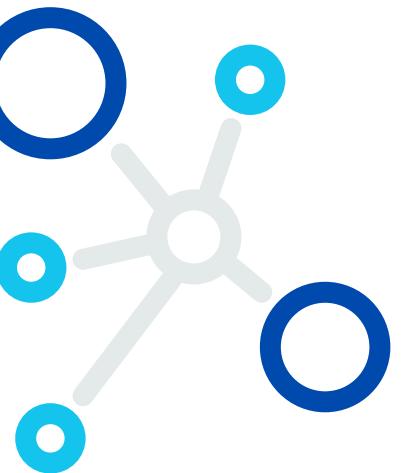


Thiết kế ứng dụng chạy đa giao thức động cho hệ thống IoT



Giảng viên hướng dẫn

TS. Võ Quế Sơn

Sinh viên thực hiện

Nguyễn Thị Mỹ Thu - 1814215

Phan Quang Thông - 1810558



Nội dung

1. Giới thiệu đề tài
2. Nội dung nghiên cứu
3. Kết quả nghiên cứu
4. Hướng phát triển trong tương lai

1

Giới thiệu đề tài

Tình hình nghiên cứu

Trong nước

- Hạn chế cơ sở hạn tầng, chi phí nghiên cứu và thị trường nên thời điểm này chỉ là giai đoạn sơ khai.
- Đa số sử dụng công nghệ Zigbee và BLE.



Ngoài nước

- Có nhiều bài báo khoa học nghiên cứu về Multiprotocol.
- Nhiều hãng công nghệ lớn khai thác Dynamic Multiprotocol
- Các nhà sản xuất đã bắt đầu tích hợp ứng dụng đa giao thức động vào sản phẩm thương mại.



UG305: Dynamic Multiprotocol User's Guide

This user's guide provides details about implementing an application using Silicon Labs' Dynamic Multiprotocol solution. Dynamic multiprotocol time-slices the radio and rapidly changes configurations to enable different wireless protocols to operate reliably at the same time.

KEY POINTS

- Dynamic Multiprotocol architecture
- About the Radio Scheduler
- Radio Scheduler examples
- Interaction with Micrium OS
- Protocol-specific implementation notes

Technical White Paper
Dynamic Multi-Protocol Manager (DMM) Performance



ABSTRACT

The TI Dynamic Multi-Protocol solution allows multiple wireless protocols to run concurrently using a single

2

Nội dung nghiên cứu

Hướng nghiên cứu chính

- Thread, Zigbee và Bluetooth Low Energy (BLE) protocol
- Kỹ thuật Dynamic Multiprotocol: BLE và Thread/Zigbee
- Điều khiển mạng Zigbee/Thread từ Internet sử dụng MQTT
- BLE/Thread Forwarding Service

Dynamic Multiprotocol: BLE + Thread/Zigbee

Zigbee

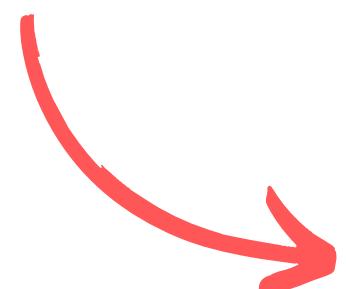
- Giao thức phổ biến trong các ứng dụng IoT hiện nay, mạng mesh
- Tiết kiệm năng lượng

BLE

- Phổ biến, có trên các thiết bị di động
- Không hỗ trợ nền IP

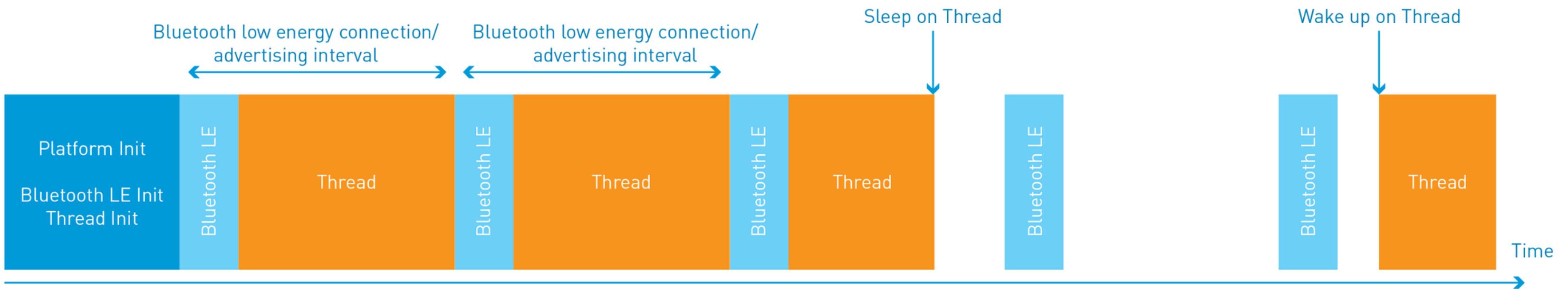
Thread

- Sử dụng trên nền IPv6, mạng mesh
- Tiết kiệm năng lượng



**Đề tài tập trung khai thác ứng dụng dựa trên
kỹ thuật Dynamic Multiprotocol**

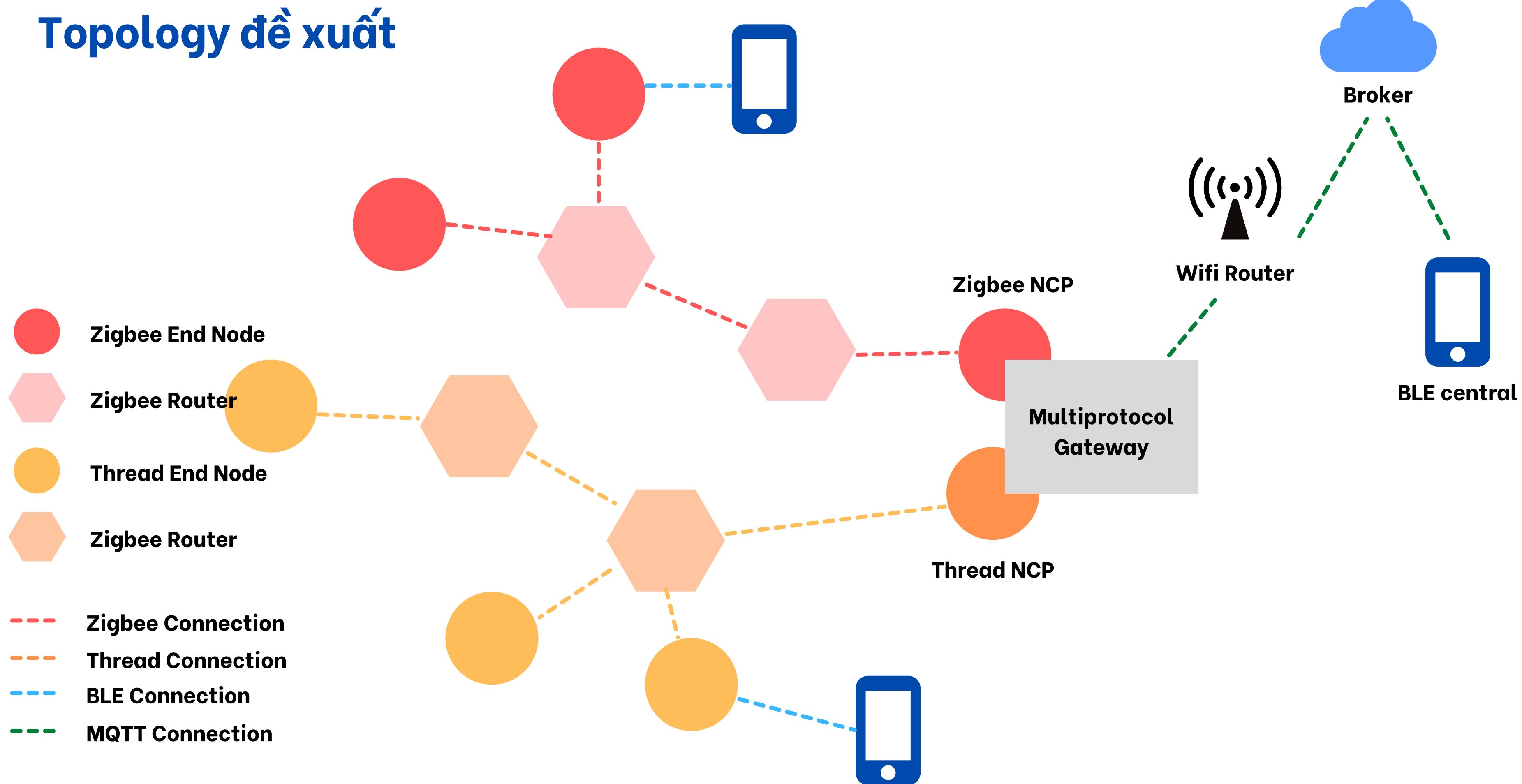
Dynamic Multiprotocol: BLE + Thread/Zigbee



