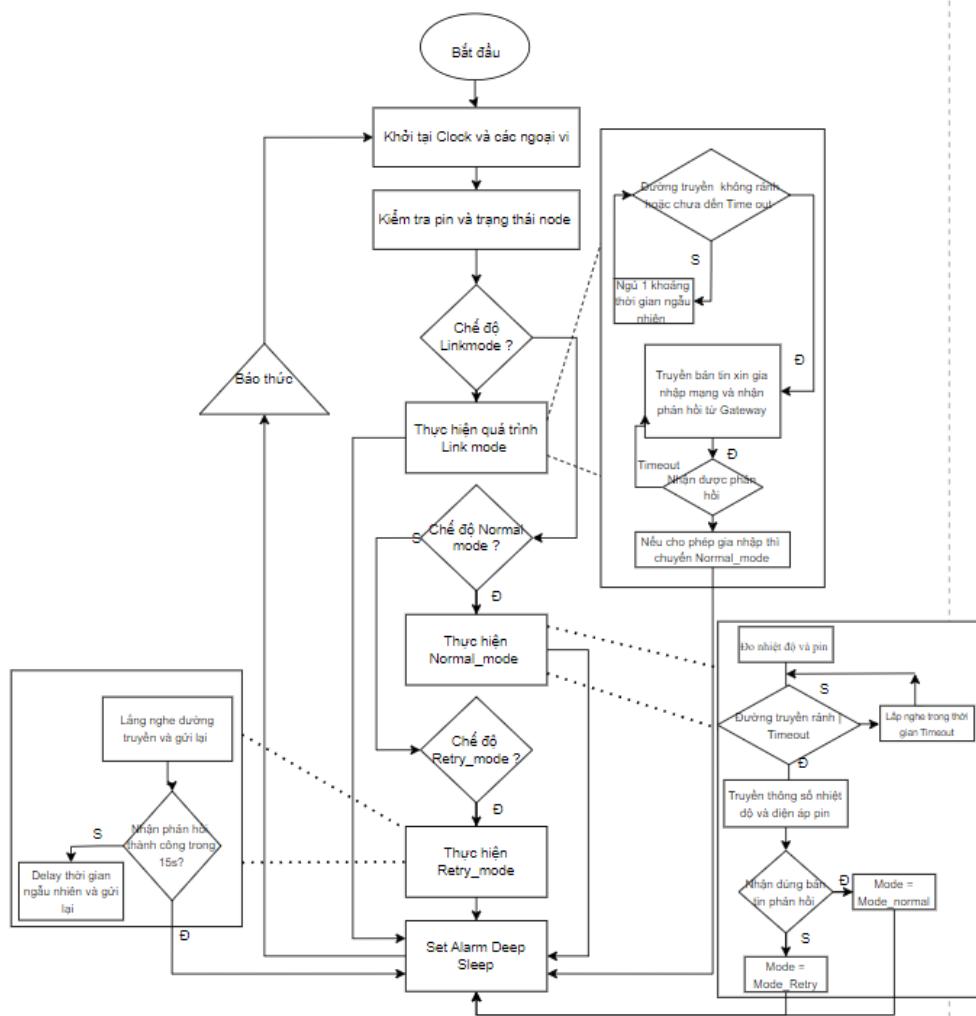


Hình 3.4.5: Khối nguồn của Gateway

Sử dụng nguồn từ Adapter 5V hoặc USB5 để cấp nguồn 5V qua IC LM1117 hạ áp xuống 3V3 cung cấp nguồn cho Khối xử lý, khói truyền thông không dây và khói hiển thị.

### 3.5. Thiết kế phần mềm

#### 3.5.1. Thiết kế phần mềm cho node

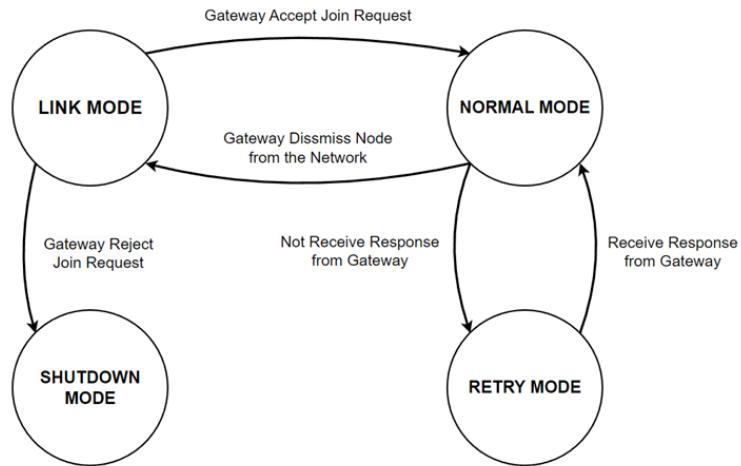


Hình 3.5.1: Lưu đồ thuật toán của Node

- Mô tả quá trình hoạt động của node cảm biến:

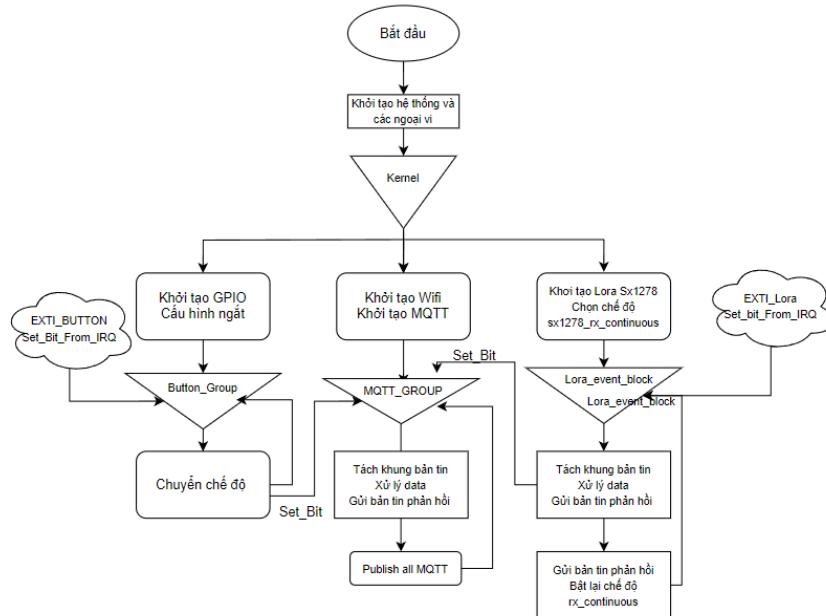
Khi thiết bị được kích hoạt, nó sẽ khởi động các thành phần ngoại vi và thực hiện kiểm tra, trích xuất trạng thái hoạt động từ bộ nhớ, và xử lý theo chế độ hiện tại. Sau khi đã xác định và kích hoạt các thiết bị ngoại vi và chế độ hoạt động, thiết bị sẽ cung cấp nguồn điện cho khói cảm biến, cho phép chúng tiến hành các phép đo trong vòng 5 giây. (Quá trình này chỉ diễn ra trong chế độ truyền dữ liệu thường, trong khi các chế độ hoạt động khác sẽ bỏ qua để tiết kiệm năng lượng.) Khi đã thu thập dữ liệu từ các cảm biến, vi điều khiển sẽ ngắt các van cung cấp điện cho khói cảm biến và bắt đầu xử lý, chuẩn bị khói truyền nhận

