

# HUST

**ĐẠI HỌC BÁCH KHOA HÀ NỘI**

HANOI UNIVERSITY OF SCIENCE AND TECHNOLOGY

ONE LOVE. ONE FUTURE.

# MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

## BÁO CÁO GIỮA KỲ:

Thiết kế mạng cảm biến không dây giám sát nhiệt độ và độ ẩm trên cánh đồng diện tích 100 hecta

Nhóm 5

# Tổ chức thành viên - Nhóm 5

	Họ và tên: Nguyễn Trung Kiên MSSV: 20210500
	Họ và tên: Vũ Quang Nhật Hải MSSV: 20222125
	Họ Và Tên: Nguyễn Anh Tú MSSV: 20222423

# Nội dung báo cáo

1. Phân tích yêu cầu kĩ thuật
2. Lựa chọn công nghệ truyền tin không dây
3. Lựa chọn kiến trúc mạng
4. Lựa chọn thiết bị phần cứng
5. Sơ đồ khối hệ thống
6. Sơ đồ nguyên lý
7. Các pha chính hệ thống và cấu trúc bản tin
8. Chu trình hoạt động của các node
9. Tính toán năng lượng tiêu thụ
10. Phương án phân bổ node thực tế
11. Tính toán Link Budget
12. Server xử lý và giao diện người dùng
13. Chạy thử và kiểm nghiệm hệ thống
14. Tài liệu tham khảo

# 1. Phân tích yêu cầu kỹ thuật

TT	Yêu cầu	Mức độ ưu tiên
1	<ul style="list-style-type: none"><li>- Dải đo: <math>-10^{\circ}\text{C} \div 50^{\circ}\text{C}</math> với nhiệt độ, 0-100 %RH và 0-60% Vol</li><li>- Độ chính xác: <math>\pm 0.5^{\circ}\text{C}</math> và <math>\pm 2\%</math> RH (không khí), <math>\pm 3\%</math> Vol (độ ẩm đất).</li><li>- Độ phân giải hiển thị: <math>0.1^{\circ}\text{C}</math> và <math>0.1\%</math> RH.</li><li>- Thời gian đo một mẫu : &lt;60s.</li></ul>	1
2	<ul style="list-style-type: none"><li>- Thiết bị sử dụng pin, tuổi thọ pin/nút: <math>\geq 2</math> năm</li><li>- Bán kính truyền nhận mỗi nút: <math>\geq 100</math> m</li></ul>	1
3	<ul style="list-style-type: none"><li>- Độ trễ thấp nhất thu thập dữ liệu: &lt; 30 s</li><li>- Quản lý tối thiểu: 100 nút cảm biến</li></ul>	2
4	<ul style="list-style-type: none"><li>- Phần mềm máy tính: thu thập giá trị đo từ thiết bị đo, quản lý dữ liệu, xuất báo cáo dạng excel, giao diện theo mẫu thống nhất.</li><li>- Có thể cấu hình ngưỡng nhiệt độ, độ ẩm và chu kỳ đo từ xa.</li></ul>	2
5	<ul style="list-style-type: none"><li>- Có prototype phần cứng: kích thước tối đa: 50 cm x 80 cm, trọng lượng: &lt;150g, chống nước IP65</li></ul>	3
6	<ul style="list-style-type: none"><li>- Update firmware OTA (Over The Air)</li><li>- Tích hợp thuật toán tiết kiệm năng lượng thông minh</li><li>- Hỗ trợ phân tích dữ liệu cho ứng dụng nông nghiệp chính xác</li></ul>	3

Bảng 1: Phân tích yêu cầu kỹ thuật và đánh giá mức ưu tiên

## 2. Lựa chọn công nghệ truyền tin không dây

Tiêu chí	WiFi	BLE	Zigbee	LoRaWAN
Băng tần	2.4 GHz 5 GHz, 6GHz	2.4 GHz	2.4 GHz 868/915 MHz	433 MHz, 866MHz 915 MHz
Băng thông	20, 40, 80, 160 MHz	2 MHz	2 MHz	125, 250, 500 kHz
Phạm vi	30–300 m	10–100 m	10–75 m	2–15 km
Tốc độ dữ liệu	1 Mbps ~ 9.6 Gps	1 Mbps	250 kbps	0.3 ~ 50 kbps
Độ trễ	1-10 ms	6 ms	15 ms	1-2 s
Công suất tiêu thụ	Trung bình/Cao	Rất thấp	Rất thấp	Cực thấp
Mức độ bảo mật	Cao	Trung bình	Trung bình	Thấp - Trung bình

Bảng 2: So sánh các công nghệ truyền tin không dây phổ biến

## 2. Lựa chọn công nghệ truyền tin không dây

❖ **LoRa:** LoRa (viết tắt của "Long Range" - tầm xa) là một kỹ thuật giao tiếp vô tuyến độc quyền dựa trên điều chế phổ trải.

- Ưu điểm: Dải tần sử dụng 433 MHz, tiêu thụ năng lượng thấp, có thể truyền xa, có kích thước gói tin tối đa là 255-256 byte
- Nhược điểm: Tốc độ truyền thấp 0.3 kbps – 50 kbps , độ trễ cao, tín hiệu dễ bị xung đột.

=> Phù hợp sử dụng cho việc truyền tin giữa Senser Node-Relay Node và Relay Node-Gateway.

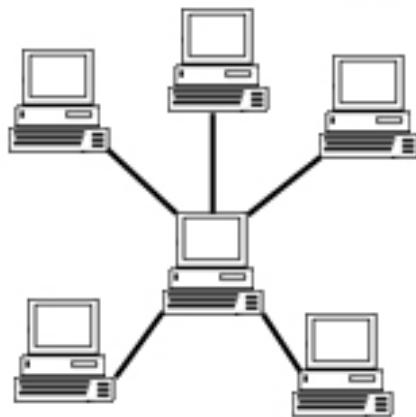
❖ **Wi-Fi:**

- Ưu điểm: Tốc độ truyền cao, kích thước gói tin lớn, bảo mật tốt, chống nhiễu tốt.
- Nhược điểm: Tiêu thụ năng lượng lớn.

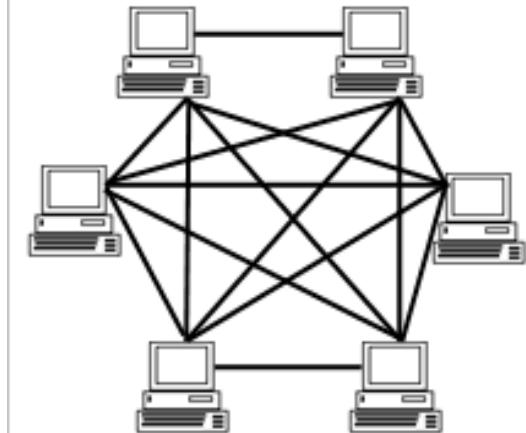
=> Phù hợp cho việc tải bản tin lên Server từ Gateway

### 3. Lựa chọn kiến trúc mạng

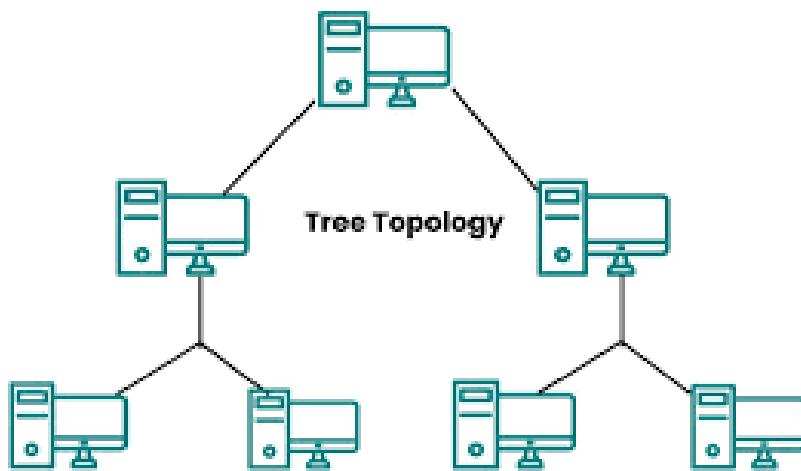
Star Topology



Mesh Topology



Tree Topology



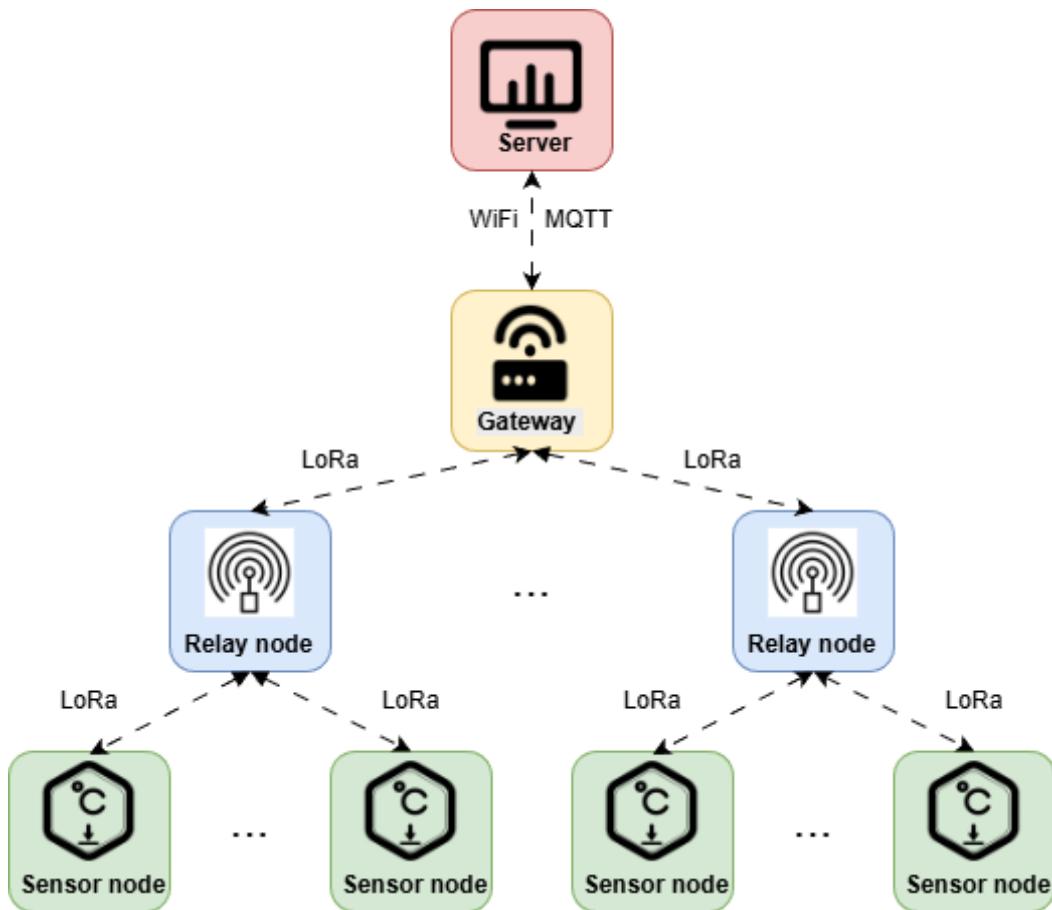
Hình 1: Các kiến trúc mạng phổ biến

### 3. Lựa chọn kiến trúc mạng

	Star	Tree	Mesh
Cấu trúc	Tất cả các thiết bị kết nối trực tiếp với một nút trung tâm	Cấu trúc phân cấp, các thiết bị kết nối theo nhánh	Các thiết bị kết nối với nhau, không có nút trung tâm
Khả năng mở rộng	Giới hạn số lượng thiết bị	Mở rộng dễ dàng	Khó khăn trong việc mở rộng
Quản lý lưu lượng	Tất cả lưu lượng đi qua một nút trung tâm, tắc nghẽn có thể xảy	Lưu lượng phân tán giữa các nhánh giảm tắc nghẽn	Lưu lượng phức tạp, có thể tắc nghẽn ở các nút giao tiếp
Độ tin cậy	Nếu nút trung tâm gặp sự cố, toàn bộ mạng ngừng hoạt động	Nếu một nhánh gặp sự cố, các nhánh khác vẫn hoạt động	Nếu một thiết bị gặp sự cố, hệ thống vẫn hoạt động
Tiết kiệm tài nguyên	Tốn nhiều tài nguyên cho nút trung tâm	Tối ưu hóa tài nguyên	Tốn tài nguyên cho nhiều kết nối
Khả năng hỗ trợ thiết bị	Thích hợp cho số lượng thiết bị nhỏ và vừa	Thích hợp cho nhiều thiết bị trong diện tích lớn	Thích hợp cho môi trường có số lượng thiết bị lớn

Bảng 3: So sánh các kiến trúc mạng phổ biến ứng dụng cho WSN [1], [2]

### 3. Lựa chọn kiến trúc mạng



- **Sensor Node (90 ~ 100):** Là thiết bị đầu cuối thực hiện việc thu thập dữ liệu môi trường.
- **Relay Node (10):** Vai trò là thiết bị trung gian, làm cầu nối giữa các cụm Sensor Node và Gateway trung tâm
- **Gateway (1):** Tiếp nhận toàn bộ dữ liệu từ mạng WSN LoRa và làm cầu nối dữ liệu đó lên hệ thống Server
- **Server (1):** Tiếp nhận, lưu trữ, xử lý và trực quan hóa dữ liệu. Giúp người vận hành có công cụ quản lý từ xa

Hình 2: Kiến trúc mạng phân cấp kiểu Tree cho hệ thống đè xuất

## 4. Lựa chọn linh kiện và thiết bị

### MCU

- **STM32F103C8T6** (dùng cho Node) [3]

- ARM Cortex-M3 core, 72 MHz, 64 KB Flash, 20 KB SRAM. GPIO: 37
- Interfaces: UART/SPI/I2C cho SX1278, ADC 12-bit cho cảm biến analog.
- Chế độ tiết kiệm năng lượng: Sleep mode <2mA, Stop mode 20µA



Hình 3 : Module STM32F103C8T6

- **ESP32** (dùng cho Gateway) [4]

- Wi-Fi nhanh (150 Mbps), dual-core xử lý đa nhiệm, low power mode, dễ tích hợp server (MQTT/HTTP).
- Tiêu thụ năng lượng: Deep sleep: 0.01 mA, WiFi active: >100 mA,



Hình 4 : Module SX1278

Hình 4 : Module ESP32

## 4. Lựa chọn linh kiện và thiết bị

### Module truyền thông - LoRa SX1278 [5]

- Tần số 137-525 MHz (sub-GHz)
- Phạm vi lên 10-15 km.
- Điện áp 3.3-5V, tiêu thụ RX 10.8 mA / TX 120 mA, <1 $\mu$ A ở chế độ A ở chế độ A ở chế độ Sleep, Idle Mode 1.2-1.8 mA
- Bit rate lên 300 kbps.
- Interfaces: SPI cho STM32/ESP32.
- Thời gian wake-transmit-sleep: ~10-50 ms



Hình 5 : Module SX1278

# 4. Lựa chọn linh kiện và thiết bị

## Các cảm biến nhiệt độ & độ ẩm

### ❖ DHT22 [6]: Cảm biến nhiệt độ và độ ẩm

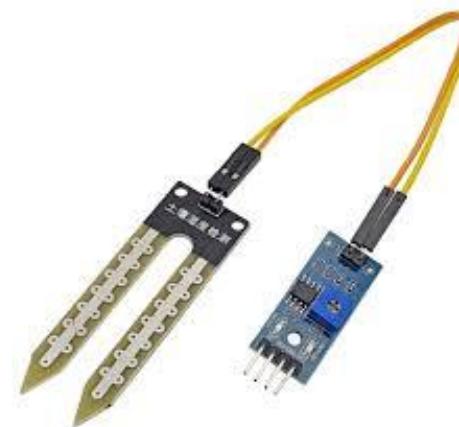
- Dải đo nhiệt độ -40°C đến +80°C, độ ẩm 0-100% RH. Độ chính xác  $\pm 0.5^{\circ}\text{C}$  (nhiệt độ),  $\pm 2\%$  RH (độ ẩm).
- Độ phân giải  $0.1^{\circ}\text{C}$  và  $0.1\%$  RH.
- Thời gian lấy mẫu: 2s
- Điện áp 3.3-5V, active: 0.5-1 mA, idle: < 60 $\mu\text{A}$ .