3

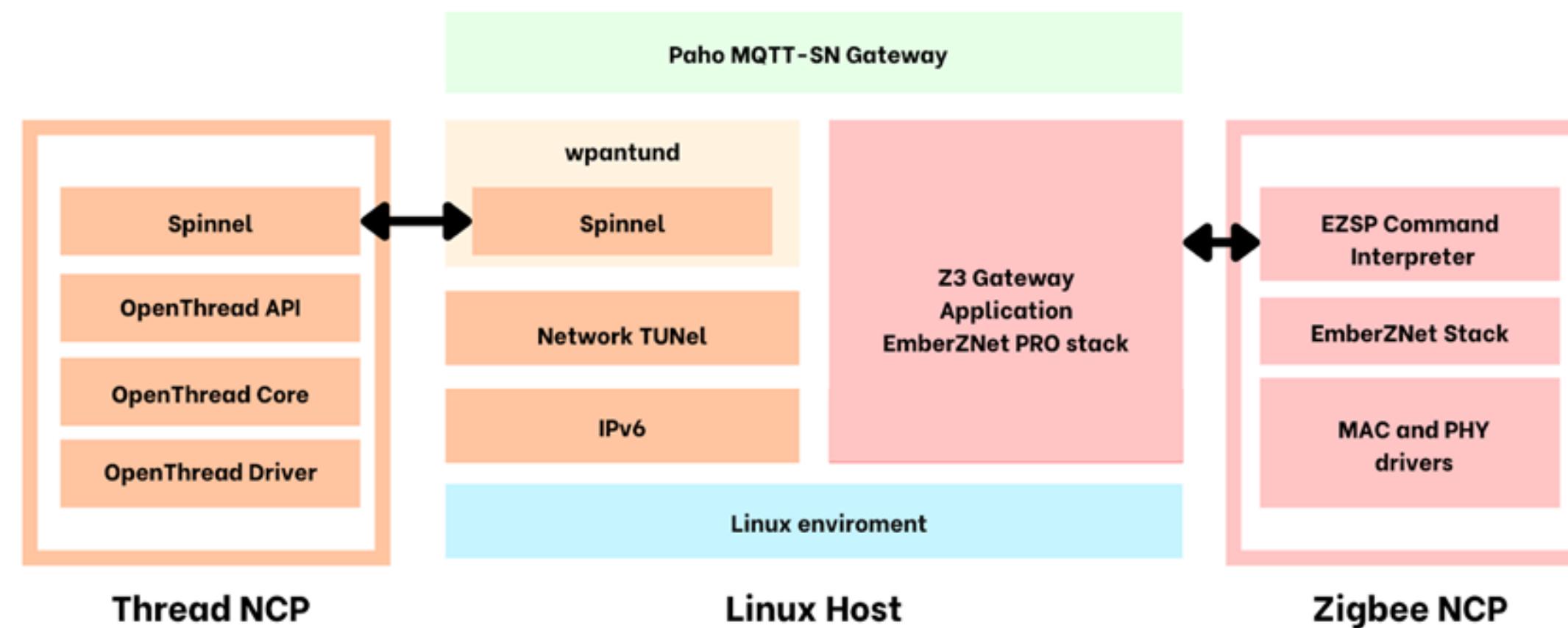
Thiết kế và thực hiện hệ thống

Topology đề xuất

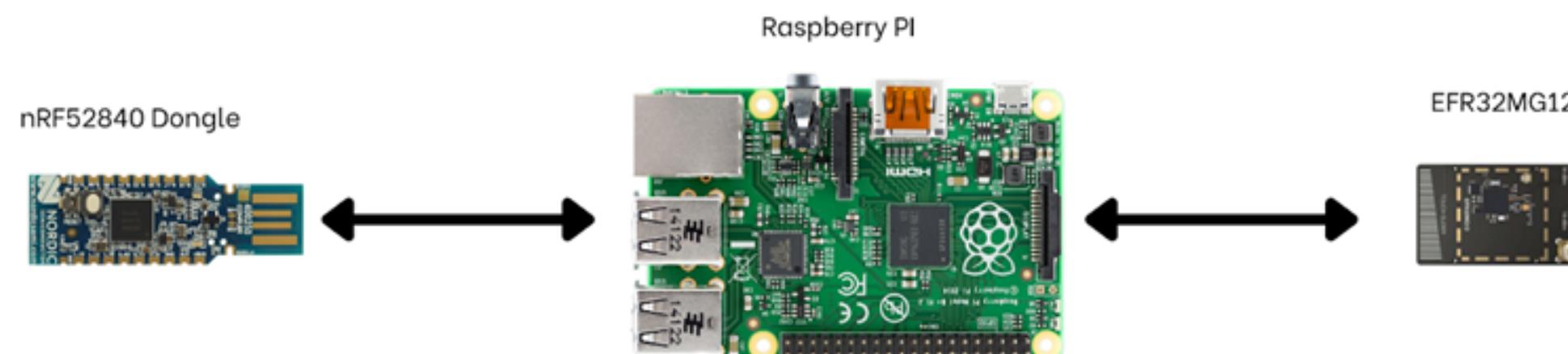


Thiết kế Gateway

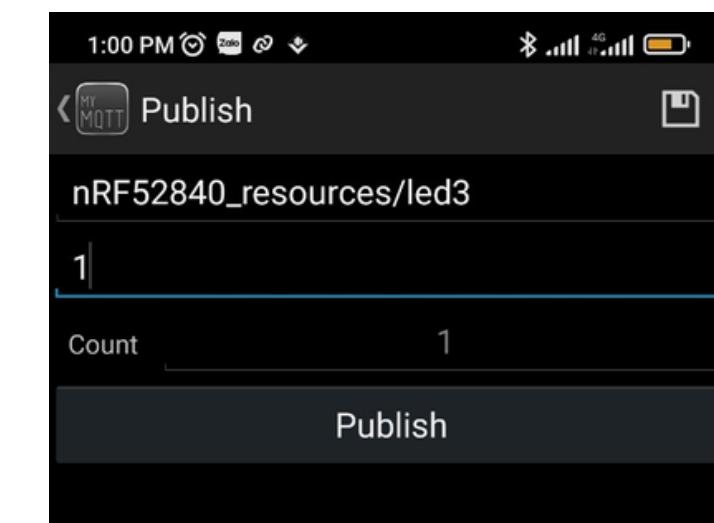
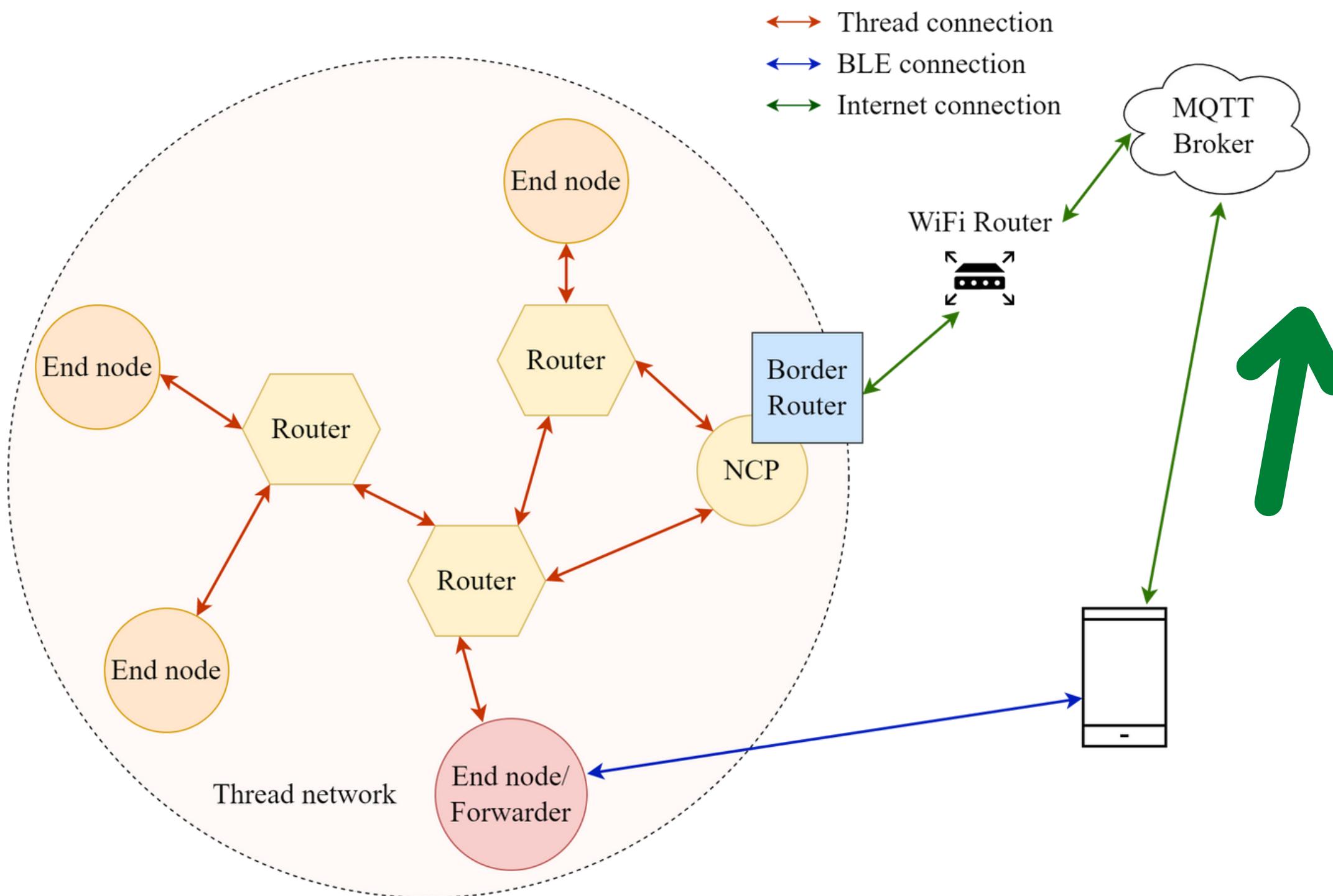
Phần mềm