và tạo bản tin. Sau đó, nó sẽ lắng nghe môi trường truyền phát và thực hiện giao tiếp không dây có chờ phản hồi trong tối đa 5 giây. Chế độ hoạt động tiếp theo của thiết bị sẽ phụ thuộc vào phản hồi từ Gateway. Cuối cùng, thiết bị sẽ tắt toàn bộ các thành phần tiêu thụ điện năng và quay trở lại chế độ ngủ sâu trước khi bắt đầu chu kỳ tiếp theo. Các chế độ hoạt động của thiết bị Node được chuyển đổi qua lại dựa trên điều kiện hoạt động cụ thể.



Hình 3.5.2: Quy trình hoạt động của Node

### 3.5.2. Thiết kế phần mềm cho gateway



Hình 3.5.3: Lưu đồ thuật toán của Gateway

Gateway gồm có 3 task xử lý:

- Task xử lý mạng MQTT
- Task xử lý Lora
- Task xử lý nút bấm

Nhóm em lên phương án quản lý cho 10 node cảm biến mỗi cảm biến lấy mẫu là 6s Trong 60s mỗi node cảm biến sẽ nghỉ 40s và dậy để lắng nghe (chế độ rx) trong 19.5 còn 0.5s node cảm biến sẽ truyền (chế độ tx)

	Tx	Rx	Sleep
Thời gian	0.5s	19.5s	40s

### 3.6. Kịch bản cho Node cảm biến

#### 3.6.1. Thêm hoặc bớt 1 node ra khỏi mạng

Khi một thiết bị Node mới được kích hoạt, nó sẽ cần chuyển sang trạng thái yêu cầu được tham gia sau mỗi 10 giây. Mục tiêu của việc này là thông báo cho bất kỳ thiết bị nào trong mạng rằng Nút hiện diện. Node yêu cầu quyền truy cập sẽ cần được phản hồi trong một khoảng thời gian cụ thể lớn hơn khoảng thời gian ToA được đề cập ở trên. Nếu khoảng thời gian sau đó không nhận được phản hồi nào từ Cổng (chấp nhận hoặc từ chối), Node sẽ phải quay lại chế độ ngủ và lặp lại quy trình trên. Phương pháp này được gọi là chế độ liên kết.

#### 3.6.2. Tránh xâm lấn bản tin

Trước khi truyền bản tin đi thì node cảm biến sẽ luôn kiểm tra đường truyền qua chế độ CAD của SX1278 cho phép kiểm tra đường truyền có rảnh không trước khi truyền. Điều này sẽ giúp làm giảm tình trạng xâm lấn khung bản tin.

#### 3.6.3. Quy định cấu trúc khung bản tin

Khung bản tin gia nhập của node cảm biến:

Khung bản tin gia nhập bao gồm mã của khung bản tin là 0xAAAA, ID của Node cảm biến xin gia nhập, Trạng thái hiện tại của node cảm biến, Điện áp pin và chu kỳ đo của node cảm biến.

Link Packet									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Packet ID	Node ID		Node Status			Node Batt		Node Period	
0xAAAA	-		-			-		-	
Packet ID	Link Struct								

Hình 3.6.1: Khung bản tin xin gia nhập nút cảm biến

Khung bản tin phản hồi:

Khung bản tin phản hồi của Node cảm biến bao gồm mã của khung bản tin phản hồi là 0x5555, ID của node được nhận bản tin phản hồi, trạng thái chỉ định do gateway điều khiển tới Node cảm biến và chu kì đo do Gateway thiết lập cho Node cảm biến

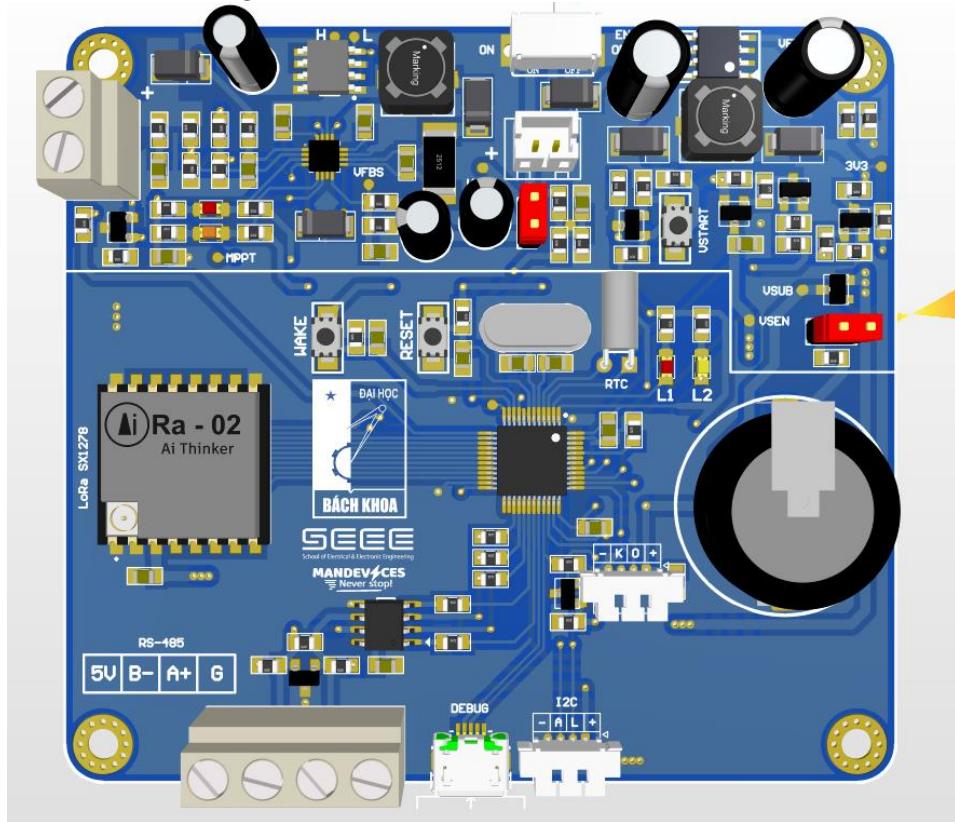
Response Packet									
0	1	2	3	4	5	6	7	8	9
Packet ID	Target Node ID		Target Node Status			Target Node Period		Target Node Response	
0x5555	-		-			-		-	
Packet ID	Response Struct								