Hình 6 : Module DHT22

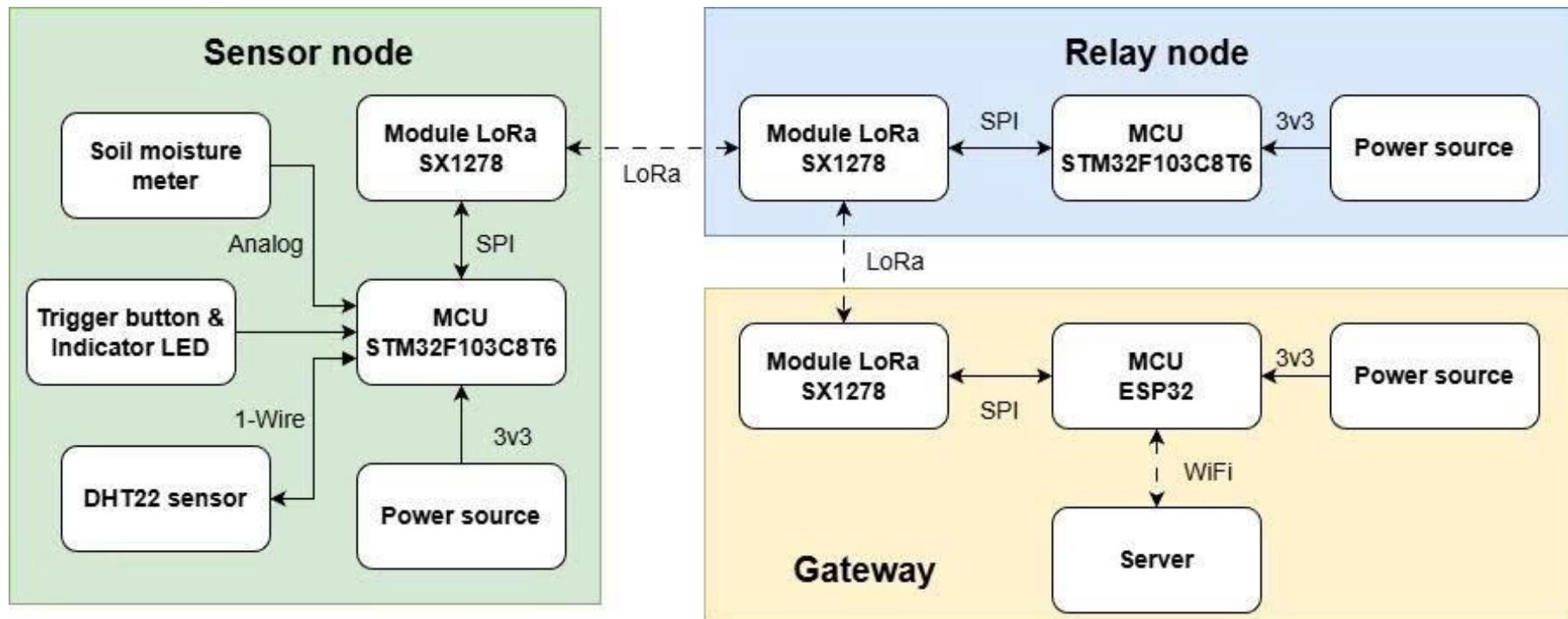
### ❖ HW-080 + LM393 [7]: Cảm biến độ ẩm đất

- Dải đo 0-100% volumetric water content (VWC). Độ chính xác  $\pm 3-4\%$ , độ phân giải  $\sim 0.1\%$ .
- Giao tiếp: Analog (0-3V) hoặc digital.
- Thời gian lấy mẫu: 10 ~ 20 ms
- Công suất: 3.3-5V, active: 5-10 mA (analog đo), idle: <0.5mA