Phần cứng

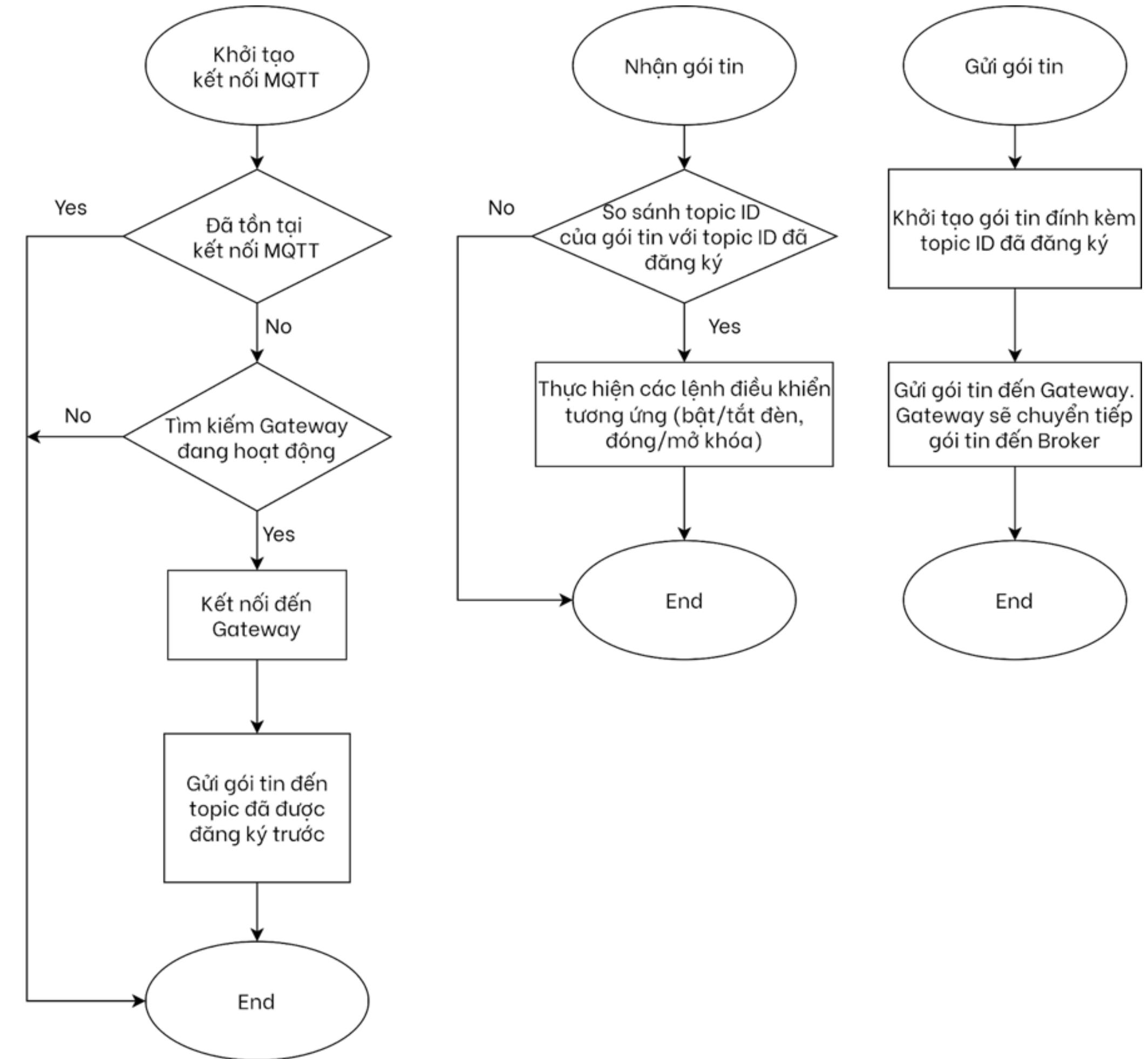


Điều khiển qua MQTT

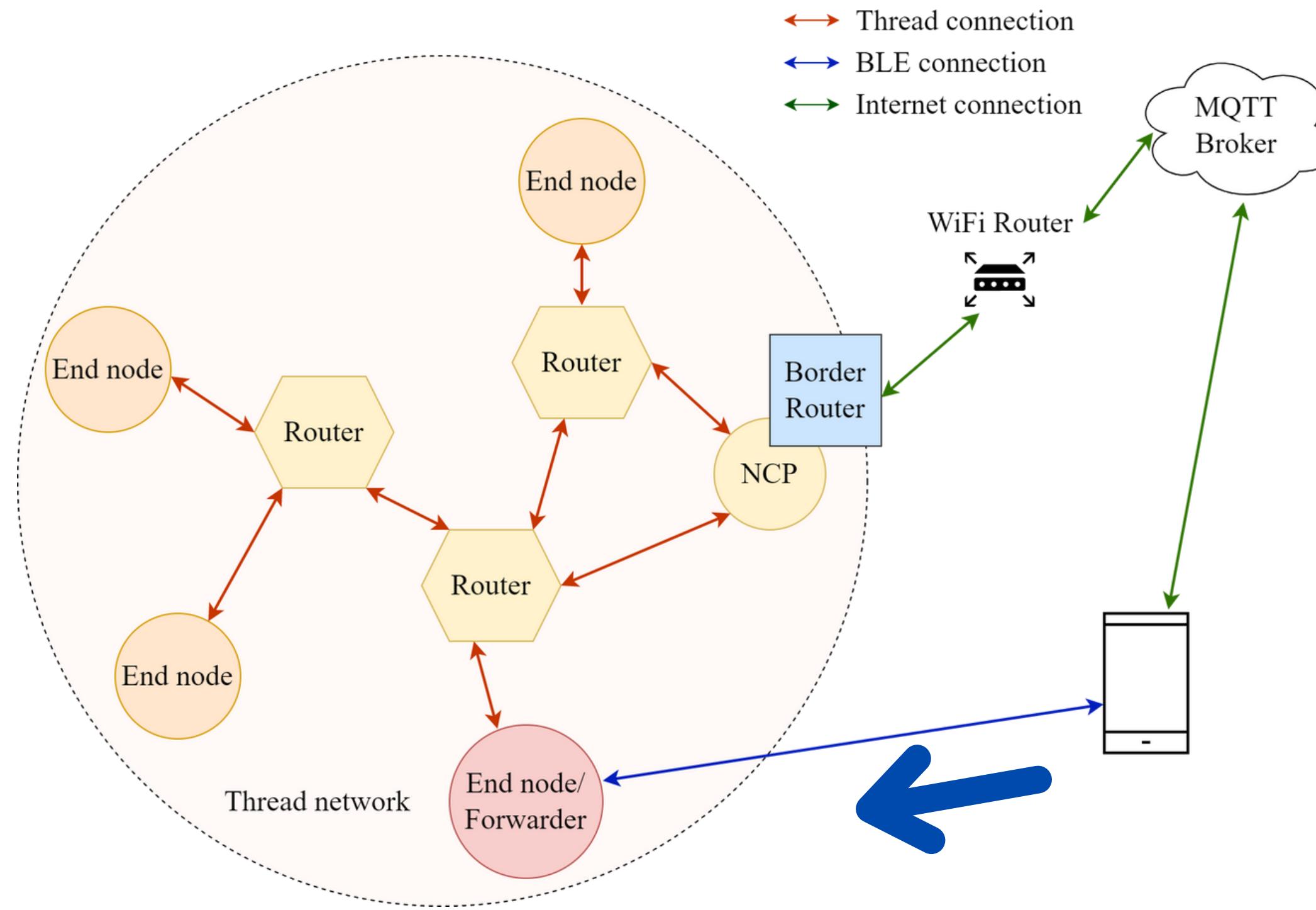


Publish đến topic nRF52840_resources/led3

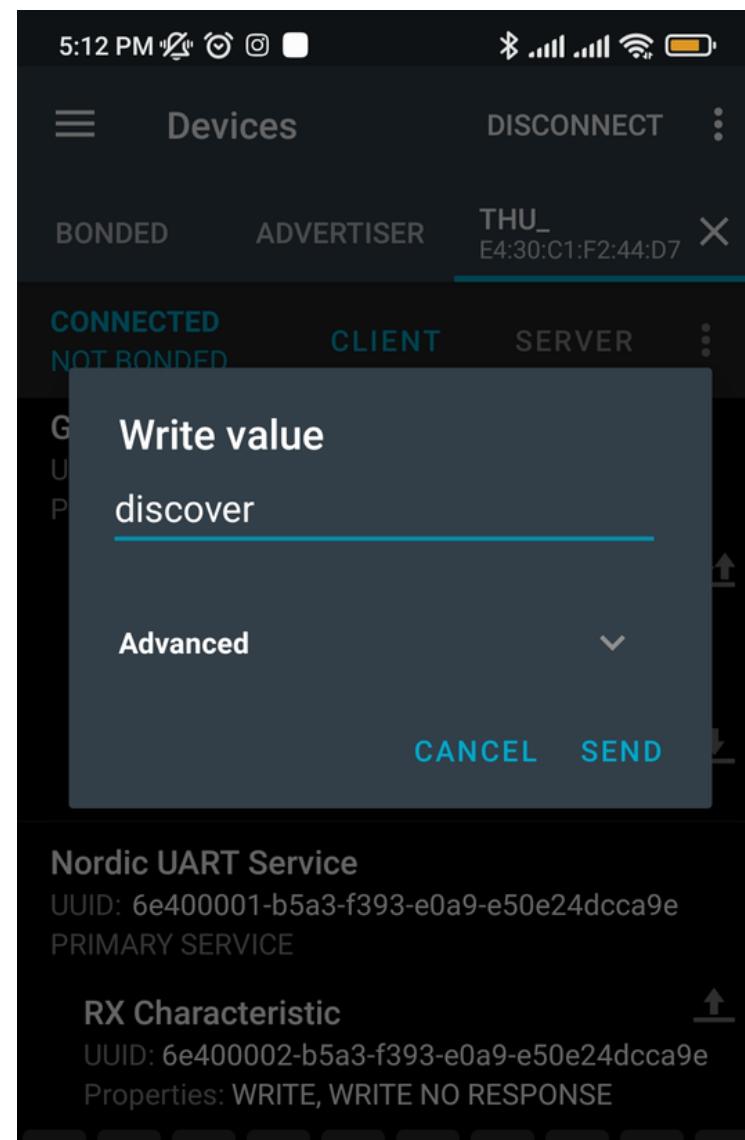
Điều khiển qua MQTT



Điều khiển nội bộ

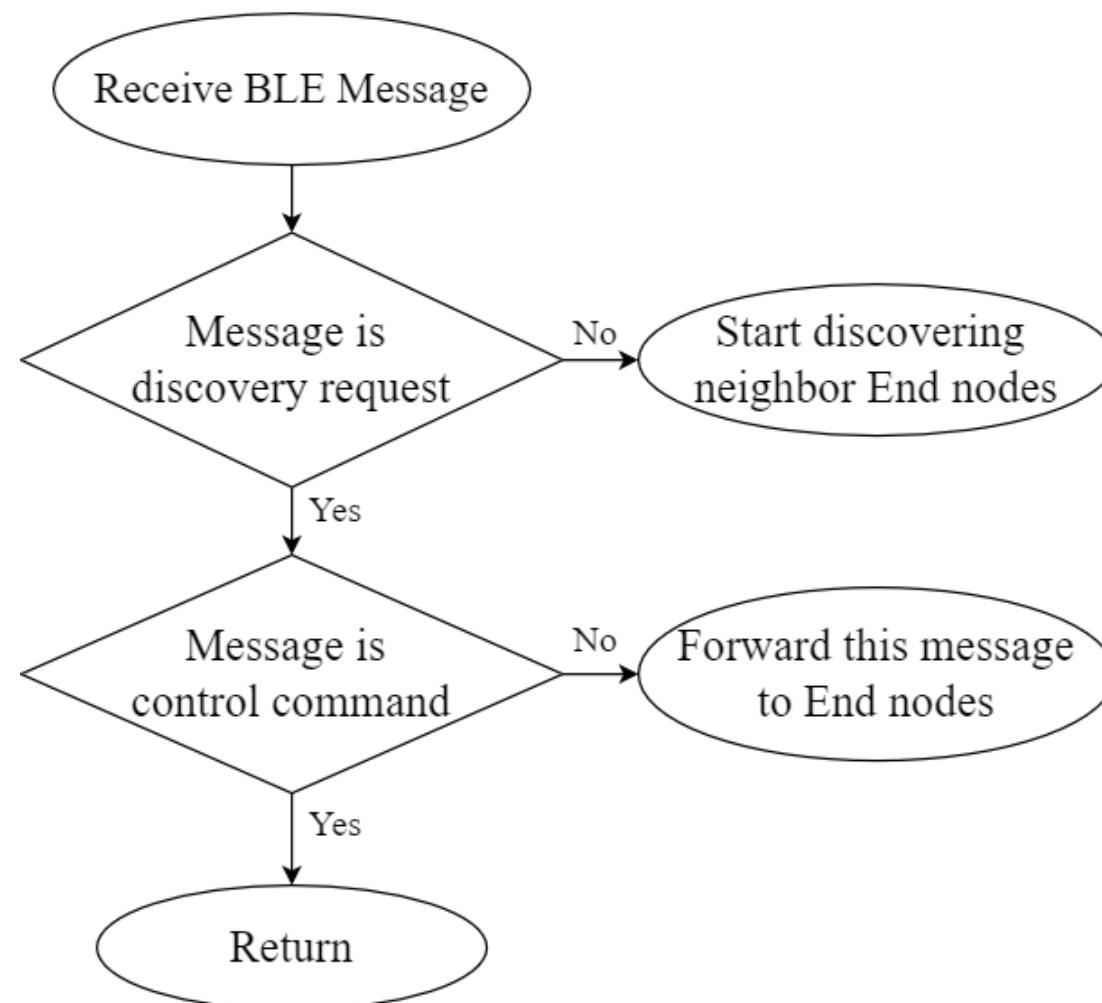


BLE/Thread Forwarding Service Algorithm - Forwarder

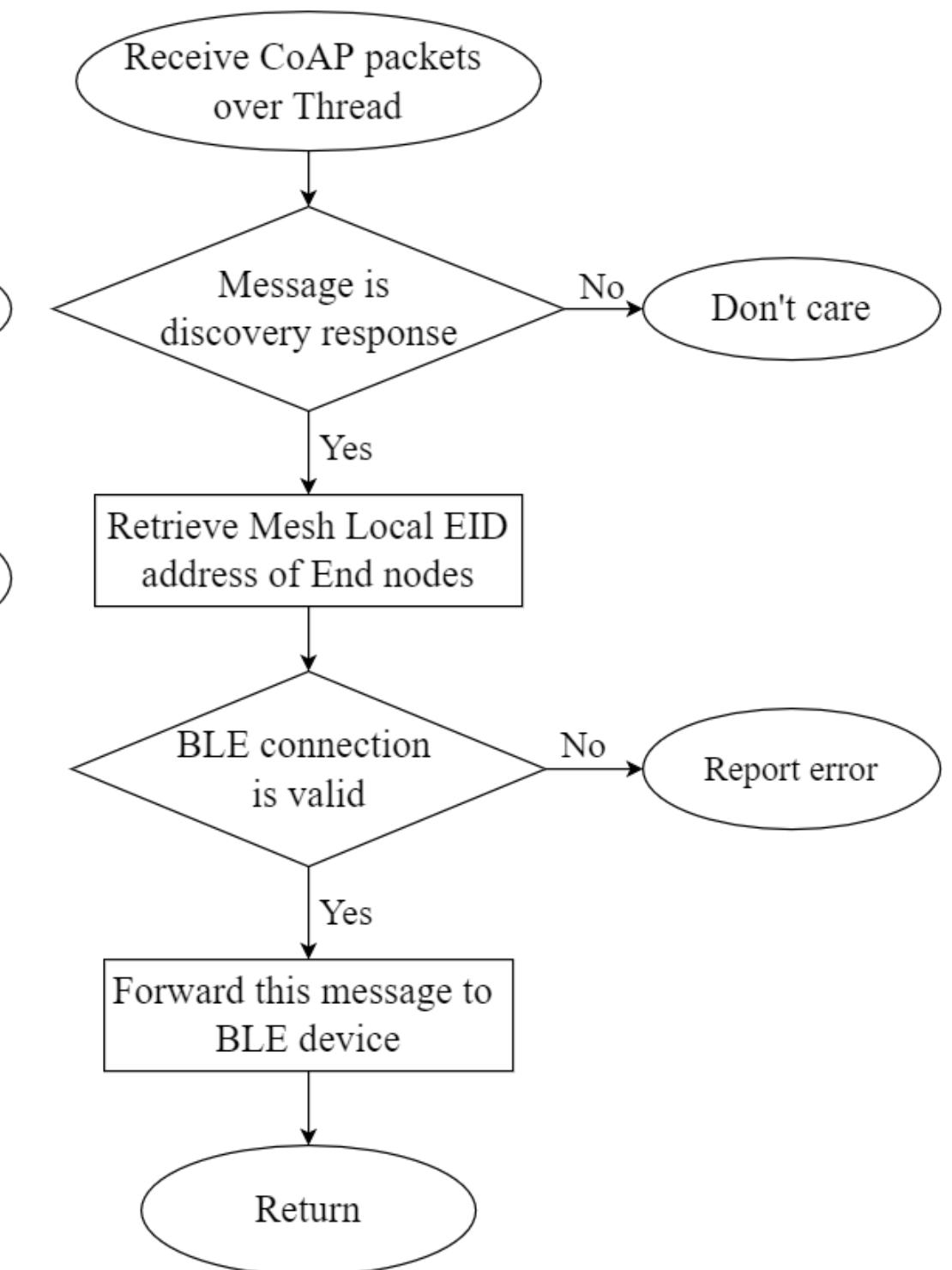


Nhập lệnh discover để tìm kiếm node xung quanh