Hình 3.6.1: Khung bản tin phản hồi

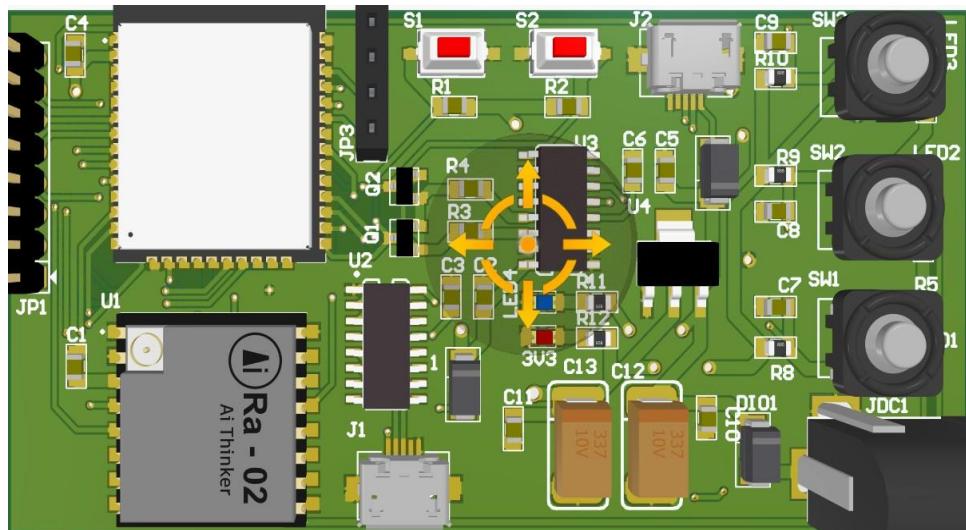
## **CHƯƠNG 4: THỬ NGHIỆM VÀ ĐÁNH GIÁ**

#### **4.1. Thiết kế mạch in cho hệ thống**

a) Hình ảnh 3D của hệ thống

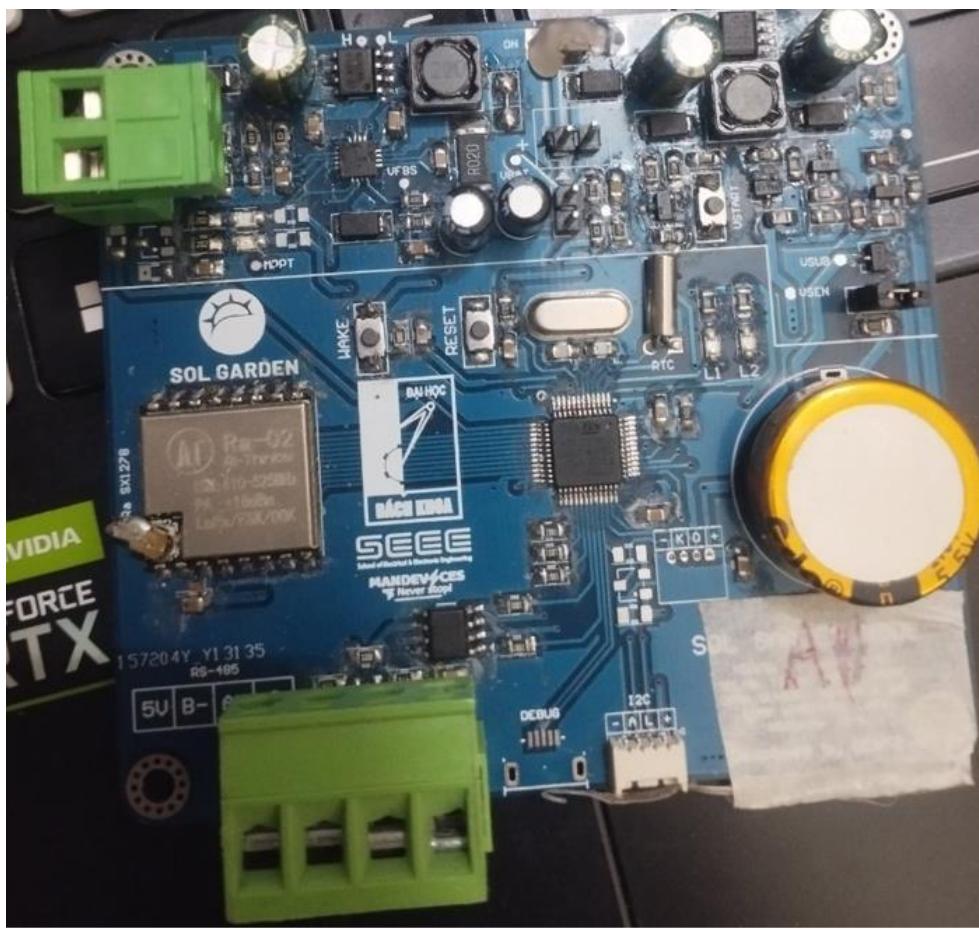


Hình 4.1.1: Hình ảnh 3D của Node cảm biến

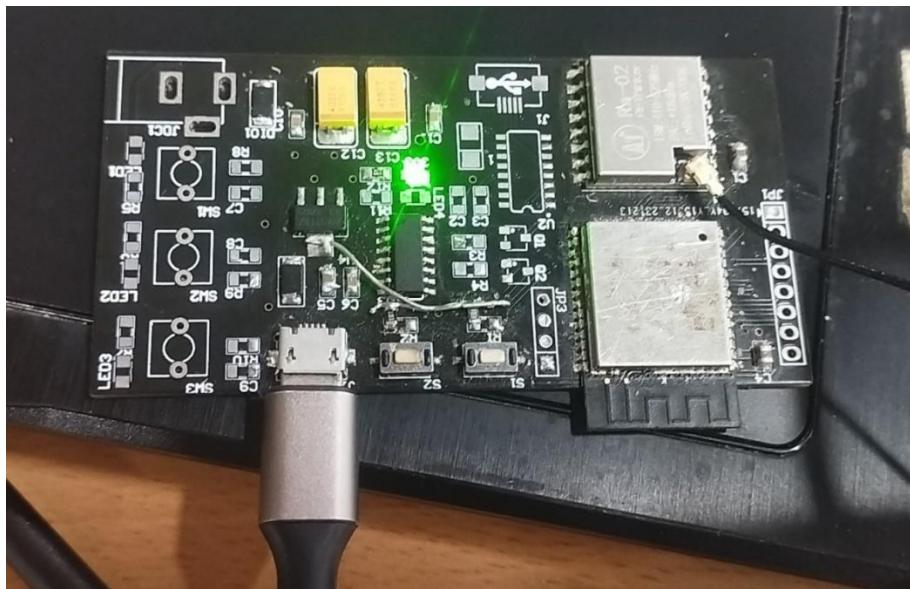


Hình 4.1.2: Mạch in 3D của Gateway

b) Kết quả phần cứng



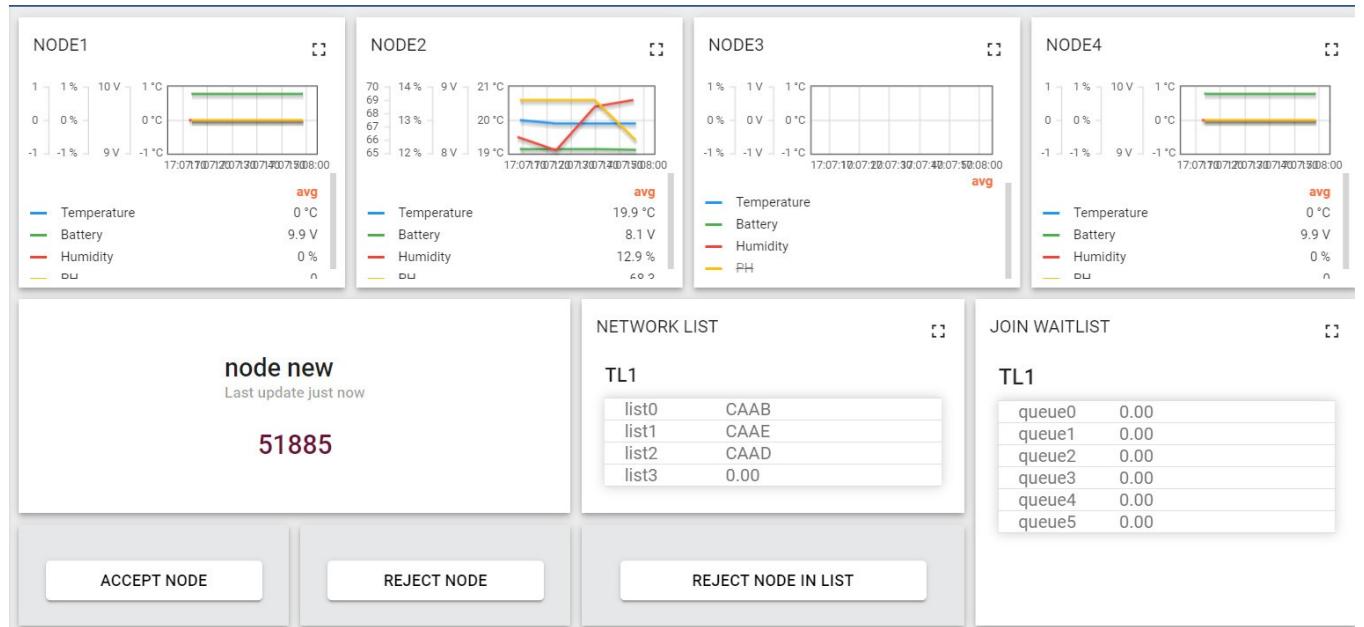
Hình 4.1.3: Ảnh thực tế của Node



Hình 4.1.4: Hình ảnh thực tế của Gateway

### c, Hình ảnh giao diện web server

Hình ảnh nhiệt độ, độ ẩm, độ PH đất của các Node hiển thị trên giao diện Web Sever



Hình 4.1.5: Hình ảnh các Node trên giao diện Web