Hình 7 : Module HS0163

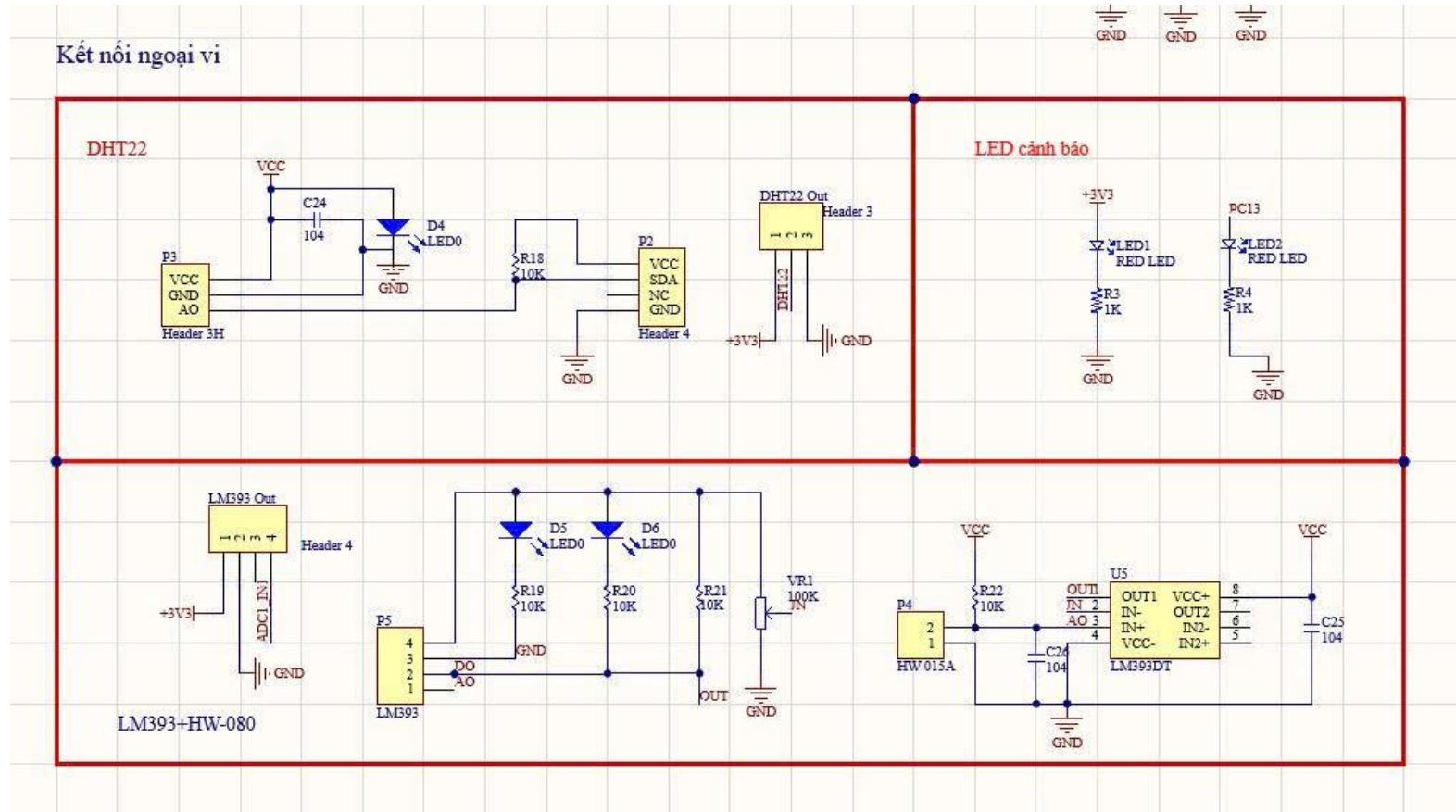
# 5. Sơ đồ khối hệ thống



Hình 8 : Sơ đồ khối của hệ thống

# 6. Sơ đồ nguyên lý

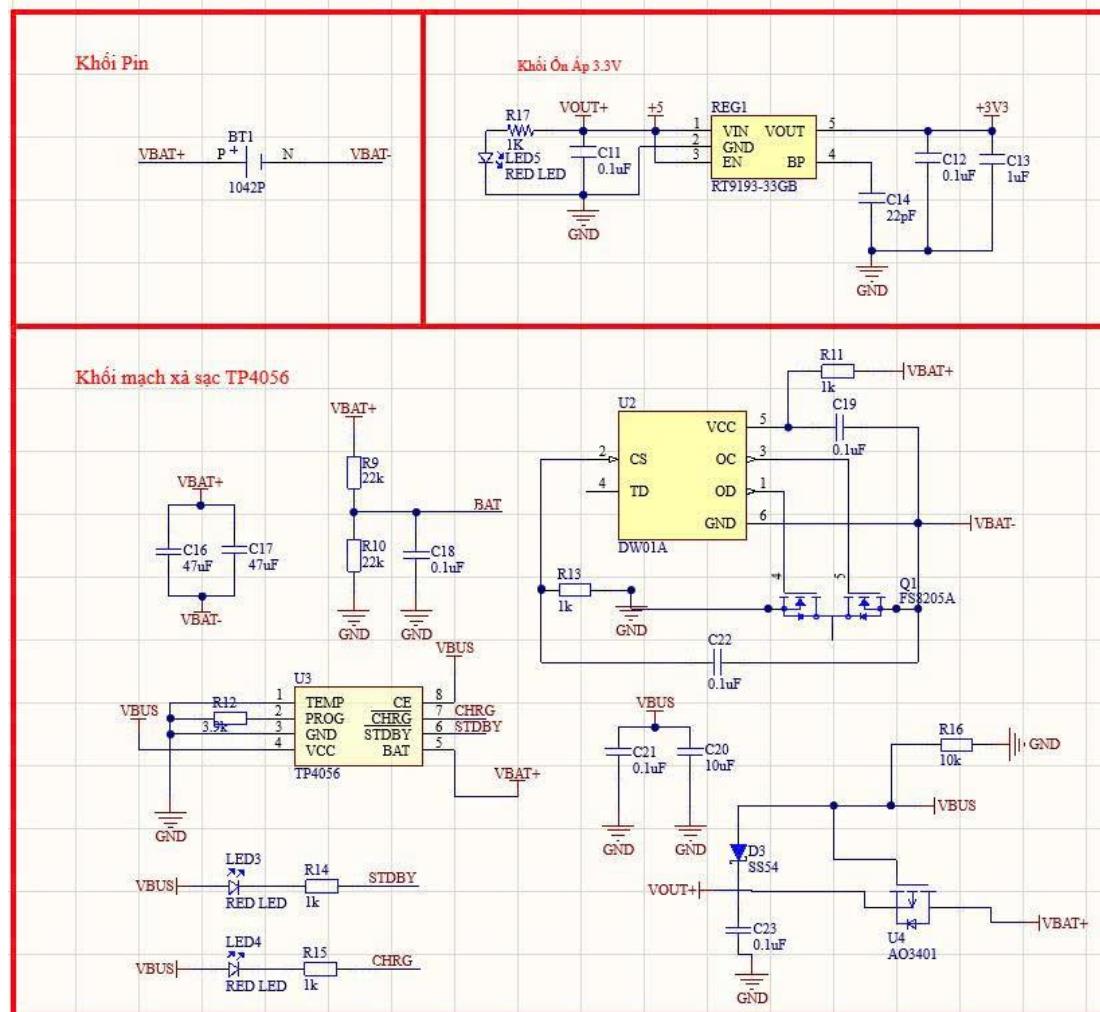
## ❖ Các khối cảm biến



Hình 9: Module khối đo độ ẩm đất LM393 và HW-080

# 6. Sơ đồ nguyên lý

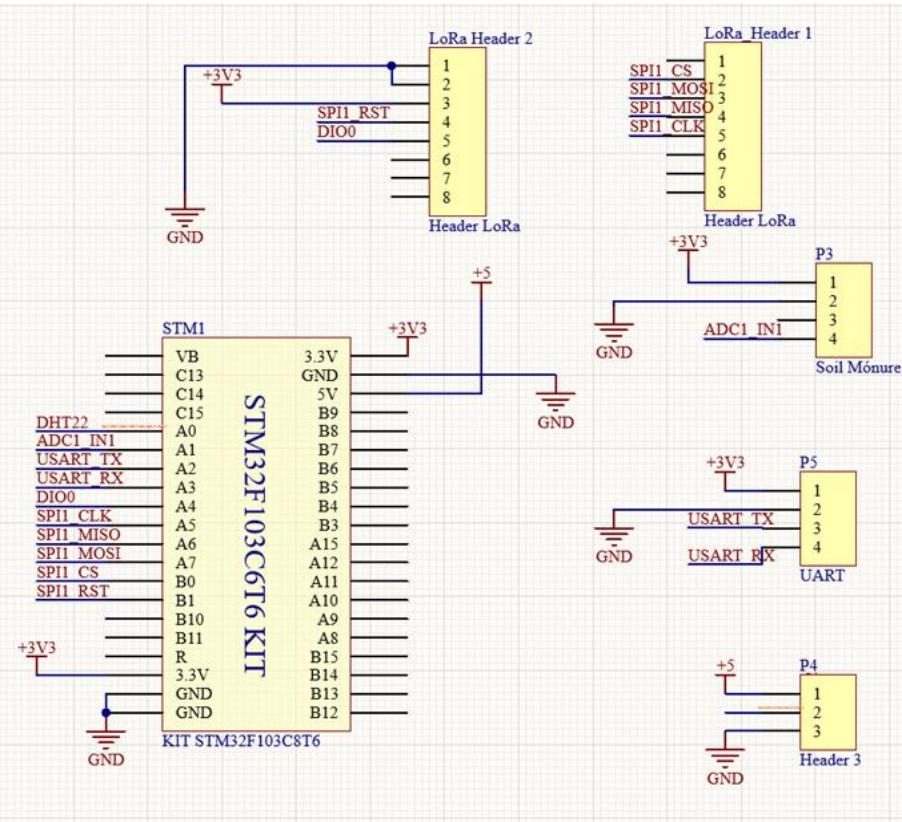
## ❖ Khối nguồn và mạch bảo vệ pin



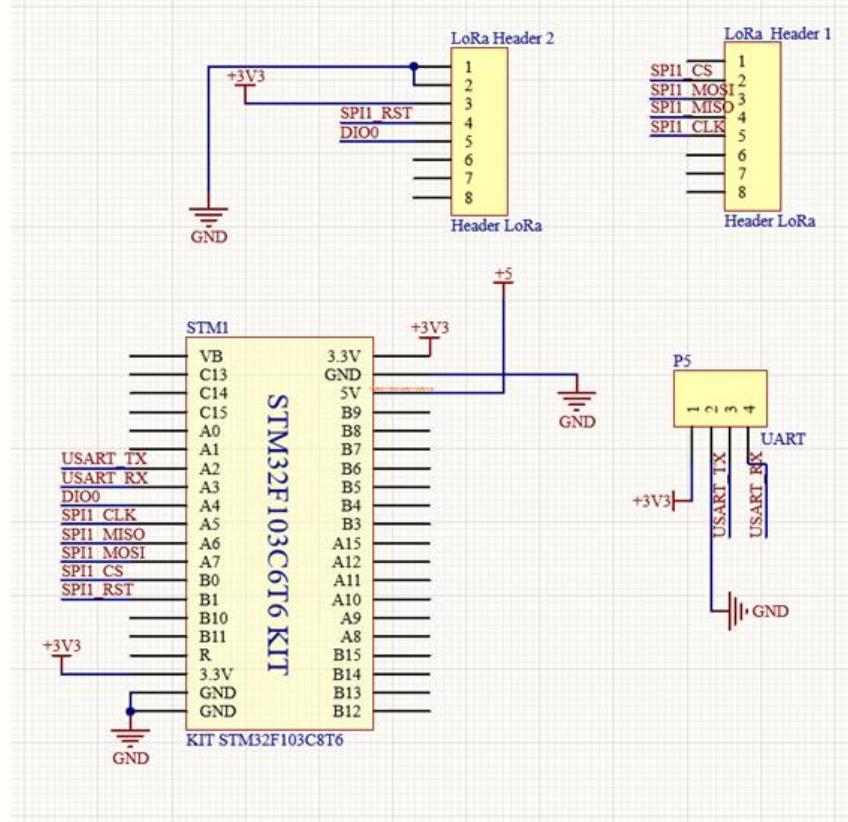
Hình 10: Khối nguồn và mạch bảo vệ pin

# 6. Sơ đồ nguyên lý

## ❖ Khối Sensor node và Relay node



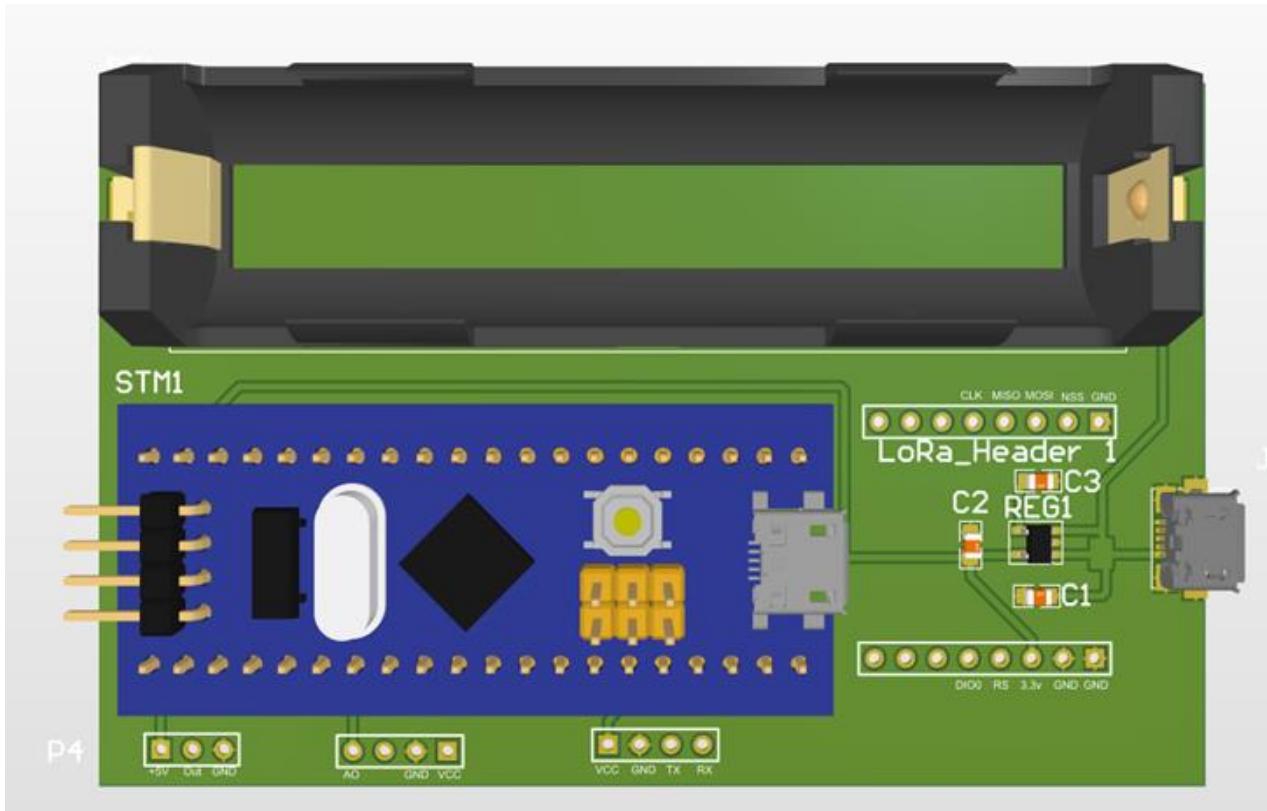
Hình 11: Ghép nối ngoại vi khối Sensor Node



Hình 12: Ghép nối ngoại vi khối Relay Node

# 6. Sơ đồ nguyên lý

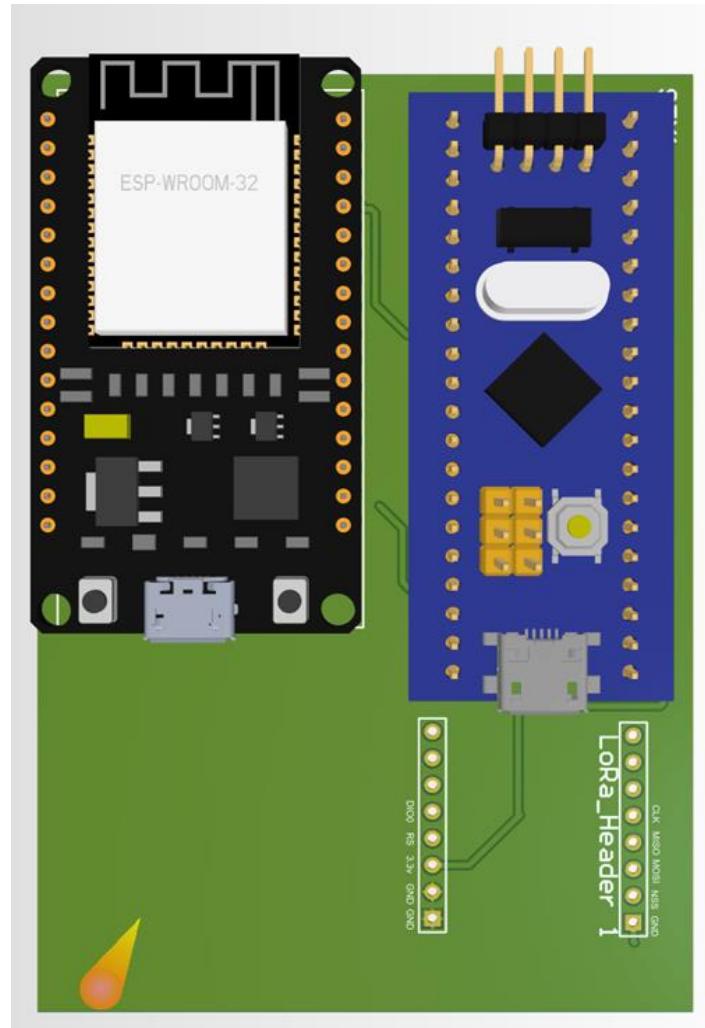
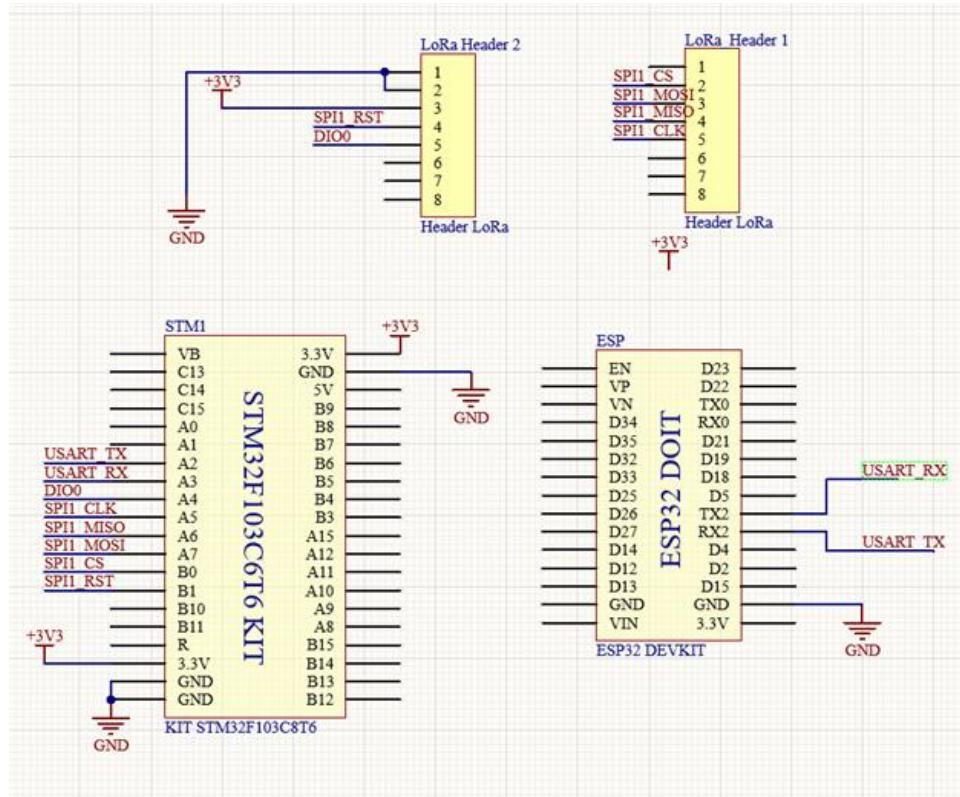
## ❖ Khối Sensor node và Relay node



Hình 13: Mạch PCB chung của Sensor node và Relay node

# 6. Sơ đồ nguyên lý

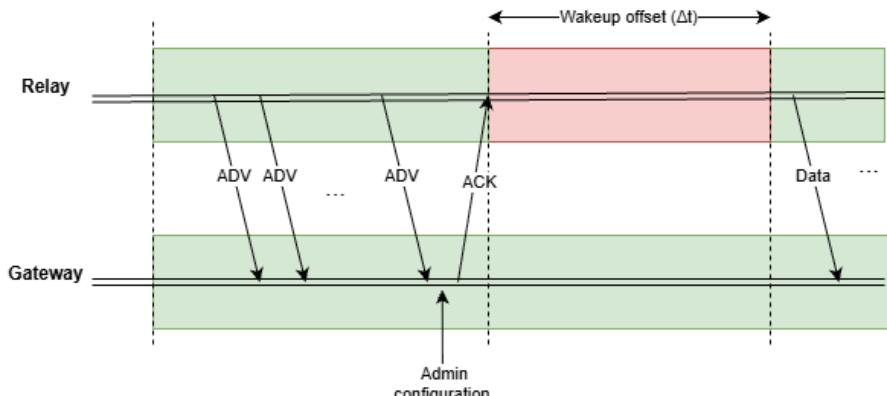
## ❖ Khối Gateway:



Hình 14: Ghép nối ngoại vi khối Gateway

# 7. Các pha chính hệ thống & cấu trúc bản tin

## ❖ Pha đăng ký - Relay với Gateway:



Advertising - ADV	
1 byte	1 byte
Function code	Relay node ID

Acknowledgment - ACK				
1 byte	2 byte	1 byte	2 byte	2 byte
Function code	Wakeup cycle	Relay node ID1	$\Delta t1$	....

Hình 15: Sequence diagram và cấu trúc bản tin pha Đăng ký giữa Relay node và Gateway

**Bước 1:** Ngay khi khởi động, Relay Node phát đi liên tục các gói tin quảng bá ADV tới Gateway yêu cầu gia nhập mạng.

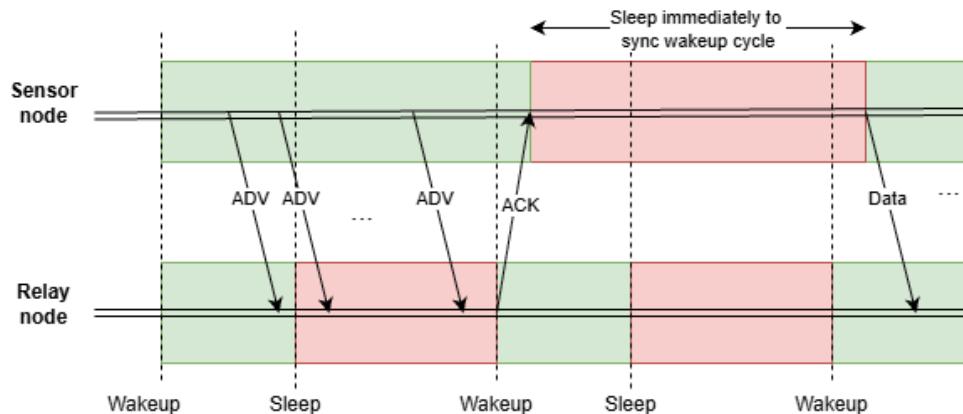
**Bước 2:** Gateway nhận được các gói tin ADV, chờ lệnh cấu hình từ Server hoặc Quản trị viên (through qua giao thức UART/MQTT).