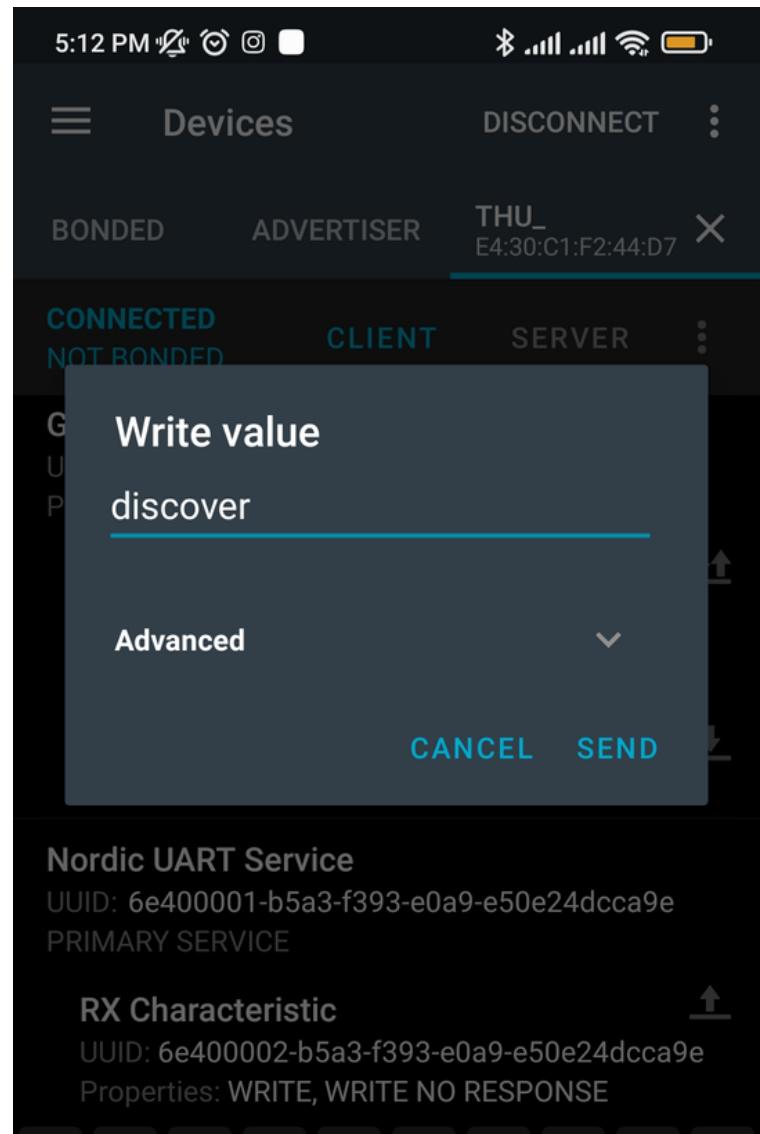
BLE message handling



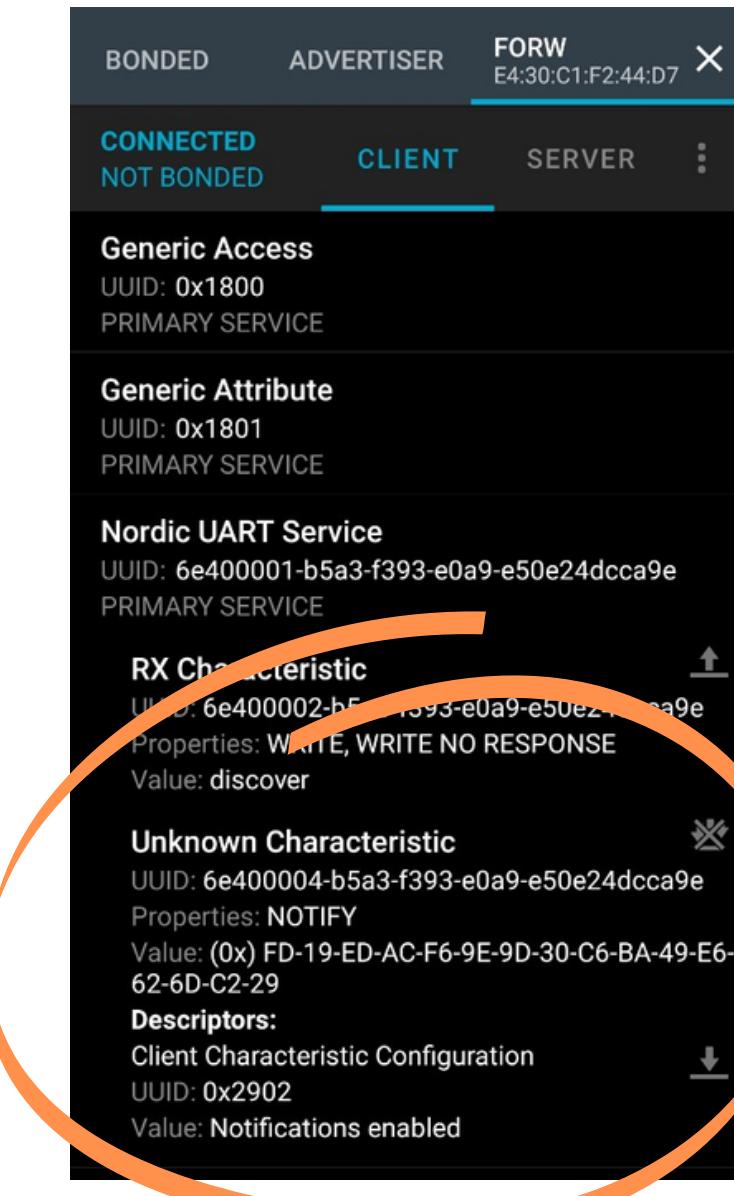
Thread message handling



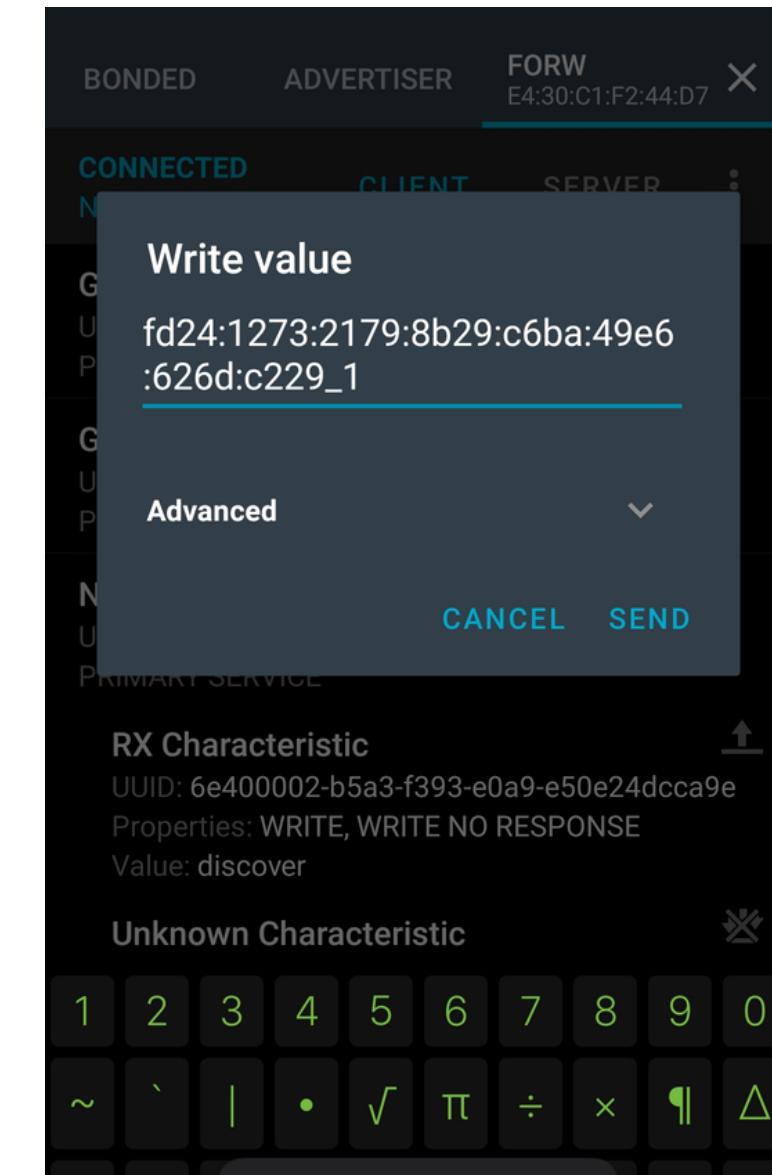
BLE/Thread Forwarding Service Algorithm - Forwarder



Nhập lệnh discover để tìm kiếm node xung quanh

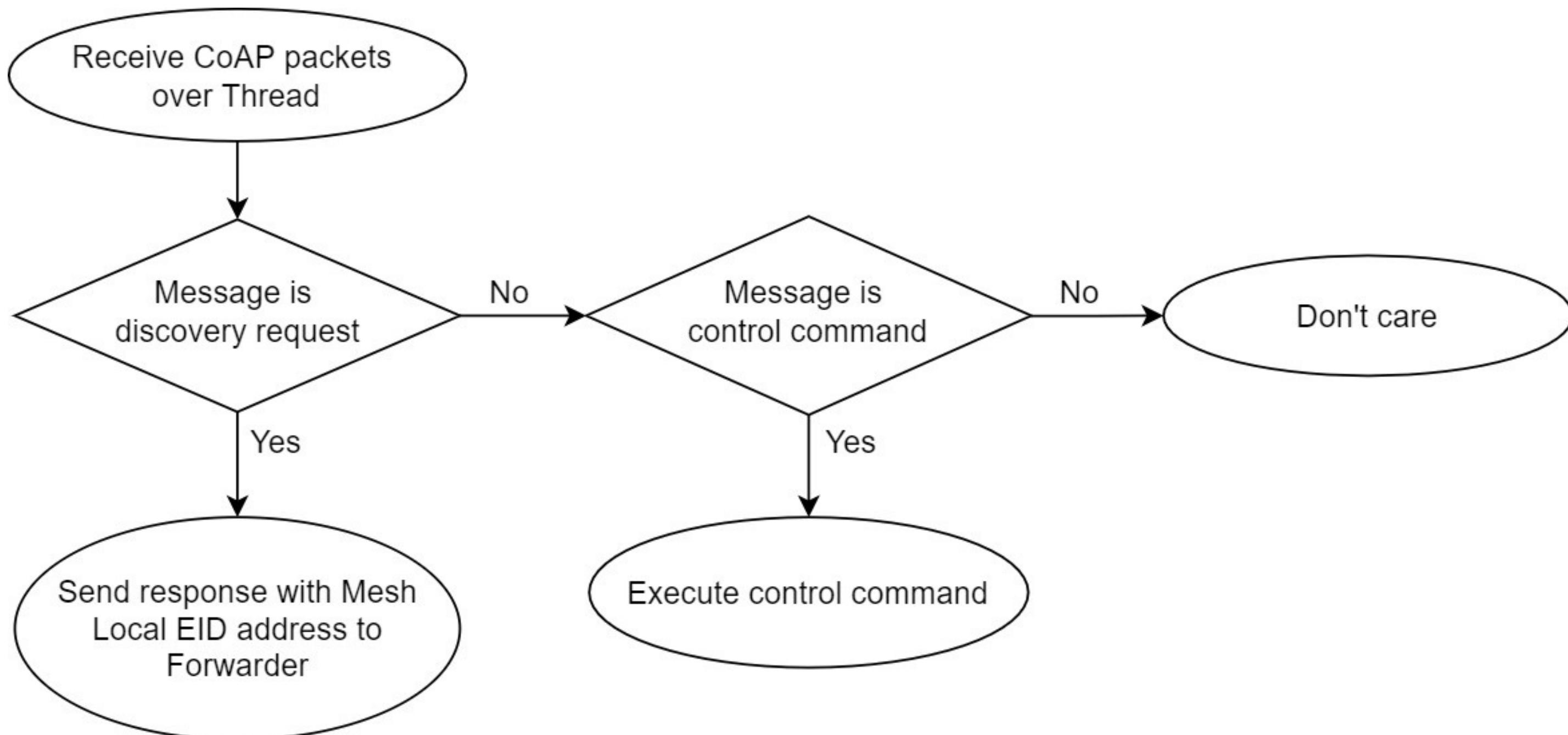


Nhận được IPv6 của nodel lân cận



Gửi tín hiệu điều khiển đến End node

BLE/Thread Forwarding Service Algorithm - End Node



3

Đánh giá kết quả

- Đánh giá độ xa của đường truyền
- Xác định khoảng cách truyền tối ưu ($PRR > 95\%$)
- Đánh giá truyền tin đa chặng
- Điều khiển qua MQTT
- Điều khiển nội bộ
- Dự đoán thời gian hoạt động
- Đánh giá hiệu quả của ứng dụng đa giao thức động

1. Đánh giá độ xa của đường truyền

- Mục tiêu:

Đánh giá khoảng cách tối đa mà node có thể phát hiện được những node lân cận

- Môi trường thử nghiệm

Thực hiện ngoài trời và trong nhà (đường truyền LoS)