## 4.2. Kết quả thử nghiệm và đánh giá

### 4.2.1. Kết quả kiểm tra nguồn

Để có thể đảm bảo hệ thống hoạt động một cách an toàn và trọn tru cần có việc đánh giá hiệu quả nguồn. Việc đánh giá sẽ bao gồm việc đo đặc điện áp của các thành phần sau:

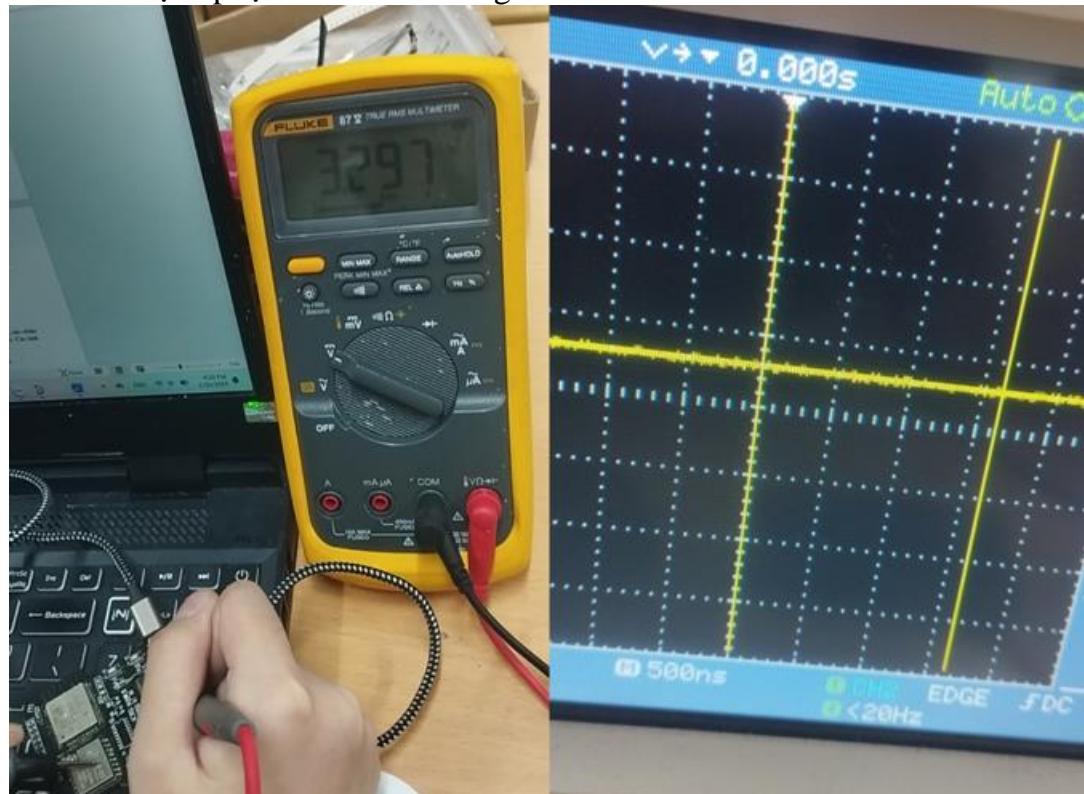
- Đối với Node

- Quy trình sử dụng đồng hồ đo đa năng có thang đo và độ phân giải phù hợp để đo điện áp tại điểm điện áp cần đo. Kết quả đo như sau.
- Đối với node cảm biến, điện áp pin đo được là 8,07V, điện áp bus nguồn chính là 3,39V và điện áp trên chân ADC của vi điều khiển (điện áp pin trên cầu chia điện áp) là 2,63V. Tất cả các giá trị điện áp này đều nằm trong dải điện áp phù hợp để các linh kiện IC hoạt động bình thường.