**Bước 3:** Sau khi nhận lệnh cấu hình, Gateway phát gói tin ACK chứa thông tin đồng bộ cho toàn mạng.

**Bước 4:** Relay Node nhận được ACK sẽ trích xuất tham số hệ thống (Wakeup cycle và wakeup offset). Cài thời gian ngủ và bắt đầu chu kỳ sau ở pha Báo cáo

# 7. Các pha chính hệ thống & cấu trúc bản tin

## ❖ Pha đăng ký - Sensor với Relay:



Advertising - ADV		
1 byte	1 byte	1 byte
Function code	Sensor node ID	Relay node ID

Acknowledgment - ACK				
1 byte	1 byte	1 byte	2 byte	1 byte
Function code	Sensor node ID	Relay node ID	Wakeup Cycle	TDMA slot

Hình 16 : Sequence diagram và cấu trúc bản tin pha Đăng ký giữa Sensor node và Relay node

**Bước 1:** Sensor Node khởi động lần đầu  
sẽ phát gói tin ADV chứa ID của bản thân  
và ID của Relay mục tiêu

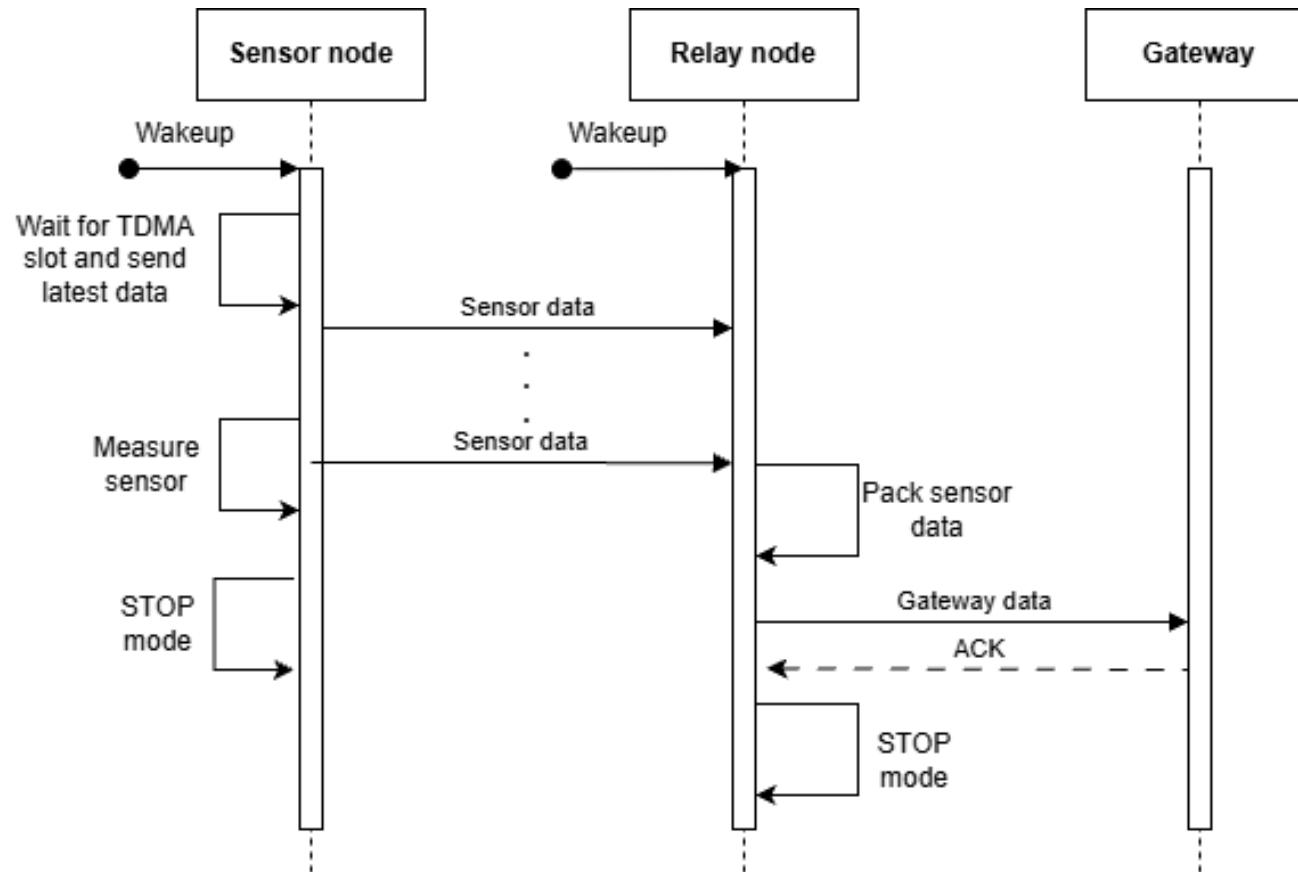
**Bước 2 :** Relay Node khi nhận được ADV  
của Sensor thuộc danh sách quản lý sẽ  
thêm vào hàng chờ phản hồi

**Bước 3:** Đầu mỗi duty cycle, Relay sẽ lập  
tức gửi gói tin ACK chứa thông tin cấu  
hình hệ thống (Wakeup cycle và cấp phát  
TDMA slot) tới các Sensor trong hàng chờ

**Bước 4 :** Ngay sau khi nhận được ACK,  
Sensor Node thực hiện ngủ ngay lập tức  
nhằm đồng bộ hóa điểm bắt đầu chu kỳ  
với Relay. Từ chu kỳ sau, Sensor node sẽ  
vào luồng vận hành pha báo cáo

# 7. Các pha chính hệ thống & cấu trúc bản tin

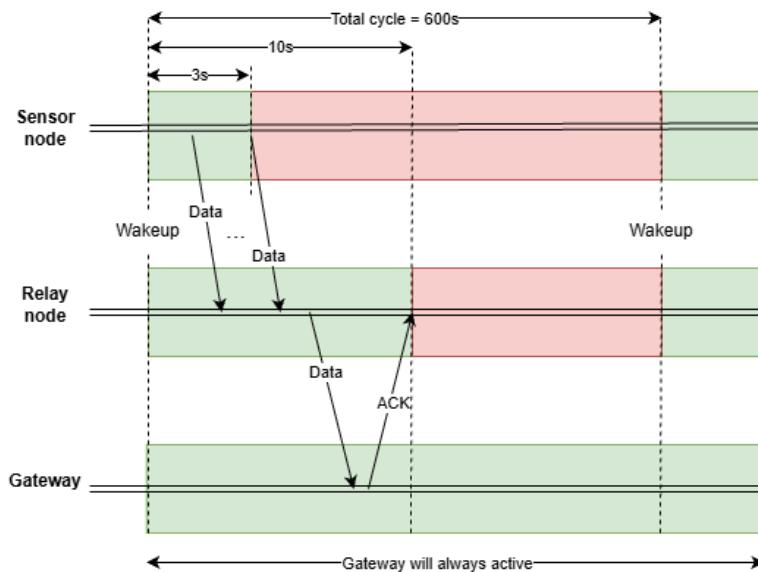
## ❖ Pha Báo cáo:



Hình 17: Sequence diagram luồng dữ liệu ở pha Báo cáo từ các Sensor node -> Relay node -> Gateway

# 7. Các pha chính hệ thống & cấu trúc bản tin

## ❖ Pha Báo cáo:



Sensor node to Relay node (7 byte)			
1 byte	1 byte	1 byte	5 bytes
Function code	Sensor node ID	Relay node ID	Data

Acknowledgment		
1 byte	1 byte	
Function code	Node ID	

Data (5 bytes)		
2 bytes	2 bytes	1 byte
Temperature data	Humidity data	Soil data

Relay node to Gateway (1-3 node data -> 8-20 bytes)				
1 byte	1 byte	1 bytes	5 bytes	
Function code	Relay node ID	Sensor node ID	Data	....
.....				Maximum 3 data packet each time
Relay node to Gateway (1-3 node -> 8-20 bytes)				
1 byte	1 byte	1 bytes	5 bytes	
Function code	Relay node ID	Sensor node ID	Data	....

Hình 18: Cấu trúc các bản tin giữa các tầng node ở pha Báo Cáo

Trong pha báo cáo, dữ liệu cảm biến sẽ được Relay gom từ các Sensor nó quản lý và chuyển tiếp lên Gateway/Server bằng các bản tin liên tiếp theo từng batch

# 7. Các pha chính hệ thống & cấu trúc bản tin

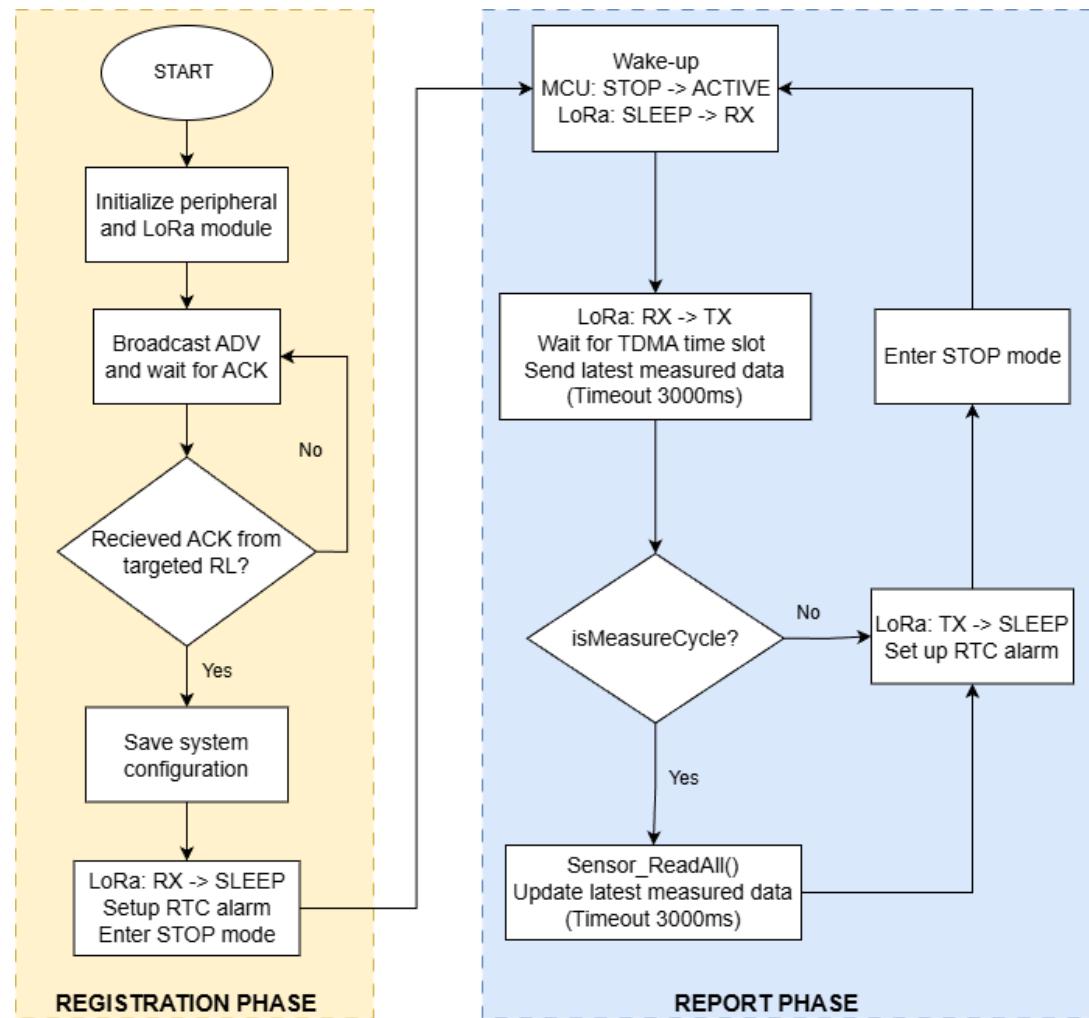
## ❖ Các Function code của hệ thống

Mã Function	Hướng truyền	Mô tả chức năng
0x01	Sensor → Relay	Bản tin quảng bá yêu cầu gia nhập mạng.
0x02	Relay → Sensor	Xác nhận đăng ký thành công, cung cấp thông tin thiết lập hệ thống và cấp phát khe thời gian (Time Slot).
0x03	Sensor → Relay	Bản tin dữ liệu dữ liệu cảm biến đo (Nhiệt độ, Độ ẩm, Độ ẩm đất).
0x04	Relay → Gateway	Bản tin chuyển tiếp dữ liệu đã tổng hợp từ nhiều cảm biến lên Gateway.
0x05	Gateway → Relay	Xác nhận Gateway đã nhận gói dữ liệu thành công.
0x06	Relay → Gateway	Relay yêu cầu đăng ký mạng và xin tham số cấu hình từ Gateway.
0x07	Gateway → Relay	Phản hồi cấu hình hệ thống (Chu kỳ hoạt động, độ lệch thời gian).

Bảng 4: Bảng Function code các frame truyền của hệ thống

# 8. Chu trình hoạt động của các Node

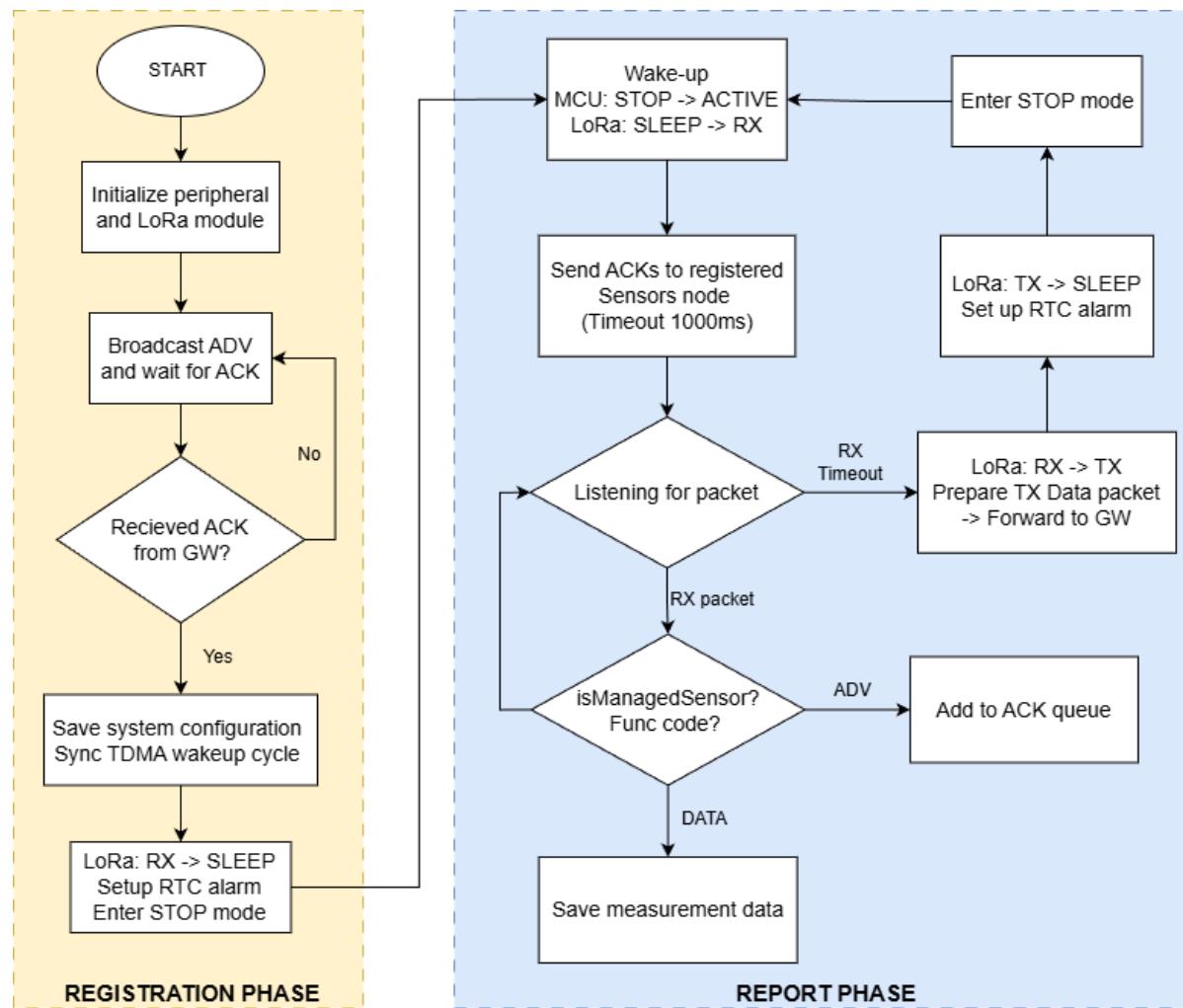
## ❖ Chu trình hoạt động mỗi chu kỳ của Sensor node