- Thông số của mạng

Sử dụng antenna đơn cực có sẵn

TX power = 0/4/8 dB

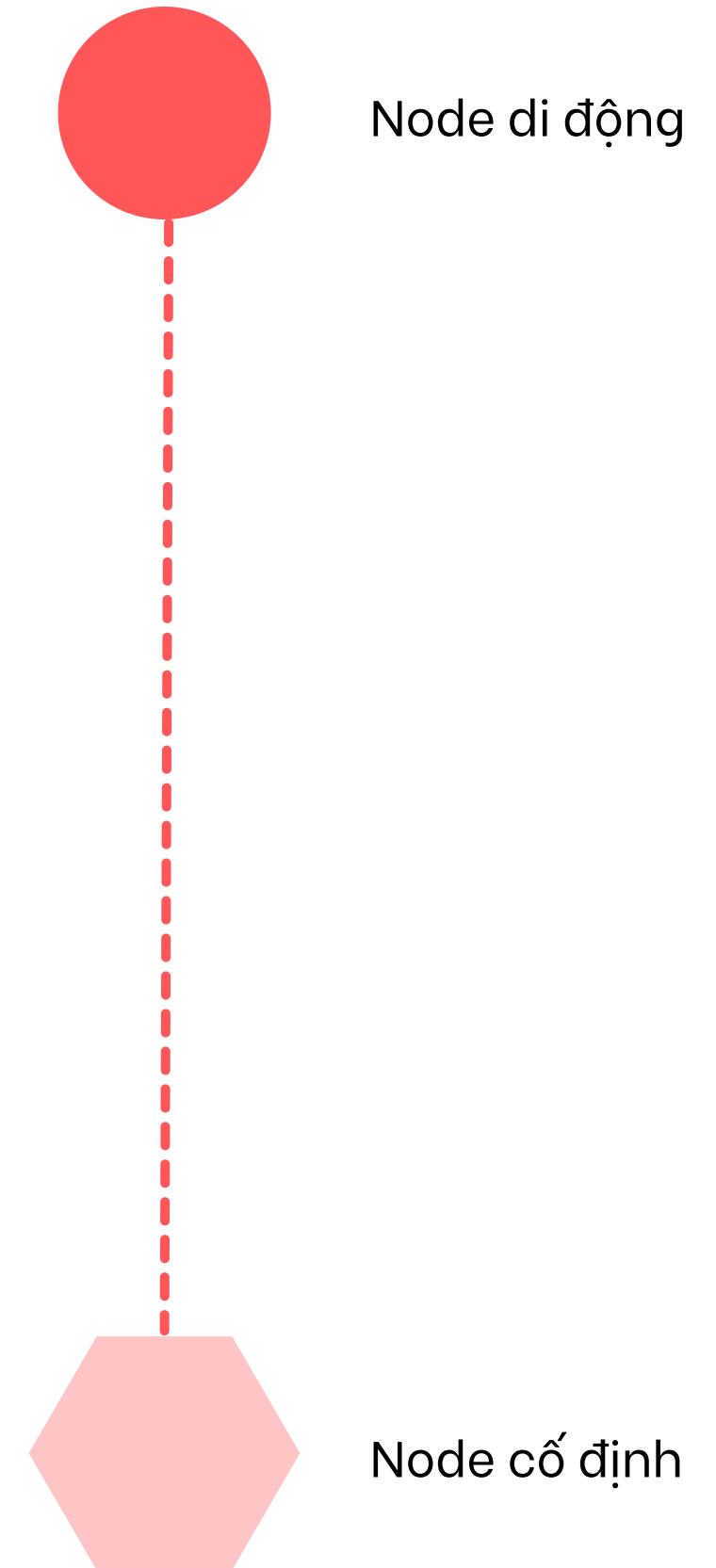
Sensitivity = -95 dB

- Cách thức thực hiện

Thiết lập kết nối giữa 2 nút mạng với một nút cố định và một nút di động

Nút di động gửi tín hiệu điều khiển đến nút cố định

Khoảng cách được đo bằng GPS



1. Đánh giá độ xa của đường truyền

Nhận xét

- Môi trường ngoài trời, trong khoảng cách 50m, điện thoại của người dùng vẫn có thể phát hiện được nút Forwarder thông qua BLE. Nút Forwarder cũng phát hiện được các nút Thread xung quanh trong bán kính xấp xỉ 37m. (TX power = 0 dB)
- Môi trường trong nhà, trong khoảng cách 57m, điện thoại của người dùng vẫn có thể phát hiện được nút Forwarder thông qua BLE. Nút Forwarder cũng phát hiện được các nút Thread xung quanh trong bán kính xấp xỉ 42m.
- Khi đặt các nút trong môi trường nhiều vật cản (cây, tòa nhà,...), các thông số này giảm đáng kể.
- Thông số ghi nhận được ở môi trường trong nhà tốt hơn ngoài trời một phần là vì các hiện tượng phản xạ của sóng BLE, Thread.

Phần cứng	Giao thức	Công suất TX (dBm)					
		0		4		8	
		Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà
nRF52840 Customized Kit	Thread	37m	42m	48m	52m	60m	62m
nRF52840 Development Kit	Thread	40m	43m	52m	56m	63m	65m
nRF52840 Customized Kit	BLE 1Mbps	51m	57m	62m	70m	74m	78m
nRF52840 Development Kit	BLE 1Mbps	53m	59m	65m	72m	79m	80m

2. Xác định khoảng cách truyền tối ưu (PRR > 95%)

- Mục tiêu:

Kích bản thực hiện với mục đích đánh giá
khoảng cách tối ưu của các giao thức Thread và
Zigbee trên các phần cứng Nhóm đang sử dụng

- Môi trường thử nghiệm

Thực hiện ngoài trời và trong nhà (đường truyền LoS)

- Thông số của mạng

TX power = 0 dB

Sensitivity = -95 dB

- Cách thức thực hiện

Thiết lập kết nối giữa 2 nút mạng với một nút cố định
và một nút di động

Nút di động gửi tín hiệu điều khiển đến nút cố định

Khoảng cách được đo bằng GPS



2. Xác định khoảng cách truyền tối ưu (PRR > 95%)

Nhận xét

- Do thực hiện trên đường truyền Line-of-sight nên PRR của các node mạng rất tốt trong khoảng cách từ 10 - 22m
- Dựa trên kết quả của thử nghiệm này, nhóm quyết định nhóm khoảng cách tối ưu, đảm bảo các ứng dụng sẽ hoạt động tốt là 10m (PRR ~ 100%) để tiến hành các kịch bản thử nghiệm tiếp theo.

Phần cứng	Giao thức	Packet Receipt Ratio - PRR (%)									
		100		99		98		97		96	
		Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà	Ngoài trời	Trong nhà
CC2538 Customized Kit	Thread	9m	11m	12m	13m	13m	15m	15m	17m	16m	18m
nRF52840 Customized Kit	Thread	10m	11m	11m	13m	13m	15m	15m	18m	17m	20m
nRF52840 Development Kit	Thread	11m	13m	12m	15m	15m	17m	17m	19m	19m	22m
EFR32MG12	Zigbee	10m	12m	14m	15m	16m	18m	19m	21m	20m	22m

3. Đánh giá truyền tin đa chặng (1)

CC2538/thread-only

- Mục tiêu:

Đánh giá trong môi trường hoạt động thực tiễn: Các node cảm biến được bố trí trong một phòng và truyền tin đến Border Router

- Môi trường thử nghiệm

Thực hiện ngoài trời và trong nhà (đường truyền LoS)

- Thông số của mạng

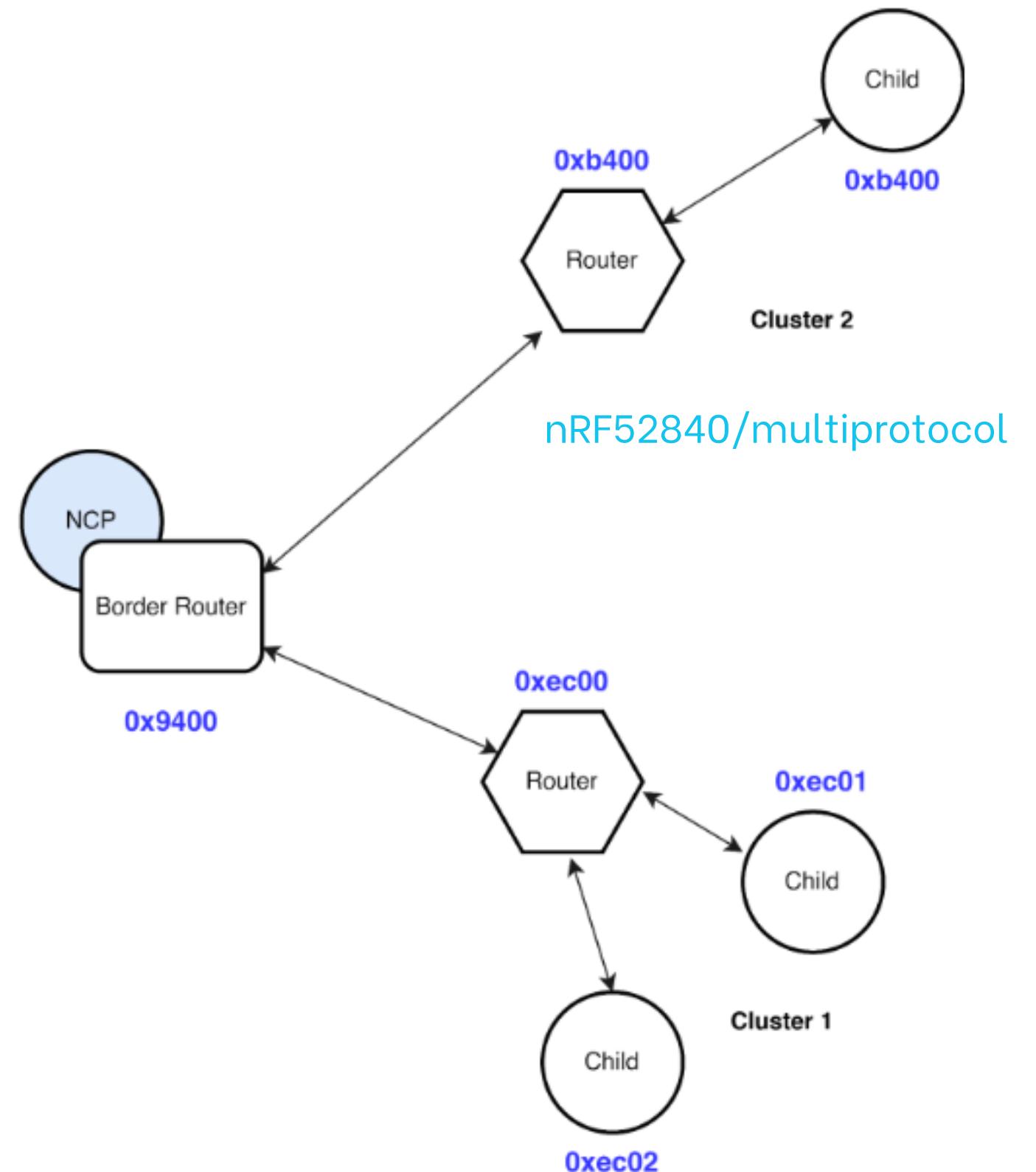
TX power = 0 dB

Sensitivity = -95 dB

- Cách thức thực hiện

Thực hiện lệnh ping 1000 gói tin 64 bytes từ Border Router đến các node Router và node Child trong mỗi cụm

```
64 bytes from fd11:1111:1122::ff:fe00:ec00: icmp_seq=999 ttl=64 time=30.1 ms
64 bytes from fd11:1111:1122::ff:fe00:ec00: icmp_seq=1000 ttl=64 time=15.1 ms
^C
--- fd11:1111:1122::ff:fe00:ec00 ping statistics ---
1000 packets transmitted, 957 received, 4% packet loss, time 1002181ms
rtt min/avg/max/mdev = 13.595/18.729/43.796/4.213 ms
pi@raspberrypi:~ $ ^C
pi@raspberrypi:~ $ _
```



Topology của mạng thử nghiệm

3. Đánh giá truyền tin đa chặng (1)

Bảng 17. Kết quả đánh giá truyền tin đa chặng ở môi trường không có vật cản

Cụm	Node	Firmware	Khoảng cách từ node đến BR (m)	Số hop về BR (hop)	RTT trung bình (ms)	PRR (%)
1	Router A	Thread-only	10	1	14.21	100
1	Child B	Thread-only	4	2	15.48	99
1	Child C	Thread-only	3	2	15.23	100
2	Router D	Dynamic multiprotocol	10	1	13.42	99
2	Child E	Dynamic multiprotocol	8	2	15.62	99

Bảng 18. Kết quả đánh giá truyền tin đa chặng ở môi trường có vật cản

Cụm	Node	Firmware	Khoảng cách từ node đến BR (m)	Số hop về BR (hop)	RTT trung bình (ms)	PRR (%)
1	Router A	Thread-only	10	1	18.73	96
1	Child B	Thread-only	4	2	34.13	90
1	Child C	Thread-only	3	2	32.14	92
2	Router D	Dynamic multiprotocol	10	1	15.12	98
2	Child E	Dynamic multiprotocol	8	2	30.63	94

Nhận xét

- PRR của môi trường ngoài trời và môi trường trong nhà không có sự khác biệt đáng kể.
- Tốc độ ổn định liên kết của SoC từ Nordic nhanh hơn so với Texas Instruments.
- Khoảng cách truyền không chỉ phụ thuộc vào công suất thu phát, độ lợi antenna, mà còn phụ thuộc rất nhiều vào yếu tố môi trường và độ cao bộ truyền nhận. Mặc dù cùng công suất TX (0 dBm) nhưng antenna của nRF52840 nhỉnh hơn so với các phần cứng còn lại trong mạch.