Hình 4.2.1: Điện áp tại Node

- Đổi với Gateway
  - Đo điện áp tại đầu ra của IC nguồn LM117



Hình 4.2.2: Điện áp và độ đậm mạch áp tại Gateway

- Đo điện áp đầu vào Lora.



Hình 4.2.3: Điện áp đầu vào Lora

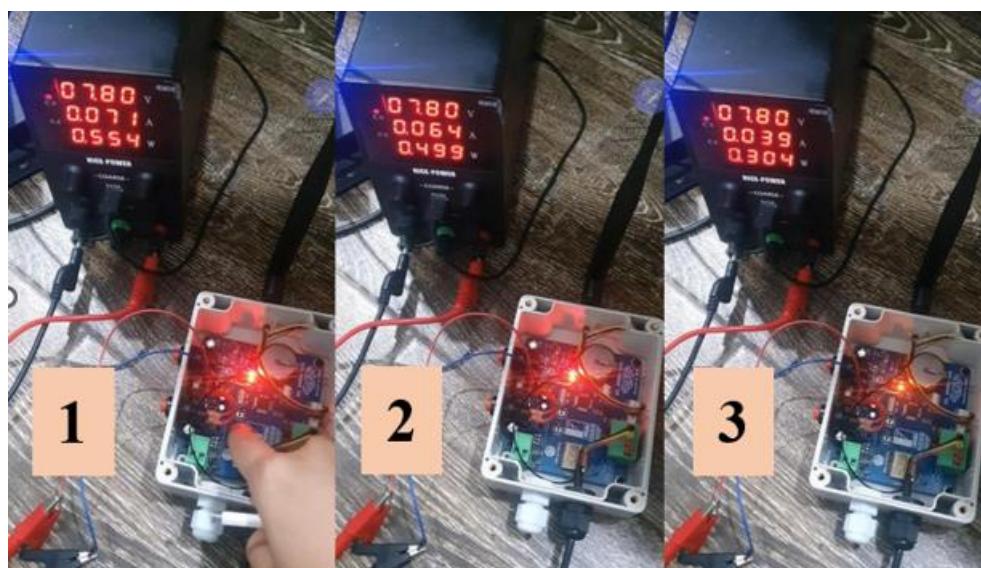
#### 4.2.2. Kết quả kiểm tra node

Để có thể khảo sát hoạt động thực tế của một thiết bị nút theo cách được đề xuất trong thiết kế, chúng ta cần quan sát trực tiếp lượng điện năng tiêu thụ của thiết bị. Như đã đề cập ở trên, chúng ta có thể mô tả điện áp của pin bằng máy phát điện, nó hiển thị dòng điện và năng lượng tức thời mà thiết bị điện tiêu thụ. Sử dụng camera có khả năng ghi tốc độ cao, chúng ta có thể theo dõi kịp thời những thay đổi dòng điện tức thời và đánh giá hoạt động của thiết bị nút.

Bắt đầu khi thiết bị hoạt động ở chế độ normal mode. Tại đây, có thể đánh thức thiết bị quay lại chu kỳ hoạt động mới bằng cách sử dụng nút wakeup được nối với chân vi điều khiển, có nhiệm vụ đánh thức MCU khỏi chế độ ngủ. Trong ô đầu tiên của Hình 4.2.1, chúng ta thấy ngay sau khi thiết bị thức dậy, dòng điện tăng dần và đạt cực đại 72 mA. Dòng điện này là dòng điện cung cấp cho mạch điện (bao gồm các thành phần công suất phản kháng như tụ điện và cuộn cảm) và cung cấp điện áp bù cho siêu tụ điện. Dòng điện này tăng nhanh và giảm chậm trong 1 giây cho đến khi ô thứ hai có dòng điện một chiều là 64 mA. Đây là khoảng thời gian cố định 5,5 giây đầu tiên trong đó thiết bị cung cấp năng lượng và cho cảm biến thời gian ổn định để có kết quả đọc chính xác nhất. Khi thời gian chờ trôi qua và quá trình đọc cảm biến hoàn tất, thiết bị sẽ tắt cảm biến và chuyển sang bước tiếp theo là gửi dữ liệu đến Gateway. Dòng điện trong quá trình chuyển tiếp này chỉ còn đang được khởi tạo và có giá trị là 39mA ở ô hình thứ 3. Giai đoạn khởi động này diễn ra trong thời gian nhỏ (<250ms).

Sau khi khởi tạo, mô-đun LoRa ngay lập tức bước vào quá trình nghe tin nhắn để tránh tình trạng chồng chéo bản tin như mô tả ở trên, trong khi STM32 truyền các gói dữ liệu để chuẩn bị truyền. Khi xác định rằng không có việc giao tiếp

nào xảy ra, thiết bị sẽ tiếp tục gửi tin nhắn. Quá trình này tạo ra dòng điện cực đại có thời lượng rất ngắn (~100ms), đạt cực đại ở 55mA trong khung thứ tư của Hình 4.2.4. Sau đó, thiết bị LoRa vào lại chế độ nghe phản hồi của Gateway, vì ToA của gói dữ liệu LoRa tính ở trên là khoảng 250ms mỗi kênh nên thời gian chờ có thể ít nhất là 500ms. Sau khi node cảm biến nhận được phản hồi từ Gateway, thiết bị nhanh chóng kết thúc và đi trạng thái ngủ, cắt nguồn điện cung cấp cho tất cả các ngoại vi và đi vào chế độ ngủ sâu (cắt nguồn điện từ pin, STM32 sẽ sử dụng nguồn điện siêu tụ điện) và đi vào chế độ ngủ. Do bộ vi điều khiển đã ngắt nguồn pin nên chúng ta có thể thấy chỉ báo đo dòng điện của thiết bị giảm xuống 0mA (hoặc nhỏ hơn 1mA và không thể hiển thị mức chia tối thiểu nhỏ hơn phạm vi đo trên màn hình)



Hình 4.2.4: Giai đoạn đầu của chu trình Node

So với ước tính là 11 giây, tổng chu kỳ thực tế chỉ mất chưa đến 7 giây (chính xác là 6,4 giây) do không có quá trình gửi thông báo lỗi hoặc thông báo chòng chéo khiến thiết bị Node phải gửi lại dữ liệu tin nhắn. Từ cường độ dòng điện tức thời trên Hình 4.2.4, ta có thể suy ra lượng năng lượng thực tế mà thiết bị tiêu thụ. Giá trị này ước tính vào khoảng 16,7mW, thấp hơn giá trị dự kiến cho thiết kế hệ thống trên.