Hình 19: Lưu đồ chu trình hoạt động của Sensor node

# 8. Chu trình hoạt động của các Node

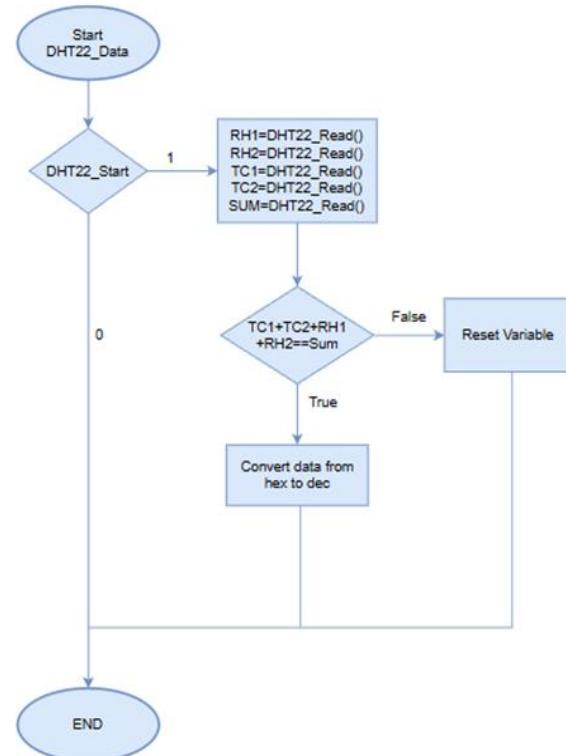
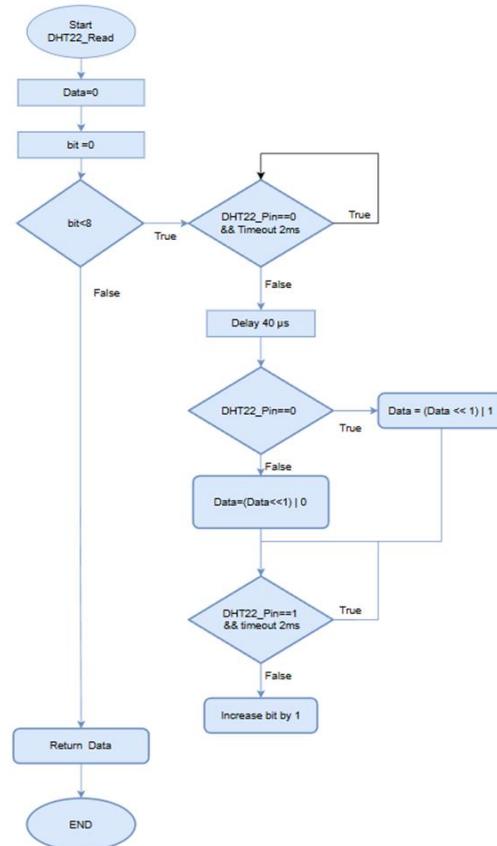
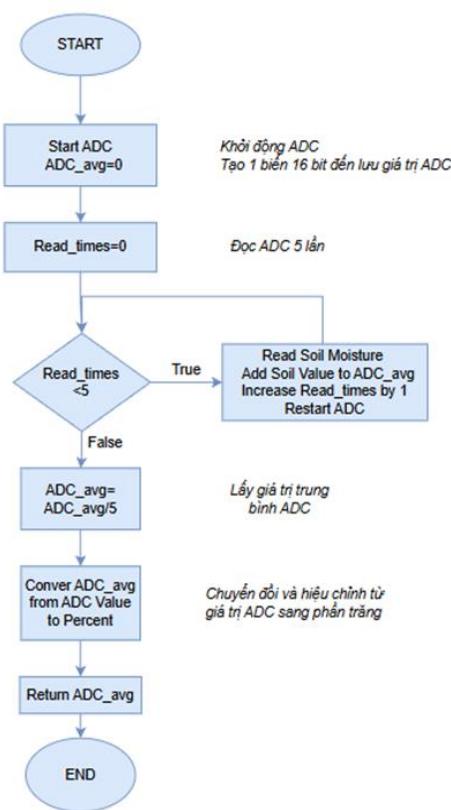
## ❖ Chu trình hoạt động mỗi chu kỳ của Relay node



Hình 20: Lưu đồ chu trình hoạt động của Relay node

# 8. Chu trình hoạt động của các Node

## ❖ Lưu đồ Firmware đọc cảm biến



# 9. Tính toán năng lượng tiêu thụ

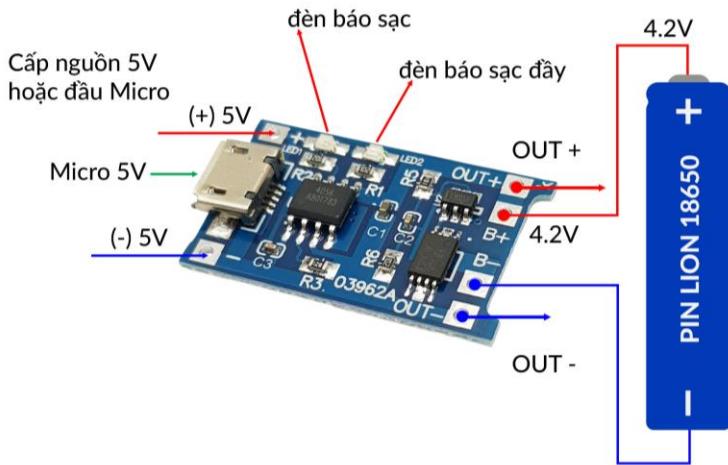
## ❖ Chọn mạch nguồn và pin



Hình 24: Pin Lithium YDL 7565121

### Lựa chọn pin YDL 7565121[8]:

- Điện áp: DC 3.7V
- Dung lượng: 8000mAh
- Thời gian hoạt động lý thuyết  
 $8000/0.3687 \approx 21697\text{h} \approx 2,48$  năm



Hình 25: Mạch xả-sạc pin TP4056 có IC bảo vệ

### Lựa chọn mạch sạc- xả: TP4056 [9]

- Bảo vệ quá nhiệt,
- Bảo vệ quá áp, quá dòng
- Bảo vệ quá xả,
- Bảo vệ ngắn mạch

# 9. Tính toán năng lượng tiêu thụ

## ❖ Kịch bản vận hành và thông số năng lượng phần cứng:

Bài toán đưa ra dựa theo kịch bản vận hành của hệ thống :

- **Tổng chu kỳ hoạt động:** 15 phút = 900 giây
- **Nguồn nuôi:** Pin Lithium YDL 7565121 với dung lượng lý thuyết 8000 mah
- **Mục tiêu:** Thời gian hoạt động  $\geq 2$  năm

Thiết bị	Chế độ	Dòng tiêu thụ (mA)
STM32F103C6T8	ACTIVE	4
	STOP	0.02
DHT22	ACTIVE	0.5
	IDLE	0.06
HW-080	ACTIVE	5
	IDLE	0.5
SX1278	TX	120
	RX	10.8
	IDLE	1.2

- **Duty cycle của Sensor node** là: 3s với chu kỳ không cần đo cảm biến và 6s với chu kỳ cần đo cảm biến. Sensor node sẽ tiến hành đo mỗi 5 chu kỳ
- **Duty cycle của Relay node** cố định là 10s với chu trình
  - Timeout 1s cho nhiệm vụ gửi bản tin ACKs đầu chu kỳ
  - Timeout 8s cho chế độ lắng nghe các gói tin tới
  - Timeout 1s cho nhiệm vụ chuyển tiếp dữ liệu lên Gateway

# 9. Tính toán năng lượng tiêu thụ

## ❖ Tuổi thọ Sensor node

Phân tích kịch bản:

- Chu kỳ thường (Type A - 4 lần): Chỉ thức dậy 3s để đồng bộ/gửi theo TDMA. Không đo cảm biến. LoRa ở chế độ RX toàn duty cycle
- Chu kỳ đo (Type B - 1 lần): Thức dậy 6s để đọc và gửi dữ liệu. Cảm biến bật. LoRa ở chế độ RX toàn duty cycle

Bước 1: Tính điện lượng tiêu thụ trong Chu kỳ thường (Type A)

- Thời gian Active:  $T_A = 3s$
- Dòng Active  $I_{active\_A} = I_{MCU\_active} + I_{LoRa\_RX} = 4 + 12 = 16 \text{ mA}$ .
- Điện lượng Active  $Q_A = 16 \text{ mA} \times 3s = 48 \text{ mAs}$ .

Bước 2: Tính điện lượng tiêu thụ trong Chu kỳ đo (Type B)

- Thời gian Active:  $T_B = 6s$ .
- Dòng Active  $I_{active\_B} = I_{MCU} + I_{LoRa\_RX} = 4 + 12 + 5.5 = 21.5 \text{ mA}$ .
- Điện lượng Active  $Q_B = 21.5 \text{ mA} \times 6s = 129 \text{ mAs}$ .

Bước 3: Tính dòng tiêu thụ trung bình toàn trình

- Tổng thời gian ngủ:  $4500s - (4 \times 3s + 6s) = 4482s$ .
- Tổng điện lượng tiêu thụ trong 5 chu kỳ:  
$$Q_{total} = (4 \times Q_A) + (1 \times Q_B) + Q_{sleep}$$
$$= (4 \times 48) + 129 + (4482 \times 0.02) = 410.64 \text{ mAs}$$

- Dòng trung bình:

$$I_{Avg\_Sensor} = \frac{410.64}{4500} \approx 0.0913 \text{ m} (\text{hay } 91.3 \mu\text{A})$$

Bước 4: Ước tính tuổi thọ pin Sensor

$$T_{Life\_Sensor} = \frac{C_{pin}}{I_{Avg\_Sensor}} = \frac{8000}{0.0913} \approx 87,623 \text{ giờ} \approx 10 \text{ năm}$$

## ❖ Tuổi thọ Relay node

Relay Node chịu tải nặng hơn do phải lắng nghe (RX) thời gian dài và phát lại (TX) dữ liệu cho Gateway. Phân tích kịch bản chu trình hoạt động

- Gửi ACK (TX): Timeout 1s.
- Lắng nghe Sensor (RX): Timeout 8s.
- Chuyển tiếp Server (TX): Timeout 1s.
- Ngủ (Sleep):  $900s - 10s = 890s$ .

Bước 1: Tính điện lượng pha Active

- Pha TX (Tổng 2s): Dòng  $I_{TX\_Total} = I_{MCU\_Run} + I_{LoRa\_TX} = 124 \text{ mA}$   
 $\Rightarrow Q_{TX} = 124 \text{ mA} \times 2 \text{ s} = 248 \text{ mAs}$
- Pha RX (8s): Dòng  $I_{RX\_Total} = I_{MCU\_Run} + I_{LoRa\_RX} = 4 + 12 = 16 \text{ mA}$   
 $\Rightarrow Q_{RX} = 16 \text{ mA} \times 8 \text{ s} = 128 \text{ mAs}$
- Tổng Active:  $Q_{Active} = 248 + 128 = 376 \text{ mAs}$

Bước 2: Tính dòng tiêu thụ trung bình

$$I_{Avg\_Relay} = \frac{Q_{Active} + Q_{Sleep}}{T_{Cycle}} = \frac{376 + 17.8}{900}$$
$$I_{Avg\_Relay} = \frac{393.8}{900} \approx 0.4376 \text{ m}$$

Bước 3: Ước tính tuổi thọ pin Relay

$$T_{Life\_Relay} = \frac{C_{pin}}{I_{Avg\_Relay}} = \frac{8000}{0.4376} \approx 18,281 \text{ giờ}$$
$$\Rightarrow T_{Life\_Relay} \approx 2.08 \text{ năm}$$

# 9. Tính toán năng lượng tiêu thụ

## ❖ Nhận xét đánh giá

### Đối với Sensor Node:

- Hệ thống hoàn toàn khả thi và dư thừa năng lượng rất lớn.
- Sensor Node có thể hoạt động ổn định tới 10 năm, vượt xa yêu cầu 2 năm. Điều này cho phép mở rộng tính năng (như tăng tần suất đo) nếu cần thiết trong tương lai mà không lo ngại về pin.