3. Đánh giá truyền tin đa chặng (2)

- Mục tiêu:

Đánh giá PRR và RTT qua 5 chặng của mạng Thread

- Môi trường thử nghiệm

Thực hiện ngoài trời và trong nhà (đường truyền LoS)

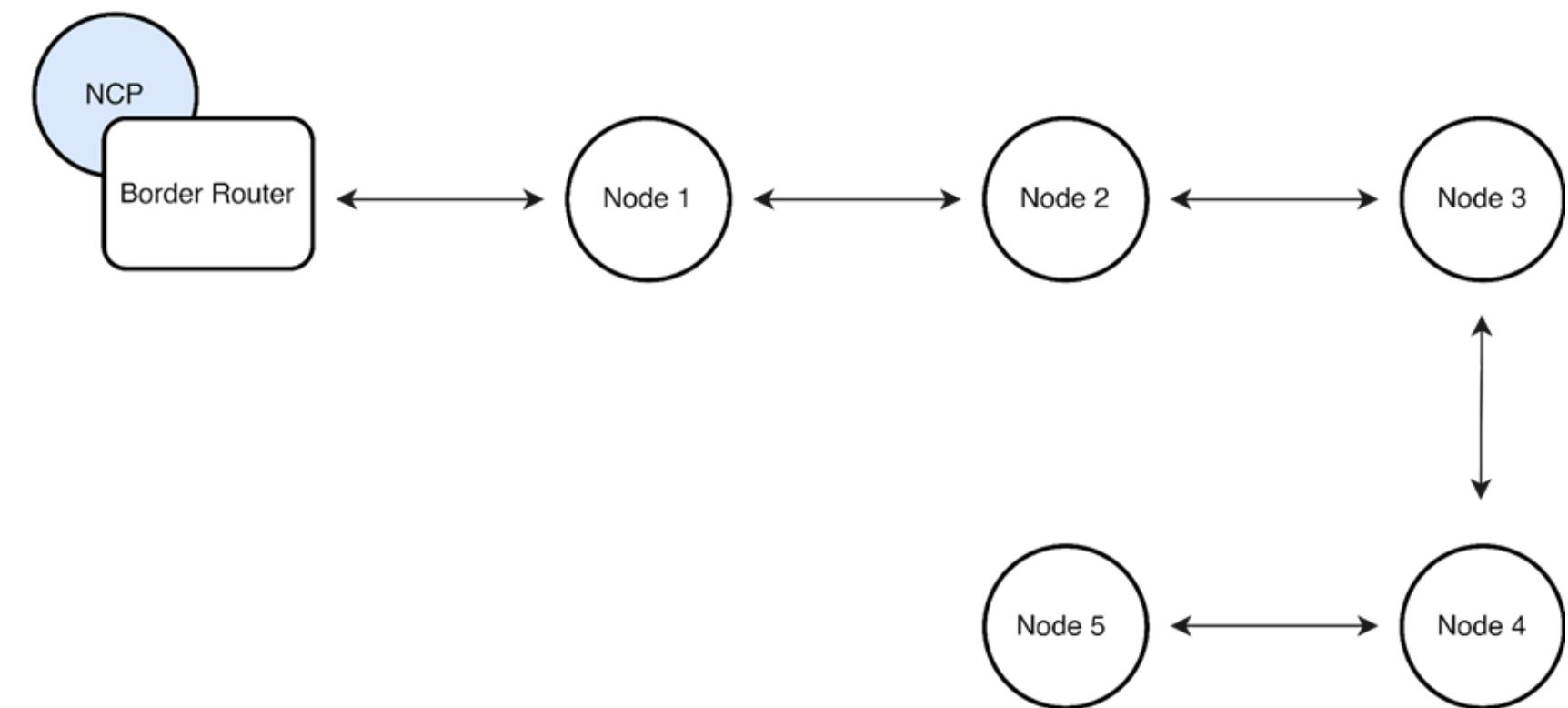
- Thông số của mạng

TX power = 0 dB

Sensitivity = -95 dB

- Cách thức thực hiện

Thực hiện lệnh ping 1000 gói tin 64 bytes từ Border Router đến các node Router và node Child trong mỗi cụm



3. Đánh giá truyền tin đa chặng (2)

Bảng 19. Kết quả đánh giá truyền tin đa chặng 2

Node	Phần cứng	Firmware	Khoảng cách từ node đến BR (m)	Số hop về BR (hop)	RTT trung bình (ms)	PRR (%)
1	CC2538	Thread-only	10	1	14.23	100
2	nRF52840	Dynamic multiprotocol	20	2	19.43	100
3	CC2538	Thread-only	30	3	25.12	99
4	nRF52840	Dynamic multiprotocol	40	4	28.38	98
5	CC2538	Thread-only	50	5	35.94	96

Nhận xét

- Hệ thống đáp ứng ổn khi truyền qua 3 chặng với khoảng cách tối đa là 30m.
- Dynamic multiprotocol có thể một phần ảnh hưởng đến kết quả thu được của thử nghiệm này do có sự phân chia khe thời gian cho giao thức BLE (Giao thức BLE được ưu tiên hơn Thread). Để giảm thiểu tối đa ảnh hưởng, ta có thể tăng chu kỳ BLE advertising để tránh ảnh hưởng đến kết nối Thread.
- Khi truyền các gói tin qua nhiều chặng, multihop PRR giảm đáng kể. Tuy nhiên, ta có thể tăng công suất phát và sử dụng antenna ngoài trên các node Router. Từ đó tăng PRR từng chặng và tăng multihop PRR và vẫn đảm bảo các End node hoạt động ở công suất thấp.

4. Điều khiển qua MQTT

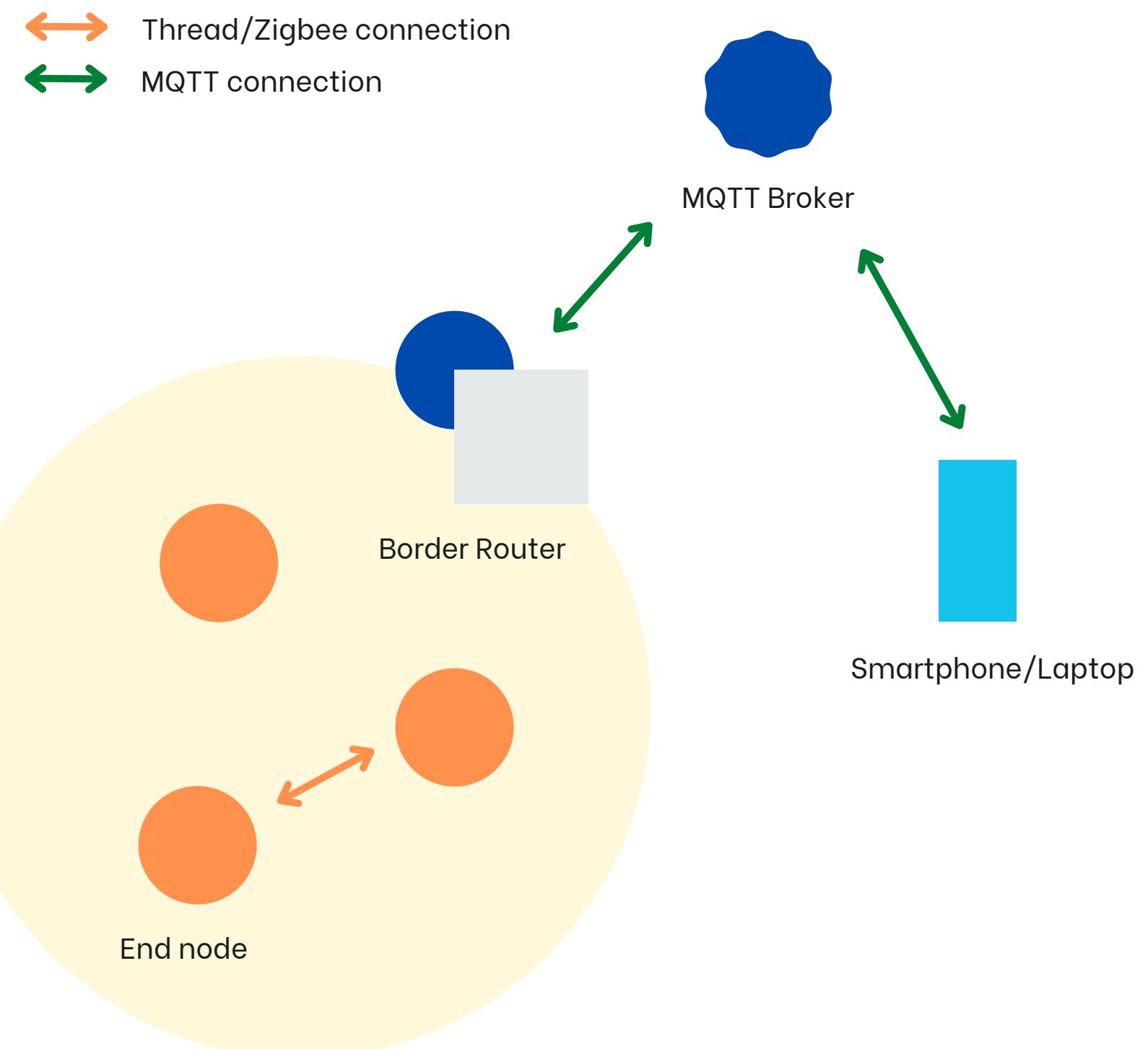
- Mục tiêu:

Đánh giá độ trễ, tỉ lệ truyền thành công qua giao thức MQTT

- Cách thức thực hiện:

Thực hiện một script gửi 1000 gói tin (tần suất: 1 gói tin/giây, QoS = 1) từ Broker đến End node và ngược lại.

```
1 function random(min, max) {  
2   return Math.round(Math.random() * (max - min)) + min  
3 }  
4  
5 function handlePayload(value) {  
6  
7   let _value = value  
8   if (typeof value == 'string') {  
9     _value = JSON.parse(value)  
10  }  
11  
12  _value.led = random(0, 1)  
13  
14  return JSON.stringify(_value, null, 1)  
15 }  
16  
17 execute(handlePayload)
```



- Thông số của mạng
TX power = 0 dB
Sensitivity = -95 dB

Topology của mạng thử nghiệm

4. Điều khiển qua MQTT

Bảng 20. Kết quả thử nghiệm điều khiển qua MQTT

Giao thức	PRR	Delay time	RTT
Thread	94%	175 ms	350 ms
Zigbee	92%	180 ms	360 ms

Nhận xét: Kết quả thu được phụ thuộc phần lớn vào tốc độ Internet. Nhìn chung, hệ thống vẫn đảm bảo được tính soft real-time của hệ thống

5. Điều khiển nội bộ

- Mục tiêu:

Kịch bản thử nghiệm này giả lập trường hợp người dùng không có kết nối internet để điều khiển các node qua MQTT, họ có thể điều khiển bằng BLE/Thread forwarding service trên điện thoại thông minh.