Kết quả của thử nghiệm đã chứng minh được hiệu năng hoạt động nguồn của node cảm biến, đáp ứng được các yêu cầu đưa ra.

#### 4.2.3. Kết quả thử nghiệm độ chính xác cảm biến

- Bố trí thí nghiệm:



Hình 4.2.5: Bố trí thí nghiệm kiểm tra cảm biến

Kết quả của phép đo được lấy từ cảm biến và so sánh với thiết bị hiệu chuẩn độ ẩm chuẩn và thu được các kết quả như sau:

Bảng 4.2.1: Kết quả so sánh giữa cảm biến và thiết bị chính xác

Địa điểm	Thiết bị	Độ ẩm ngoài trời (% RH)	Nhiệt độ đất (°C)
Kiểm soát	Thiết bị chuẩn	68	30.8
	Node đo	62	31.9

Đối với môi trường trong nhà chúng em bố trí thí nghiệm như sau:

Bố trí thí nghiệm:



Hình 4.2.6: Bố trí thí nghiệm kiểm tra cảm biến trong nhà

Kết quả thử nghiệm trong nhà thu trong bảng sau:

Bảng 4.2.2: Kết quả thử nghiệm cảm biến trong nhà

Địa điểm	Thiết bị	Độ ẩm ngoài trời (% RH)	Nhiệt độ đất (°C)
Node 1	Thiết bị chuẩn	58	32.4
	Node 1	61	32.0

#### 4.2.4. Kết quả kiểm tra Gateway

Quá trình thử nghiệm hoạt động của Gateway bao gồm việc kiểm tra, xác nhận hoạt động của từng tính năng theo yêu cầu bài toán đối với thiết bị Gateway. Các tính năng của Gateway bao gồm:

- Quá trình kết nối với Internet (qua Wifi) có chế độ Smart Config tự động kết nối Wifio bằng ESP Touch

```
I (735) phy:micr phy_version 4070,7197910,rev 18 2021,17.07.07
I (838) wifi:mode : sta (30:c6:f7:20:28:68)
I (840) wifi:enable tsf
I (841) MQTT: MQTT init
I (842) WIFI STATION: WiFi start connect to AP
I (847) MQTT: Other event id:7
I (848) gpio: GPIO[32] InputEn: 1| OutputEn: 0| OpenDrain: 0| Pullup: 0| Pulldown: 0| Intr:1
I (852) wifi:new:<11,0>, old:<1,0>, ap:<255,255>, sta:<11,0>, prof:1
E (851) esp-tls: couldn't get hostname for :demo.thingsboard.io: getaddrinfo() returns 202, addrinfo=0x0
I (863) wifi:E (872) TRANSPORT_BASE: Failed to open a new connection: 32769
state: init -> auth (b0)E (879) MQTT_CLIENT: Error transport connect

I (887) MQTT: MQTT event error
I (879) SX1278_GATEWAY: SX1278 version: 0x12
I (891) MQTT: MQTT event disconnected
I (897) SX1278_GATEWAY: LoRa payload:
I (907) wifi:state: auth -> assoc (0)
I (1908) wifi:state: assoc -> init (400)
I (1909) wifi:new:<11,0>, old:<11,0>, ap:<255,255>, sta:<11,0>, prof:1
I (1910) WIFI STATION: WiFi disconnected
I (4323) WIFI STATION: WiFi disconnected
I (4331) wifi:new:<11,0>, old:<11,0>, ap:<255,255>, sta:<11,0>, prof:1
I (4332) wifi:state: init -> auth (b0)
I (4352) wifi:state: auth -> assoc (0)
I (4361) wifi:state: assoc -> run (10)
I (4393) wifi:connected with TL, aid = 3, channel 11, BW20, bssid = 6a:3f:22:49:a5:46
I (4394) wifi:security: WPA2-PSK, phy: bgn, rssi: -46
I (4400) wifi:pm start, type: 1

I (4401) wifi:AP's beacon interval = 102400 us, DTIM period = 2
I (4408) WIFI STATION: WiFi connected
W (4430) wifi:<ba-add>idx:0 (ifx:0, 6a:3f:22:49:a5:46), tid:0, ssn:4, winSize:64
I (5112) esp_netif_handlers: sta ip: 192.168.187.157, mask: 255.255.255.0, gw: 192.168.187.56
I (5114) WIFI STATION: got ip:192.168.187.157
I (5117) MQTT_CLIENT: Client force reconnect requested
```

Hình 4.2.7: Quá trình kết nối với WiFi

- Quá trình các node ra vào mạng và Gateway gửi bản tin phản hồi.

```

(4401) wifi:AP's beacon interval = 102400 us, DTIM period = 2
(4408) WIFI STATION: WiFi connected
(4430) wifi:<ba-add>idx:0 (ifx:0, 6a:3f:22:49:a5:46), tid:0, ssn:4, winSize:64
(5112) esp_netif_handlers: sta ip: 192.168.187.157, mask: 255.255.255.0, gw: 192.168.187.56
(5114) WIFI STATION: got ip:192.168.187.157
(5117) MQTT_CLIENT: Client force reconnect requested
(5123) MQTT: Other event id:7
(11611) esp-tls: couldn't get hostname for :demo.thingsboard.io: getaddrinfo() returns 202, addrinfo=0x0
(11612) TRANSPORT_BASE: Failed to open a new connection: 32769
(11617) MQTT_CLIENT: Error transport connect
(11623) MQTT: MQTT event error
(11627) MQTT: MQTT event disconnected
(21631) MQTT: Other event id:7
(26427) MQTT: MQTT event connected
(26832) wifi:<ba-add>idx:1 (ifx:0, 6a:3f:22:49:a5:46), tid:7, ssn:4, winSize:64
(26835) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=59467
(27242) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=39049

```

Hình 4.2.8: Quá trình các node ra vào mạng và Gateway gửi bản tin phản hồi.