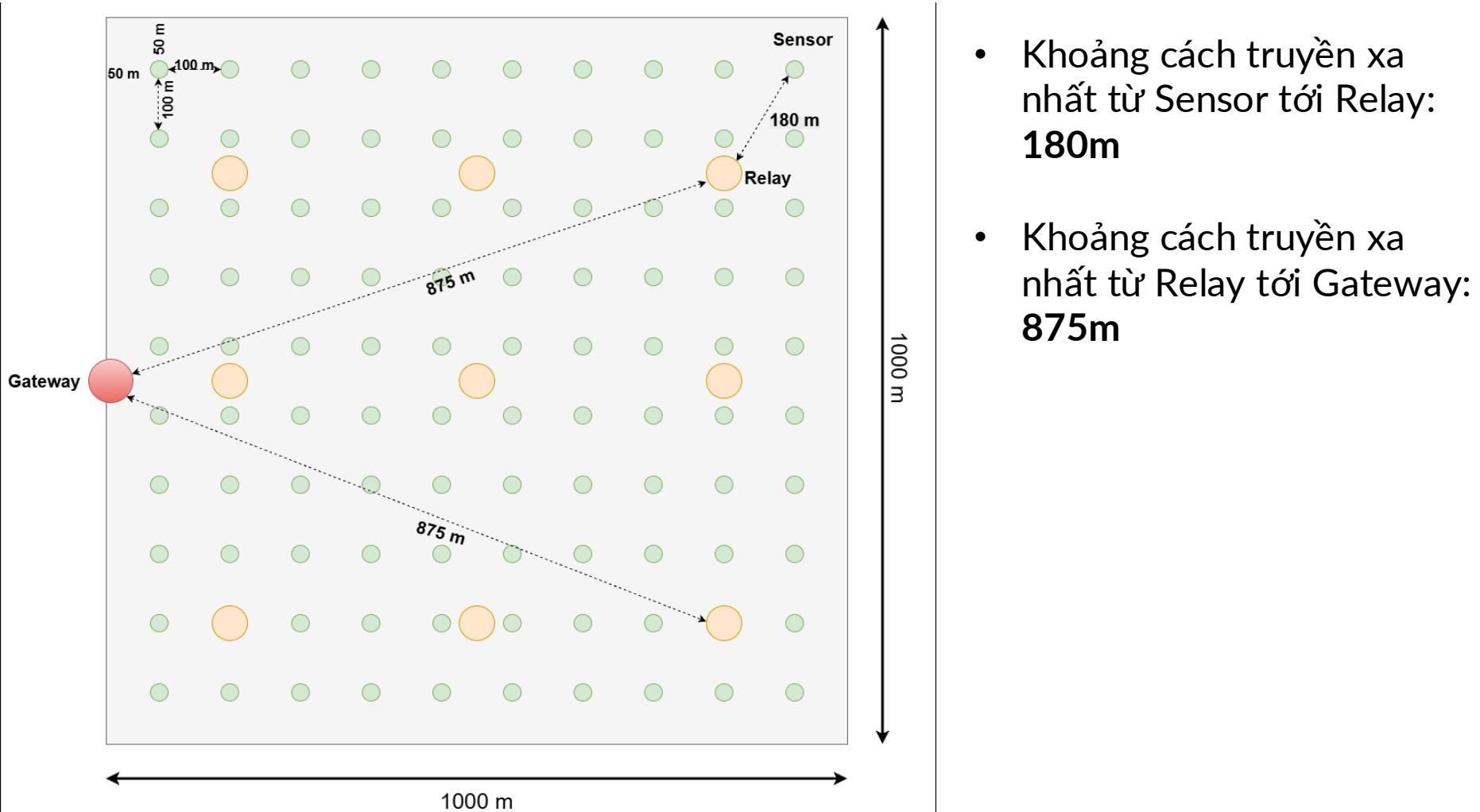
### Đối với Relay Node:

- Về mặt lý thuyết, Relay Node đạt chỉ tiêu ( $2.08 \text{ năm} > 2 \text{ năm}$ ).
- Tuy nhiên, biên độ dự trữ năng lượng rất thấp (chỉ dư khoảng 0.08 năm đến 1 tháng).

**KẾT LUẬN:** Với cấu hình hiện tại và pin 8000mAh, hệ thống ĐÁP ỨNG ĐƯỢC yêu cầu bài toán về mặt năng lượng, tuy nhiên cần lưu ý kiểm soát chặt chẽ quy trình sản xuất và chất lượng pin cho các Relay Node.

# 10. Phương án phân bổ các node thực tế

## ❖ Phương án phân bổ các node đề xuất



Hình 26: Phương án phân bổ các node đề xuất

# 11. Tính toán và đánh giá Link Budget

## ❖ Tính toán suy hao đường truyền:

Với yêu cầu dự án quản lý khu vực 100 hecta với 100 node, yêu cầu đặt ra

- Các Sensor node phải truyền được trong bán kính **200m** tới Relay node
- Các Relay node phải truyền được trong bán kính **1 km** tới Gateway

Ta có công thức tính xấp xỉ suy hao đường truyền:

$$L_{FS}(dB) = 32.45 dB + 20 \log_{10} d + 20 \log_{10} f$$

Trong đó:

- $d$ : Khoảng cách truyền (km)
- $f$ : Tần số (MHz)

Do đó ta tính được suy hao truyền đường truyền đối với:

- Sensor node:

$$L_{FS_{Sensor}} = 32.45 dB + 20 \log_{10} 0.2 + 20 \log_{10} 433 = 71.28 dB$$

- Relay node:

$$L_{FS_{relay}} = 32.45 dB + 20 \log_{10} 1 + 20 \log_{10} 433 = 85.18 dB$$

# 11. Tính toán và đánh giá Link Budget

## ❖ Độ nhạy thu và suy hao môi trường

RFS_L125_HF	RF sensitivity, Long-Range Mode, highest LNA gain, <i>LnaBoost</i> for Band 1, using split Rx/Tx path 125 kHz bandwidth	SF = 6 SF = 7 SF = 8 SF = 9 SF = 10 SF = 11 SF = 12	- - - - - - -	-118 -123 -126 -129 -132 -133 -136	- - - - - - -	dBm dBm dBm dBm dBm dBm dBm
-------------	---	---	---------------------------------	--	---------------------------------	---

Hình 27: Thông số kỹ thuật độ nhạy thu với băng thông 125kHz của module LoRa Sx1278

- Dựa vào Bảng 10 (LoRa Receiver Specification) trong Datasheet SX1278, với cấu hình hệ số Spreading Factor SF7, ta có độ nhạy thu  $S_{RX} = -123 \text{ dBm}$
- Đối với các suy hao do các yếu tố môi trường khác ( $L_M$ ) bao gồm: nhiễu đa đường (Multipath), nhiễu do vật cản, suy hao đầu cáp nối,... do phụ thuộc nhiều vào bài toán thực tế, nhóm sẽ lấy giá trị ước tính  $L_M \approx 25 \text{ dB}$  để bảo vệ tính thực tế của dự án

# 11. Tính toán và đánh giá Link Budget

## ❖ Công thức Link Budget:

Link Budget (Quỹ đường truyền) là tổng năng lượng có thể mất mát trên đường truyền mà hệ thống vẫn hoạt động được.

$$P_{RX} = P_{TX} + G_{TX} + G_{RX} - L_{FS} - L_M$$

Trong đó:

- $P_{RX}$ : Công suất thu tại điểm đến (dBm)
- $P_{TX}$ : Công suất phát (dBm)
- $G_{TX}, G_{RX}$ : Độ lợi anten phát và thu (dBi)
- $L_{FS}$ : Suy hao đường truyền (Pathloss) (dB)
- $L_M$ : Các suy hao môi trường khác (cáp nối, connectors, suy hao do vật cản/môi trường,...)

# 11. Tính toán và đánh giá Link Budget

## ❖ Tính toán Link Budget:

Điều kiện để hệ thống có thể triển khai :  $P_{RX} > S_{RX}$  với  $S_{RX}$  là độ nhạy thu

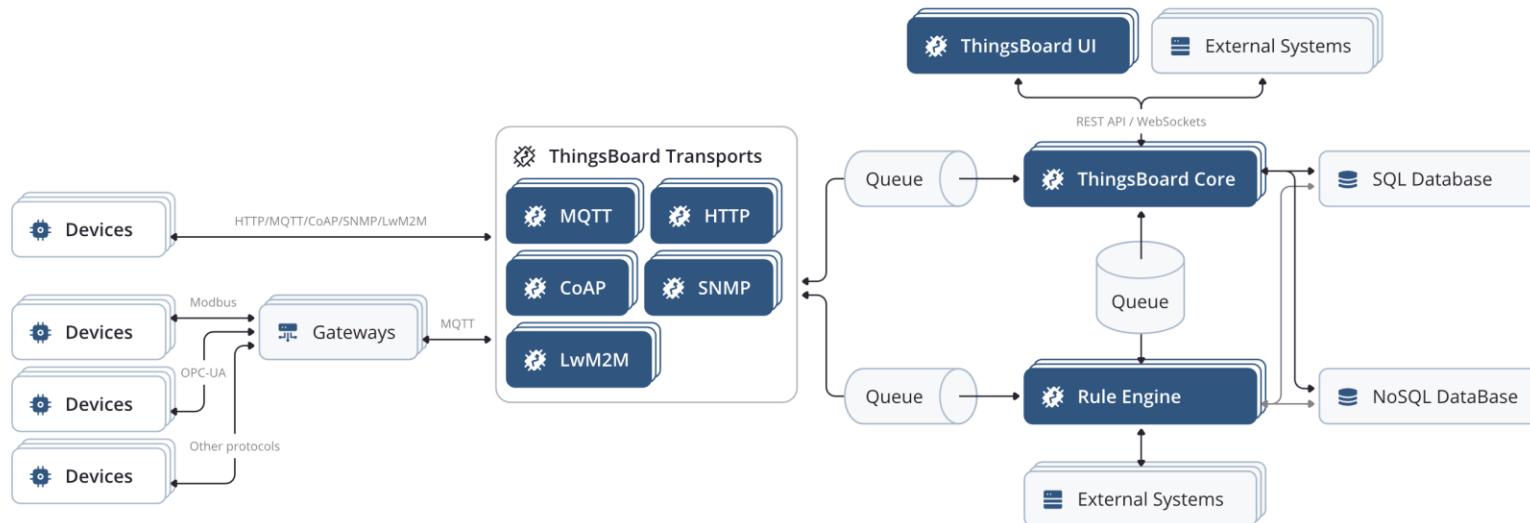
Ta tính toán được Link Budget của các node trong mạng:

- **Sensor node:**  $P_{RX_{Sensor}} \approx -71.28 \text{ (dB)}$   
=> Biên dữ trữ (Link margin):  $LM_{Sensor} = P_{RX_{Sensor}} - S_{RX} = 47.82 \text{ dB}$
- **Relay node:**  $P_{RX_{Sensor}} \approx -89.18 \text{ (dB)}$   
=> Biên dữ trữ (Link margin):  $LM_{Relay} = P_{RX_{Sensor}} - S_{RX} = 33.82 \text{ dB}$

**Nhận xét:** Với biên dự trữ lớn: 47.82 dB và 33.82 dB đối với các node Sensor và Relay. Phương án thiết kế đề xuất đảm bảo hoạt động ổn định khi triển khai thực tế

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Giao diện thiết lập các tham số hệ thống



Hình 28: Kiến trúc nền tảng IOT ThingsBoard

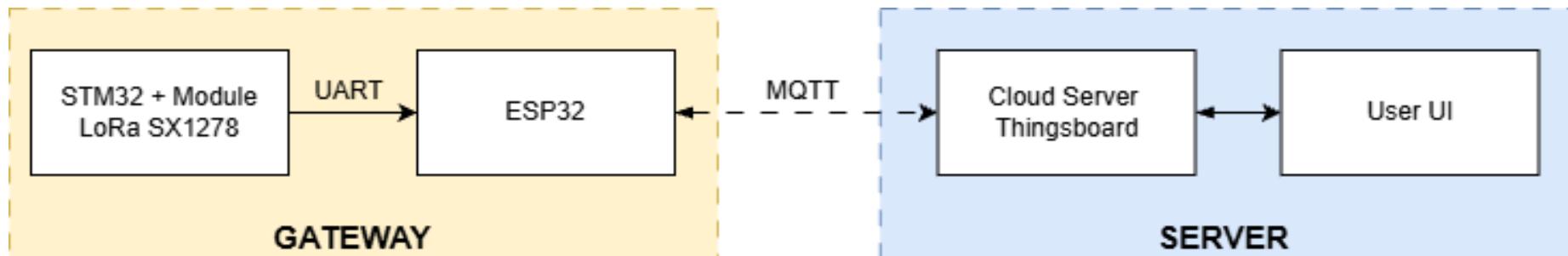
**IoT Thingsboard:** Nền tảng IoT mã nguồn mở (Open-source IoT Platform) hàng đầu hiện nay dùng để thu thập, xử lý và quản lý thiết bị

Vai trò trong hệ thống:

- Tiếp nhận dữ liệu từ Gateway qua giao thức MQTT
- Hiển thị trực quan các thông số (Nhiệt độ, Độ ẩm, Độ ẩm đất) thông qua Dashboard thời gian thực (Real-time).

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Giao diện thiết lập các tham số hệ thống

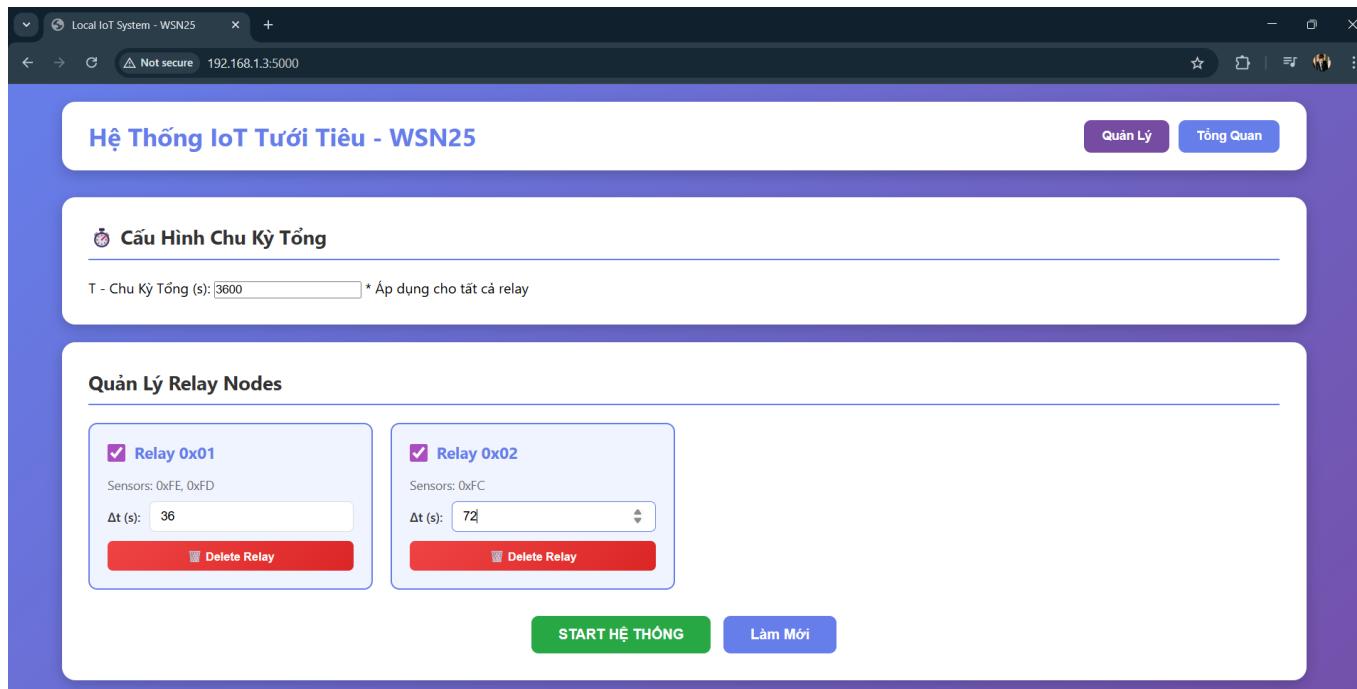


Hình 29 : Luồng giao tiếp giữa Gateway và Server ThingBoard

- Các gói dữ liệu Gateway thu được sẽ được truyền qua module Esp32 để chuyển tiếp lên ThingsBoard server thông qua WiFi/MQTT
- Ngược lại, khi người vận hành cấu hình tham số hệ thống, dữ liệu sẽ được truyền về Gateway qua WiFi/MQTT nhờ Esp32, sau đó UART cho khối truyền thông LoRa (Stm32 + SX1278) để Broadcast cho các node tầng dưới

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Giao diện thiết lập các tham số hệ thống



Hình 30: Giao diện thiết lập các tham số hệ thống phía người vận hành

Người vận hành có thể chỉnh và cấu hình các tham số hệ thống:

- Tích chọn để thêm Relay đã yêu cầu gia nhập mạng
- Cấu hình chu kỳ tổng, thông số Wakeup offset của các Relay
- Kiểm soát dữ liệu của Sensor node thông qua các Relay

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## Hệ Thống IoT Tưới Tiêu - WSN25

Quản LýTổng Quan

### Dữ Liệu Tổng Quan Hệ Thống

Làm Mới Dữ Liệu

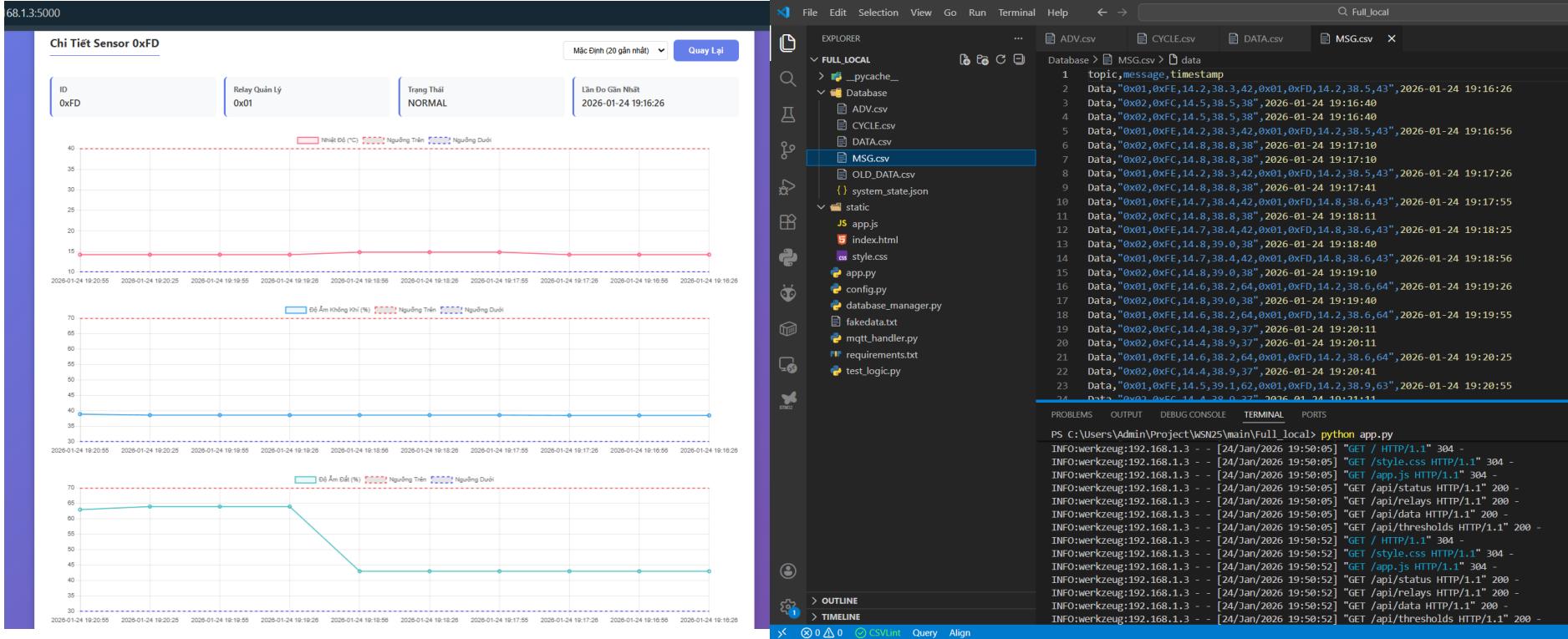
Relay	Sensor	Nhiệt độ (°C)	Độ ẩm (%)	Độ ẩm đất (%)	Thời gian	Trạng thái
<b>0x01</b>	0x01	18.6	40.1	41.0	2026-01-20 14:22:51	<b>NORMAL</b>
0x01	0xFE	18.5	39.8	43.0	2026-01-20 14:22:51	<b>NORMAL</b>
0x01	0xFD	18.3	39.5	42.0	2026-01-20 14:22:51	<b>NORMAL</b>
<b>0x02</b>	0x02	19.0	43.0	45.0	2026-01-20 14:23:03	<b>NORMAL</b>
0x02	0xFC	19.1	32.9	46.0	2026-01-20 14:23:03	<b>NORMAL</b>

Hình 31: Giao diện hiện thị, theo dõi dữ liệu đo từ các node cảm biến

- Dữ liệu đo được sẽ được hiển thị trực quan trên Dashboard, quản lý theo ID của các định danh Sensor node kèm ID Relay quản lý:
- Hiển thị giá trị nhiệt độ, độ ẩm không khí, độ ẩm đất cùng trạng thái hoạt động và timestamp nhận mới nhất

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Đồ thị dữ liệu trực quan

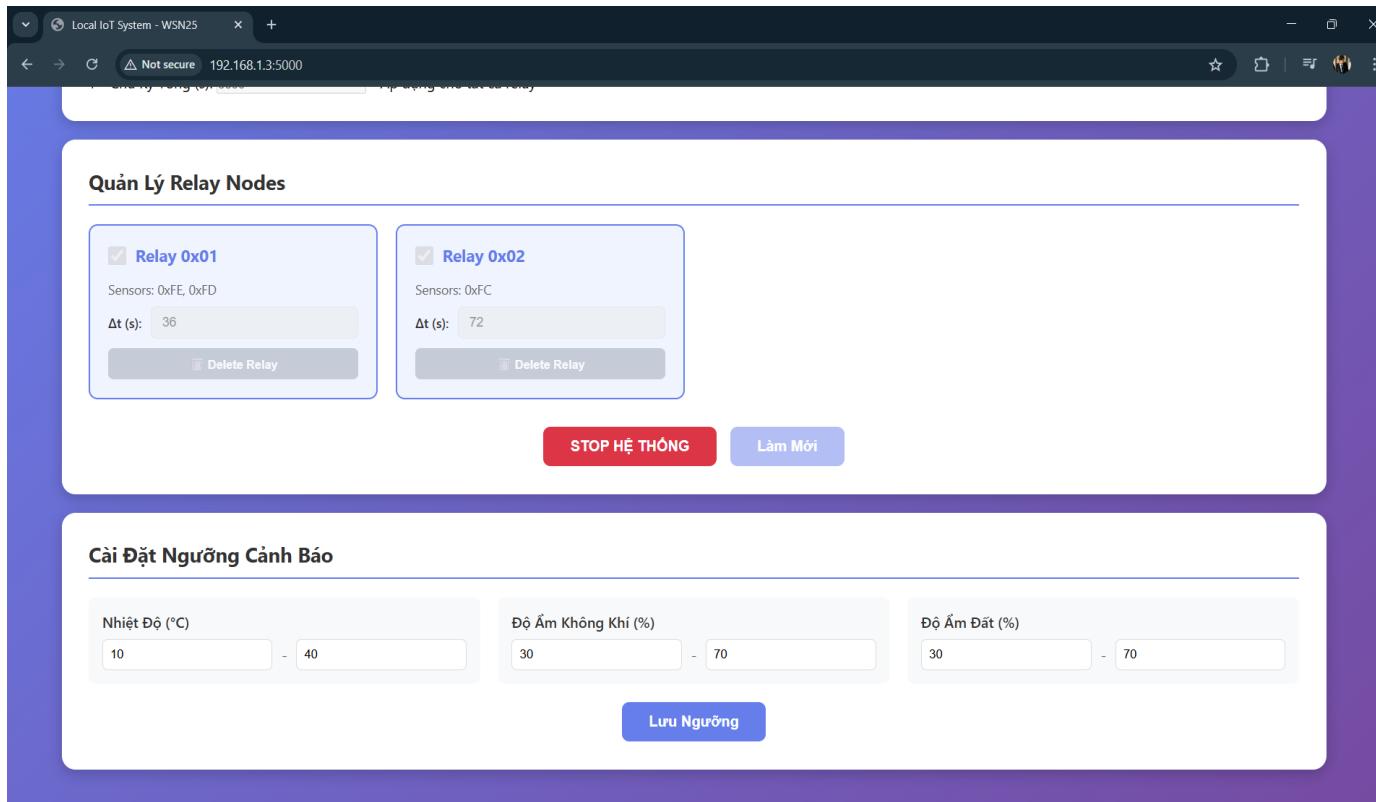


Hình 32: Đồ thị dữ liệu thời gian thực và lưu trữ dữ liệu dạng file CSV

- Dữ liệu đo được và timestamps có thể lưu và xuất thành file CSV
- Đồ thị theo dõi giá trị thu được trực quan cho người quản lý vận hành

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Cài đặt và cảnh báo vượt ngưỡng



Hình 33: Giao diện cài đặt thiết lập ngưỡng cảnh báo

Người vận hành có thể cài đặt ngưỡng cảnh báo trực tiếp qua Dashboard

# 12. Server xử lý và giao diện người dùng

## ❖ Cài đặt và cảnh báo vượt ngưỡng

Hệ Thống IoT Tưới Tiêu - WSN25						
Dữ Liệu Tổng Quan Hệ Thống						Làm Mới Dữ Liệu
Relay	Sensor	Nhiệt độ (°C)	Độ ẩm (%)	Độ ẩm đất (%)	Thời gian	Trạng thái
0x01	0x01	14.0	43.2	5.0	2026-01-23 09:25:13	NGUY HIỂM: Nhiệt độ, Độ ẩm đất
0x01	0xFE	14.3	40.7	5.0	2026-01-23 09:25:13	NGUY HIỂM: Nhiệt độ, Độ ẩm đất
0x01	0xFD	14.2	38.6	5.0	2026-01-23 09:25:13	NGUY HIỂM: Nhiệt độ, Độ ẩm đất
0x02	0x02	14.0	41.4	5.0	2026-01-23 09:25:43	NGUY HIỂM: Nhiệt độ, Độ ẩm đất
0x02	0xFC	14.1	38.8	82.0	2026-01-23 09:25:43	NGUY HIỂM: Nhiệt độ, Độ ẩm đất

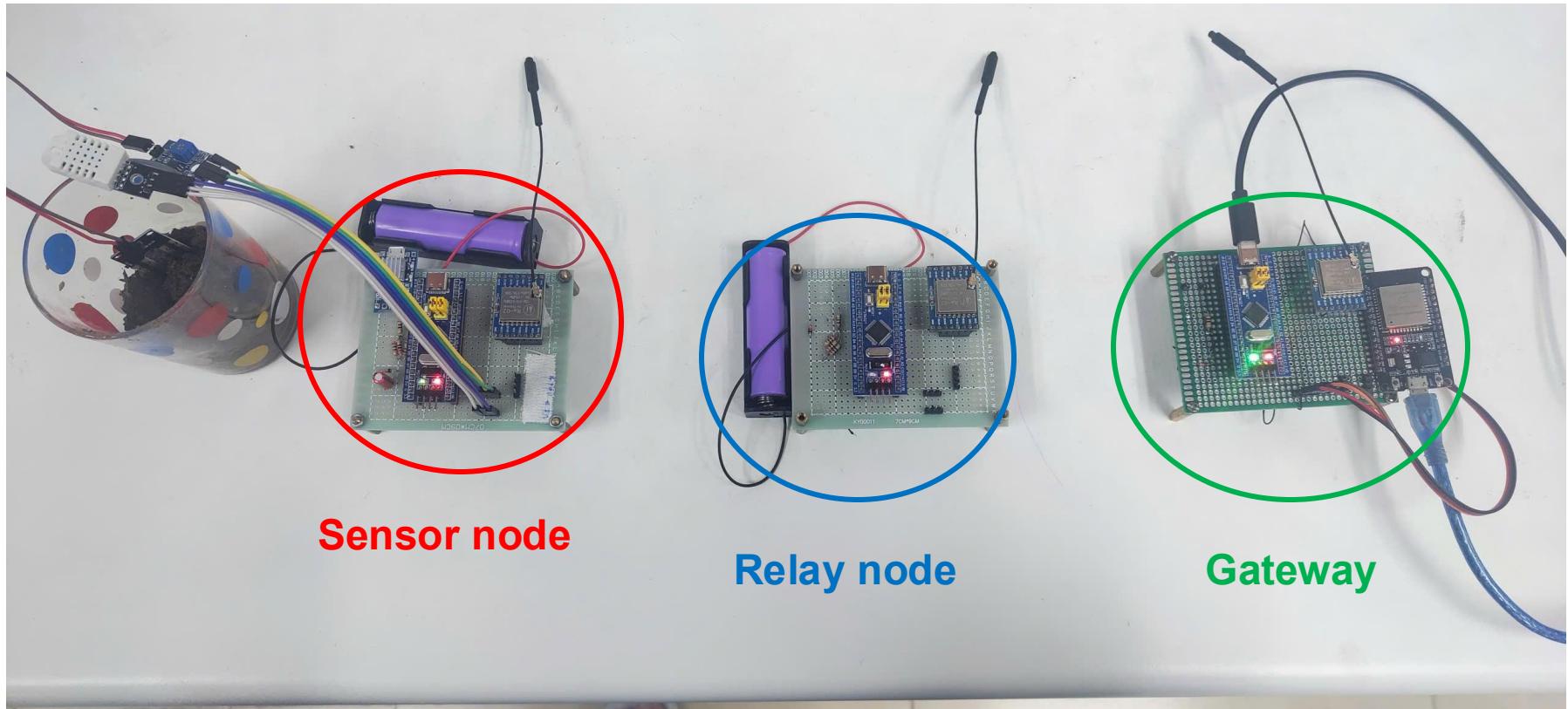
Khi giá trị vượt ngưỡng, trên Dashboard sẽ xuất hiện cảnh báo

Hình 34: Cảnh báo khi vượt ngưỡng

Hệ Thống IoT Tưới Tiêu - WSN25						
Dữ Liệu Tổng Quan Hệ Thống						Làm Mới Dữ Liệu
Relay	Sensor	Nhiệt độ (°C)	Độ ẩm (%)	Độ ẩm đất (%)	Thời gian	Trạng thái
0x01	0x01	13.9	40.1	41.0	2026-01-23 09:13:23	CẢNH BÁO: Nhiệt độ
0x01	0xFE	14.1	39.8	43.0	2026-01-23 09:13:23	CẢNH BÁO: Nhiệt độ
0x01	0xFD	14.0	39.5	42.0	2026-01-23 09:13:23	CẢNH BÁO: Nhiệt độ
0x02	0x02	14.2	43.0	45.0	2026-01-23 09:13:53	CẢNH BÁO: Nhiệt độ
0x02	0xFC	14.1	32.9	46.0	2026-01-23 09:13:53	CẢNH BÁO: Nhiệt độ