- Quá trình kết nối với MQTT và đóng gửi bản tin lên Server.

```

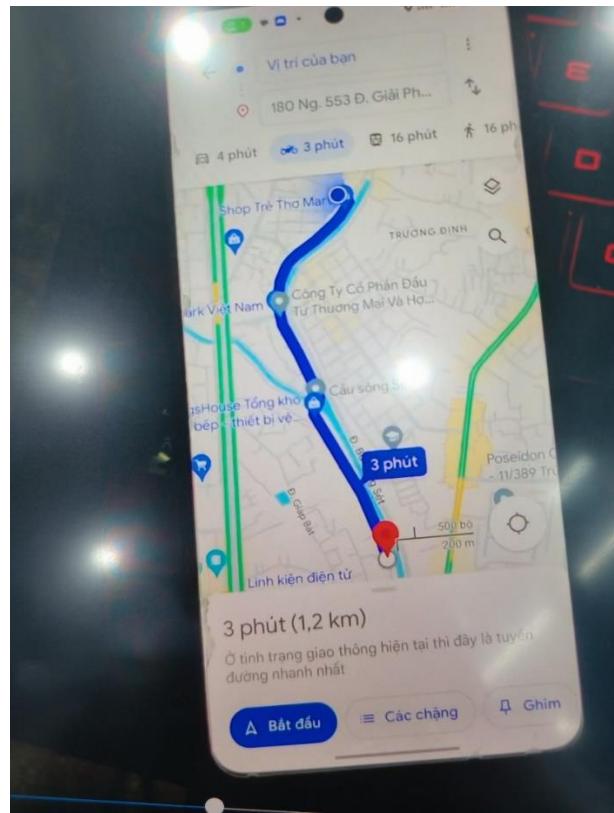
(4401) wifi:AP's beacon interval = 102400 us, DTIM period = 2
(4408) WIFI STATION: WiFi connected
(4430) wifi:<ba-add>idx:0 (ifx:0, 6a:3f:22:49:a5:46), tid:0, ssn:4, winSize:64
(5112) esp_netif_handlers: sta ip: 192.168.187.157, mask: 255.255.255.0, gw: 192.168.187.56
(5114) WIFI STATION: got ip:192.168.187.157
(5117) MQTT_CLIENT: Client force reconnect requested
(5123) MQTT: Other event id:7
(11611) esp-tls: couldn't get hostname for :demo.thingsboard.io: getaddrinfo() returns 202, addrinfo=0x0
(11612) TRANSPORT_BASE: Failed to open a new connection: 32769
(11617) MQTT_CLIENT: Error transport connect
(11623) MQTT: MQTT event error
(11627) MQTT: MQTT event disconnected
(21631) MQTT: Other event id:7
(26427) MQTT: MQTT event connected
(26832) wifi:<ba-add>idx:1 (ifx:0, 6a:3f:22:49:a5:46), tid:7, ssn:4, winSize:64
(26835) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=59467
(27242) MQTT: MQTT event subscribed, msg_id=39049

```

Hình 4.2.9: Quá trình kết nối MQTT

#### 4.2.5. Kết quả kiểm tra đánh giá chất lượng hệ thống

- Khoảng cách kết nối của các node đáp ứng yêu cầu của hệ thống là 1.2km  
( Trong điều kiện các node cảm biến của chúng em được đặt ở vị trí cao khoảng cách giữa 2 node cảm biến không có vật cản ( chúng em thử nghiệm dọc theo sông ). Nhóm chúng em thu được khoảng cách tối đa có thể nhận được giữa 2 node cảm biến là 1.2km



Hình 4.2.10: Khoảng cách kết nối tối đa

- Độ nhạy thu và SNR của hệ thống ( mô tả phương pháp đo)

Để đo được thông số RSSI và SNR của hệ thống nhóm chúng em sử dụng tính năng của IC sx1278 kết quả đo được sẽ được hiển thị lên cửa sổ CMD của máy tính thông qua kết nối UART giữa PC và Gateway.

```
(402) SX1278_GATEWAY: LoRa payload:  

(8997) SX1278_GATEWAY: LoRa Received 10 byte(s)          rssi: -94      snr: 10.8  

(8998) SX1278_GATEWAY: This is Link Pack  

(8999) SX1278_GATEWAY: Node ID :51884  

(9003) hello: size: 0  

(9007) hello: fail  

(9009) MQTT_CLIENT: Client was not initialized  

(19576) SX1278_GATEWAY: LoRa Received 10 byte(s)          rssi: -90      snr: 12.0  

(19576) SX1278_GATEWAY: This is Link Pack  

(19577) SX1278_GATEWAY: Node ID :51884
```

Hình 4.2.11: RSSI và SNR của hệ thống

- Quá trình các node ra vào mạng

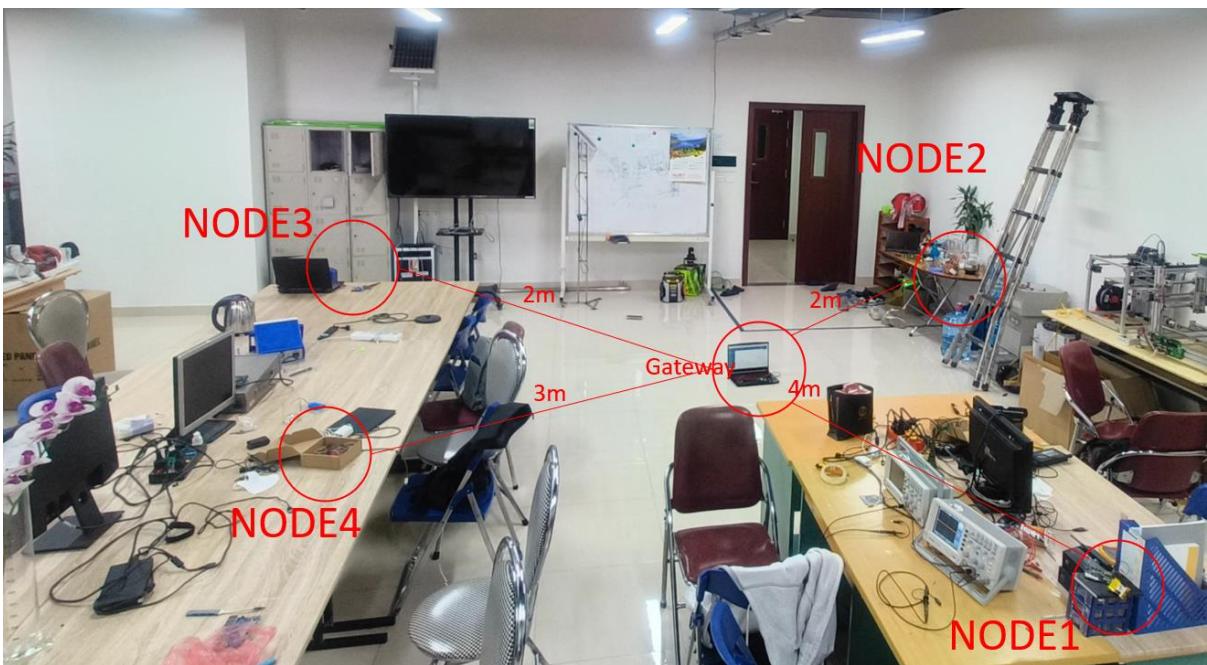
Quá trình các node ra vào mạng được người dùng cho phép hoặc từ chối thông qua giao diện Web server, danh sách các node đang ở trong mạng và đang xin gia nhập vào mạng cũng được hiển thị dưới dạng danh sách trên Web server