# 13. Chạy thử và kiểm nghiệm hệ thống

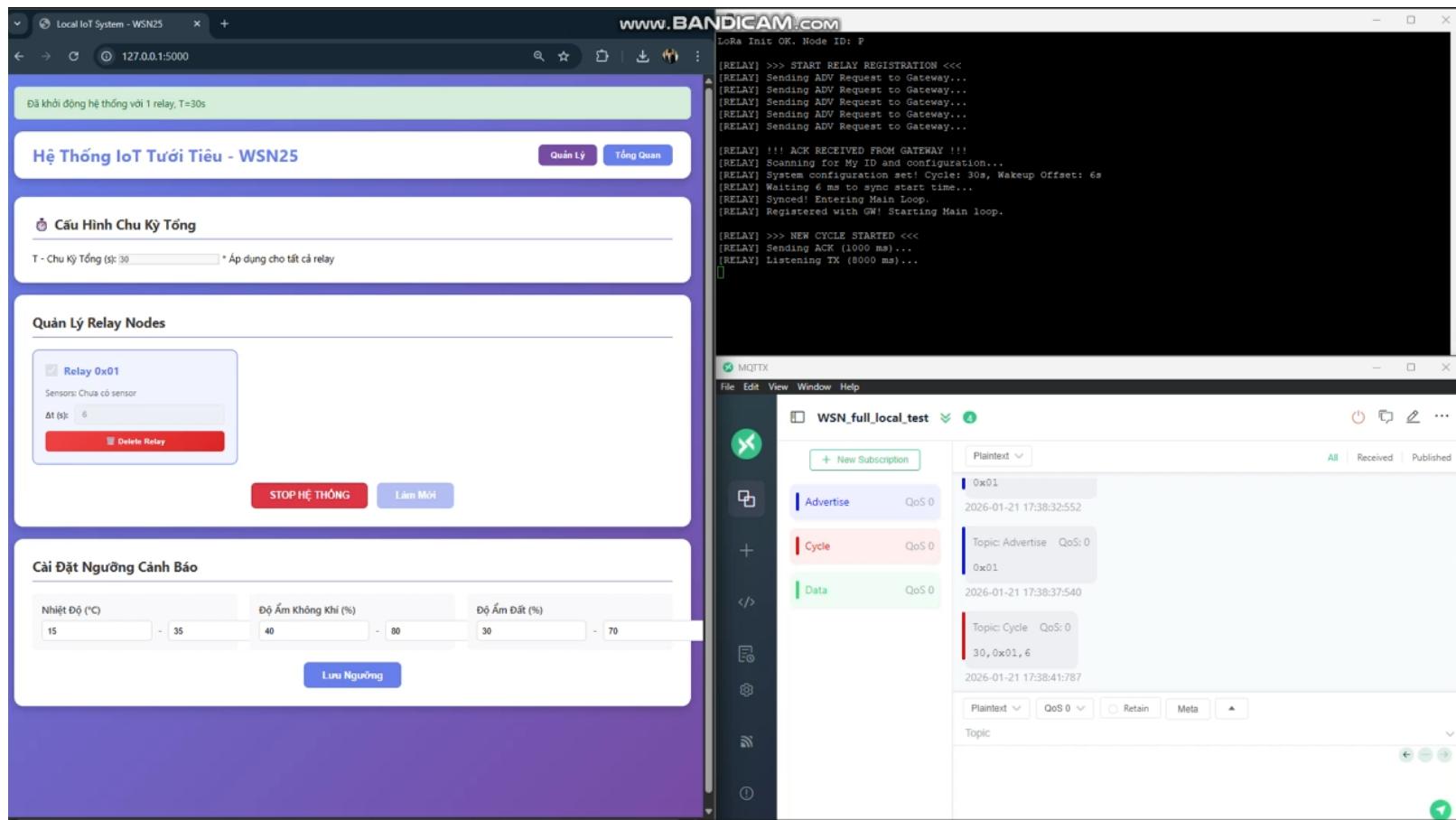
## ❖ Mạch test thực tế



Hình 35: Mạch cắm kiểm nghiệm hệ thống thực tế

# 13. Chạy thử và kiểm nghiệm hệ thống

## ❖ Pha đăng ký Relay với Gateway/Server (Video demo)



Hình 36: Kiểm tra đăng ký các Relay node và cấu hình hệ thống từ Server

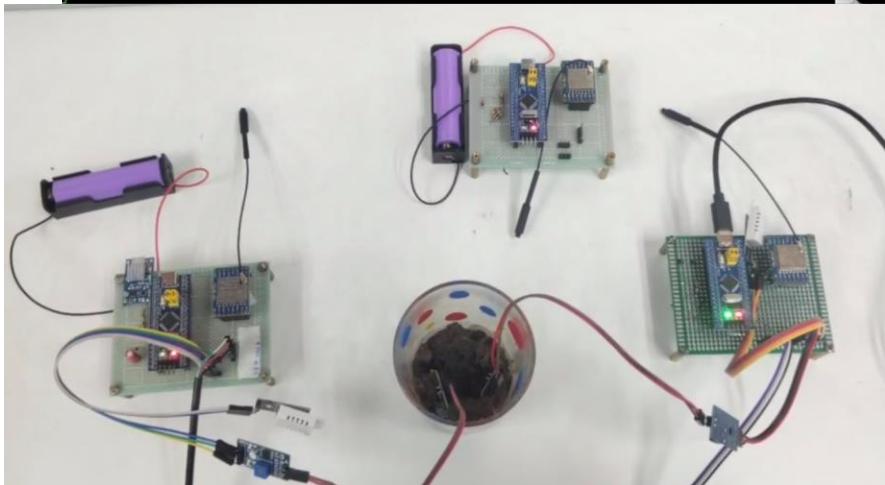
# 13. Chạy thử và kiểm nghiệm hệ thống

## • Pha đăng ký và Báo cáo : Sensor node với Relay (Video demo)

Hình 37:  
Terminal  
phía Relay

```
[RELAY] >>> NEW CYCLE STARTED <<<
[RELAY] Sending ACK (1000 ms)...
[RELAY] Listening TX (8000 ms)...
[RELAY] Received ADV form Managed Sensor: 0xFE --> ACCEPTED
[RELAY] Added Sensor 0xFE to ACK Queue. Count: 1
[RELAY] Received ADV form Managed Sensor: 0xFE --> ACCEPTED
[RELAY] Received ADV form Managed Sensor: 0xFE --> ACCEPTED
[RELAY] Received ADV form Managed Sensor: 0xFE --> ACCEPTED
[RELAY] Received DATA from 0xFD: T=187, H=392, S=37
[RELAY] Received DATA from 0xFD: T=187, H=392, S=37
[RELAY] Forwarding to GW (8 bytes)...
EX: 04 01 FD 00 BB 01 88 25
[RELAY] Sleep time: 15 s.

[RELAY] >>> NEW CYCLE STARTED <<<
[RELAY] Sending ACK (1000 ms)...
[RELAY] Sending 1 ACKs... -> OK
[RELAY] Listening TX (8000 ms)...
[RELAY] Received DATA from 0xFE: T=0, H=0, S=0
[RELAY] Forwarding to GW (8 bytes)...
EX: 04 01 FE 00 00 00 00 00
[RELAY] Sleep time: 15 s.
```



Hình :Test đăng ký node mới và báo cáo dữ liệu  
giữa 1 Relay và 2 Sensor node

```
LoRa Init OK. Node ID: 0x01

[SENSOR] >>> START REGISTRATION PHASE <<<
[SENSOR] Sending ADV Request to Relay 0x01... -> OK
[SENSOR] Sending ADV Request to Relay 0x01... -> OK
[SENSOR] Sending ADV Request to Relay 0x01... -> OK
[SENSOR] Sending ADV Request to Relay 0x01... -> OK
[SENSOR] Sending ADV Request to Relay 0x01... -> OK

[SENSOR] !!! ACK RECEIVED FROM RELAY 0x01!!!
[SENSOR] Assigned TDMA Slot: 0
[SENSOR] Syncing Cycle: Sleeping 25 seconds to match Relay Start...
[SENSOR] Woke up! Registration Complete. Entering Main Loop.

[SENSOR] >>> NEW CYCLE STARTED <<<
[SENSOR] Wait for TDMA slot to sent DATA: 1500 ms
[SENSOR] Data Sent: T=0, H=0
[SENSOR] Measuring sensor data ... (Timeout: 3000 ms)
[SENSOR] Measured: 18.3 C, 40.0 %
[SENSOR] Active: 6000 ms. Enter STOP mode: 19 s.
```

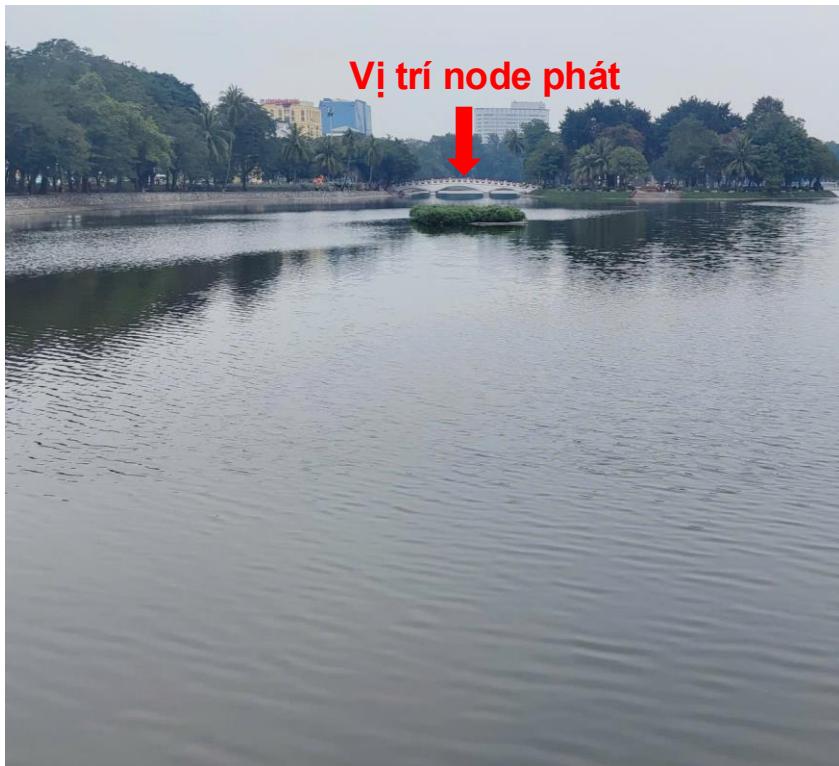
Hình 38:  
Terminal  
phía  
Sensor  
node

### Kịch bản demo

- Node ID 0xFD đang thực hiện pha báo cáo với Relay 0x01
- Tiến hành thêm Sensor node 0XFE vào mạng
- Node 0xFE thực hiện thành công pha Đăng ký và trao đổi dữ liệu với Relay

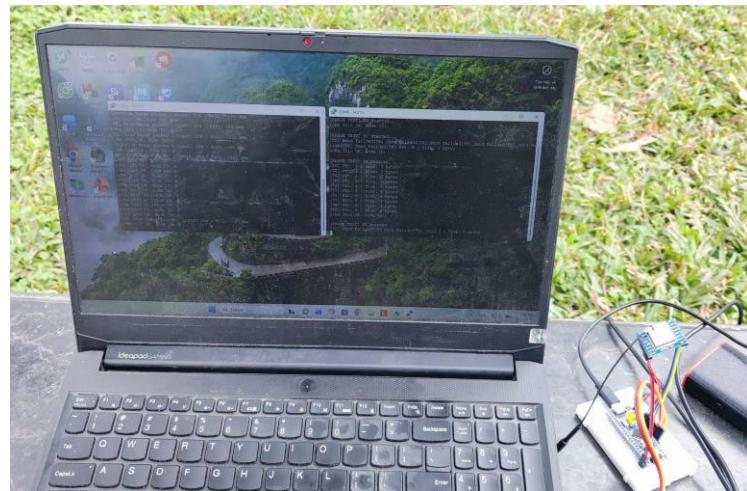
# 13. Chạy thử và kiểm nghiệm hệ thống

## ❖ Kiểm nghiệm tầm xa



Hình 39: Vị trí node phát

Kiểm nghiệm tầm xa thực tế tại môi trường đô thị ở công viên Thông Nhất  $\approx 600 \div 700$  m



```
[RX] From Range packet: RSSI: -96 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -96 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -128 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -95 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -96 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -97 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -96 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -89 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -95 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -90 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -98 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -126 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -124 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -97 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -98 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -97 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -95 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -119 dBm
[RX] From Range packet: RSSI: -96 dBm
```

Hình : Vị trí node thu

# 14. Tài liệu tham khảo

- [1] Q. Mamun, "A Qualitative Comparison of Different Logical Topologies for Wireless Sensor Networks," Sensors 2012, 2012.
- [2] SGRwin, "Network topology: The key to your operational efficiency," 2025. [Online]. Available: <https://www.sgrwin.com/network-topology-the-key-to-your-operational-efficiency/>.
- [3] STMicroelectronics, "STM32F103x8 Mainstream Performance line, Arm Cortex-M3 MCU with 64 Kbytes of Flash memory, 72 MHz CPU, motor control, USB and CAN," 2025. [Online]. Available: <https://www.st.com/en/microcontrollers-microprocessors/stm32f103c8.html>.
- [4] Espressif Inc, "ESP32 Series Datasheet Version 5.1 2.4 GHz Wi-Fi + Bluetooth® + Bluetooth LE SoC" 2025. [Online]. Available: [https://documentation.espressif.com/esp32\\_datasheet\\_en.pdf](https://documentation.espressif.com/esp32_datasheet_en.pdf)
- [5] Semtech Corporation, "SX1276/77/78/79 - 137 MHz to 1020 MHz Low Power Long Range Transceiver Datasheet," DS\_SX1276-7-8-9\_W\_APP\_V5, July 2015. [Online]. Available: [https://www.semtech.com/uploads/documents/DS\\_SX1276-7-8-9\\_W\\_APP\\_V5.pdf](https://www.semtech.com/uploads/documents/DS_SX1276-7-8-9_W_APP_V5.pdf)

# 14. Tài liệu tham khảo

- [6] Aosong (Guangzhou) Electronics Co., Ltd., "DHT22 (AM2302) Digital Temperature and Humidity Sensor Datasheet," Rev. 1.0, 2014. [Online]. Available:  
<https://www.sparkfun.com/datasheets/Sensors/Temperature/DHT22.pdf>
- [7] Texas Instruments, "LM393 Low Power Low Offset Voltage Dual Comparators Datasheet," SNOSBJ7F, May 2004 - Revised April 2013. [Online]. Available:  
<https://www.ti.com/lit/ds/symlink/lm393.pdf>
- [8] Dongguan Youdalipo New Energy Technology Co., Ltd , "Li-ion Polymer Battery Specification – Model: YDL 7565121" [Online]. Available:  
[https://ydlbattery.com/cdn/shop/files/7565121\\_8000mAh\\_YDL\\_datasheet.pdf?v=12561568215263142792](https://ydlbattery.com/cdn/shop/files/7565121_8000mAh_YDL_datasheet.pdf?v=12561568215263142792)
- [9] NanJing Top Power ASIC Corp, "TP4056 1A Standalone Linear Li-Ion Battery Charger with Thermal Regulation in SOP-8 " [Online]. Available:  
<https://dlnmh9ip6v2uc.cloudfront.net/datasheets/Prototyping/TP4056.pdf>



**HUST**

**THANK YOU !**