JOIN WAITLIST		NETWORK LIST	
<b>TL1</b>		<b>TL1</b>	
queue0	CAAD	list0	CAAB
queue1	0.00	list1	CAAE
queue2	0.00	list2	CAAD
queue3	0.00	list3	0.00
queue4	0.00		
queue5	0.00		
<b>REJECT NODE IN LIST</b>			

Hình 4.2.12: Danh sách các node chờ thêm vào mạng và danh sách các node đang ở trong mạng

- Đánh giá tỷ lệ lỗi bản tin

Hình ảnh setup hệ thống :



Hình 4.2.13: Hình ảnh setup thử nghiệm hệ thống

Để đánh giá được tỷ lệ lỗi bản tin ở mỗi bên phát và bên thu mỗi lần truyền nhận sẽ được đánh dấu bằng một biến trung gian. Qua việc so sánh 2 biến trung gian giữa bên truyền và nhận chúng em đánh giá được tỷ lệ lỗi bản tin.

Với chu kỳ lấy mẫu được cài đặt 10s, nhóm em thử nghiệm khi mạng cảm biến hoạt động trong 8h, bảng kết quả đánh giá tỉ lệ lỗi bản tin được mô tả như bảng phía dưới:

▼ History

```

02/20/2023 9:18:17 AM
node_id: 2, send_cnt=2140, recv_cnt=2097, rssi_average=-6

02/20/2023 9:18:12 AM(-5.08 seconds)
node_id: 6, send_cnt=2110, recv_cnt=2099, rssi_average=-2

02/20/2023 9:18:07 AM(-4.99 seconds)
node_id: 4, send_cnt=2105, recv_cnt=2099, rssi_average=-2

```

Hình 4.2.14: Bản tin Gateway gửi về để kiểm tra tỉ lệ lỗi

Bảng 4.2.3: Đánh giá tỷ lệ bản tin

Khoảng cách	Số lần gửi bản tin	Số lần nhận đúng bản tin Response	RSSI trung bình	SNR trung bình	Tỉ lệ lỗi
2m	2100	2099	-17.7	9.7	0.3%
4m	2115	2099	-28.9	9.3	0.5%
15m	2140	2097	-68.2	9.0	2%

## **HOÀN THIỆN SẢN PHẨM**

Hệ thống đã chạy được ổn định tuy nhiên sản phẩm của nhóm em cũng không tránh khỏi những sai sót và hạn chế:

- Hạn chế về số lượng thiết bị điều khiển demo trong hệ thống
- Vấn đề bảo mật trong hệ thống.

Hướng phát triển của nhóm em đối với hệ thống này gồm:

- Nghiên cứu giải pháp mở rộng quy mô điều khiển nhiều thiết bị hơn.
- Khắc phục, cải thiện vấn đề bảo mật trong mạng cảm biến (chứng chỉ bảo mật TLS)

Đặc biệt, chúng em cảm ơn sự hướng dẫn nhiệt tình, tận tâm của cô Trần Thị Anh Xuân và hi vọng sẽ được cô chỉ ra những sai sót, hạn chế của sản phẩm để nhóm có thể tiếp tục phát triển, nghiên cứu sản phẩm thành những thiết bị thông minh hơn.

## CHƯƠNG 5: TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D.A.Godse A.P.Godse, Microprocessors & Microcontroller Systems Technical Publications, 2008.
- [2] Lê Minh Thùy (2022), “Bài giảng Mạng cảm biến không dây”, Đại Học Bách Khoa Hà Nội, trường Điện – Điện tử.
- [3] Maxim Integrated, "DS18B20 Programmable Resolution 1 – Wire Digital Thermometer" 2022.
- [4] STMicroelectronics (2021), “RM0008 Reference manual”
- [5] Espressif (2022), “ESP32 Technical Reference Manual” Version 4.7.
- [6] Semtech (2015), “SX1276/77/78/79 – 137MHz to 1020MHz Low Power Long Range Transceiver”.
- [7] SparkFun Electronics, “USB to Serial chip CH340,” 2022.
- [8] LoRa NetWork Guide (2022), từ <[https://development.libelium.com/lora\\_networking\\_guide/transmission-modes](https://development.libelium.com/lora_networking_guide/transmission-modes)>,
- [9] RF Wireless World (2022), “LoRaWAN Airtime calculator, LoRa Packet duration calculation”, từ <<https://www.rfwireless-world.com/calculators/LoRaWAN-Airtime-calculator.html>>,
- [10] ElectronicWings (2022), “AVR ATmega Controllers”, từ <<https://www.electronicwings.com/avr-atmega>>
- [11] <https://www.geeksforgeeks.org/difference-between-bluetooth-and-zigbee/?ref=lpb>
- [12] <https://rangdong.com.vn/faq/so-sanh-dac-diem-cua-3-cong-nghe-khong-day-wifi-zigbee-bluetooth.html>
- [13] <https://congnghepccongnghemoi.com.vn/tin-tuc/t22516/mang-khong-day-lora-cho-ung-dung-iot-tam-xa.html>
- [14] <https://www.daihockhonggiay.com/blogs/post/cong-nghe-mang-khong-day#:~:text=M% E1% BA% A1ng% 20kh%C3% B4ng% 20d%C3% A2y% 20l%C3% A0% 20m% E1% BA% A1ng,b%E1% BB% 8B% 20truy%E1% BB% 81n% 20th%C3% B4ng% 20v%E1% BB% 9Bi% 20nhau.>
- [15] [http://elearning.vnu.edu.vn/uploads/images/USERS\\_1341112/Nguyen%20ly%20truyen%20thong%20khong%20day/C1.%20GI%E1%BB%9AI%20THI%E1%BB%86U%20V%E1%BB%80%20TRUY%E1%BB%80N%20TH%C3%94NG%20KH%C3%94N%20D%C3%82Y.pdf](http://elearning.vnu.edu.vn/uploads/images/USERS_1341112/Nguyen%20ly%20truyen%20thong%20khong%20day/C1.%20GI%E1%BB%9AI%20THI%E1%BB%86U%20V%E1%BB%80%20TRUY%E1%BB%80N%20TH%C3%94NG%20KH%C3%94N%20D%C3%82Y.pdf)
- [16] <https://www.linkedin.com/pulse/difference-between-wifi-bluetooth-zigbee-ct-rf-antennas-inc>
- [17] [Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science 13\(2\):514](https://www.indonesianjournalofelectricalengineeringandcomputerscience.com/index.php/IJEECS/article/view/132)