- Môi trường thử nghiệm

Thực hiện trong nhà. Vật cản: tường gạch dày khoảng 10 cm và nhiều vật dụng như bàn, ghế và các đồ dùng trong nhà.

- Thông số của mạng

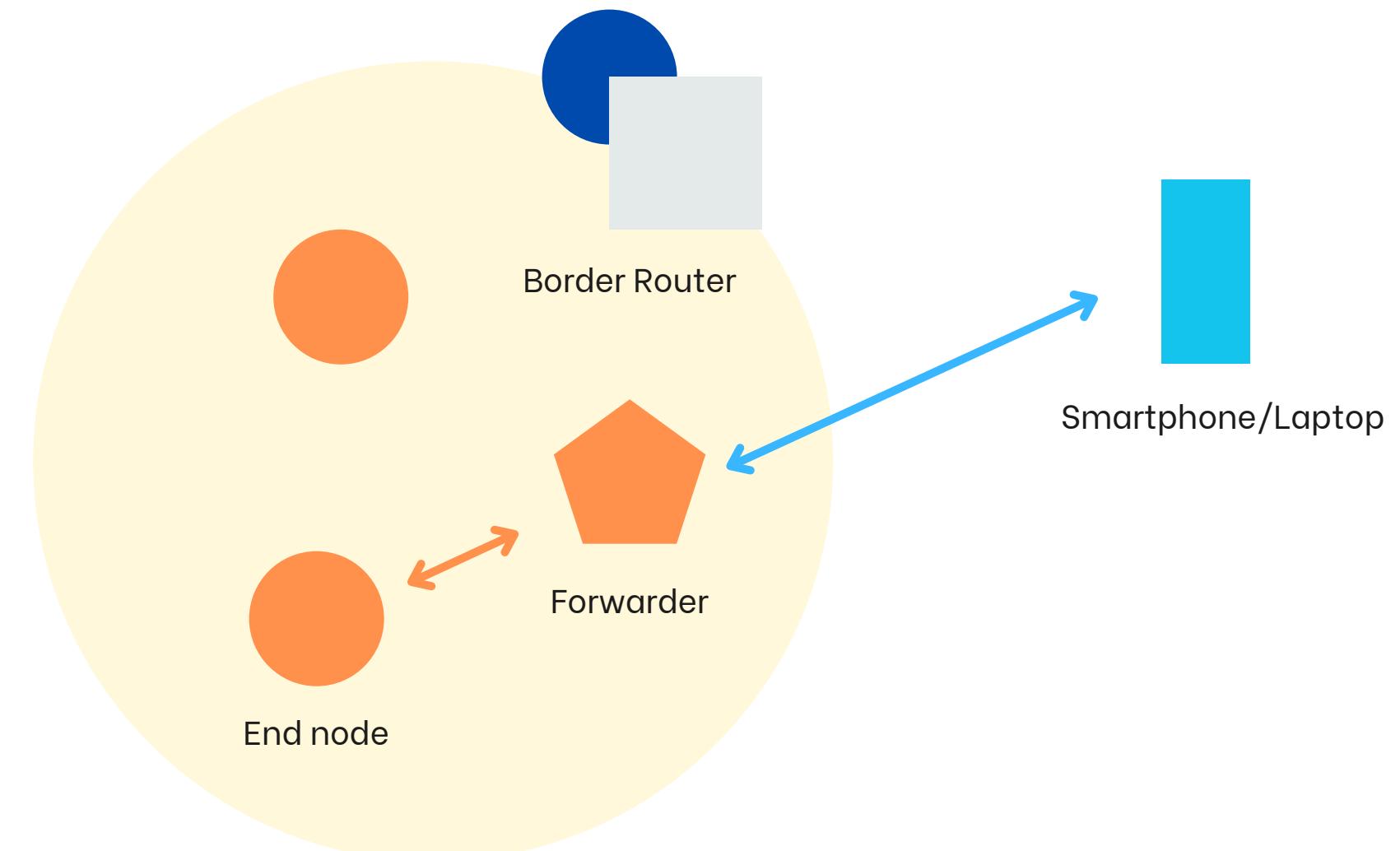
TX power = 0 dB

Sensitivity = -95 dB

- Cách thức thực hiện

Thực hiện lệnh ping 1000 gói tin 64 bytes từ thiết bị BLE đến node Forwarder. Forwarder sẽ chuyển tiếp gói tin đó đến một node End node lân cận (1 hop)

↔ Thread connection
↔ BLE connection



Topology của mạng thử nghiệm

5. Điều khiển nội bộ

Bảng 21. Kết quả thử nghiệm nội bộ

Kết nối	PRR	RTT
Smartphone -> Forwarder: 5m	100%	6.2 ms
Forwarder -> Thread: 10m	96%	15.3ms

Nhận xét: Ở khoảng cách ngắn, giao thức BLE hoạt động rất tốt, PRR hầu như là 100% nên tính BLE/Thread forwarding service phụ thuộc phần lớn vào liên kết mạng Thread. Vì có vật cản là tường gạch nên dù ở khoảng cách 10m, PRR của kết nối giữa forwarder và thread vẫn giảm đáng kể.

6. Dự đoán thời gian hoạt động

- Mục tiêu:

Dự đoán thời gian hoạt động trung bình của mạng

- Cách thức thực hiện:

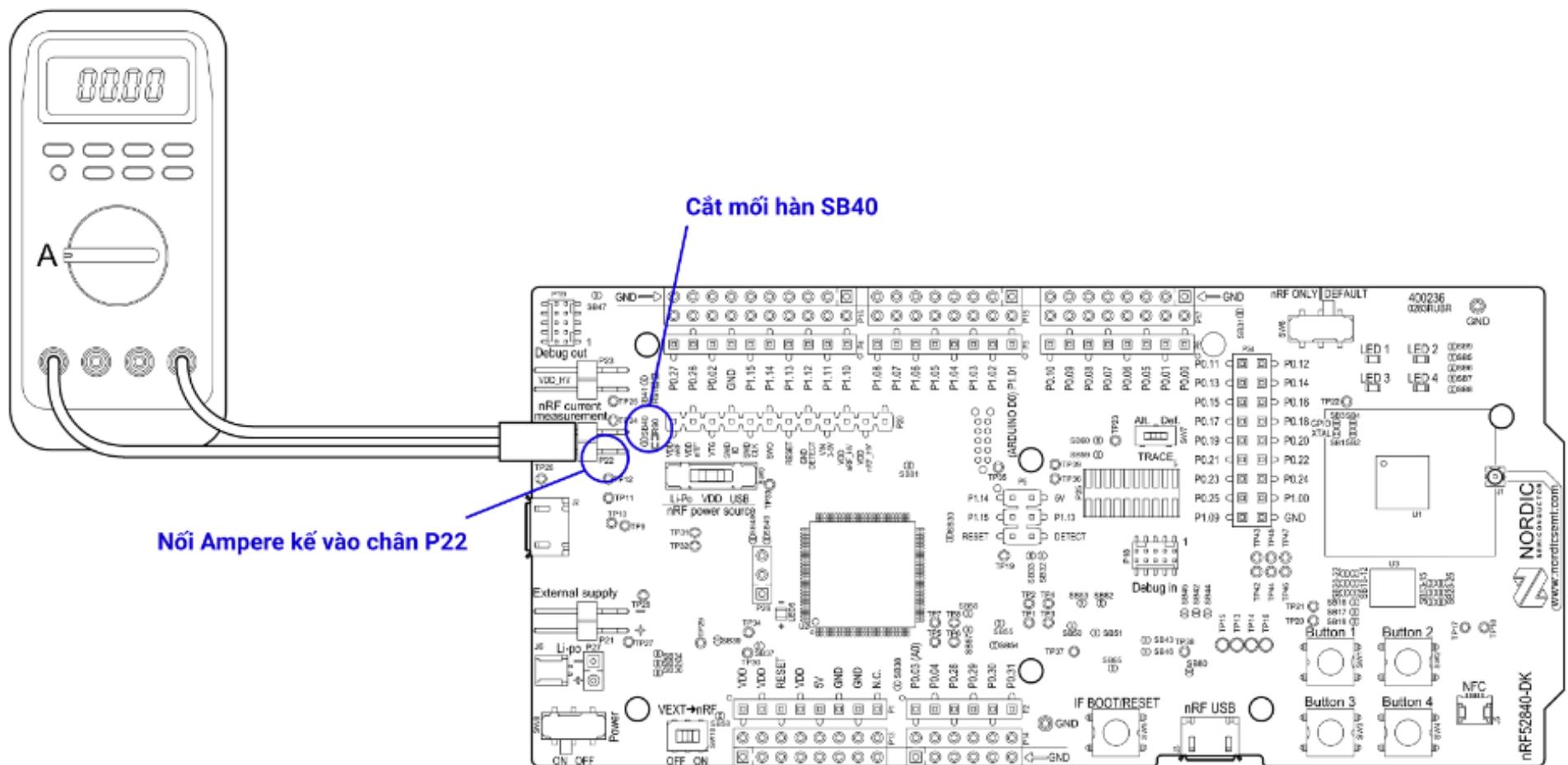
Đo dòng trung bình đang hoạt động của node

- Thông số của mạng

VDD = 3V

Chu kỳ BLE advertising = 100 ms

Dung lượng pin (CR2032) = 200 mA



6. Dự đoán thời gian hoạt động

Bảng 23. Kết quả thử nghiệm dự đoán thời gian hoạt động

Node	Trạng thái Idle	Tổng dòng trung bình	Ước tính thời gian hoạt động
End node	2.7 uA	42 uA	4600 giờ ~ 190 ngày
Forwarder	3.1 uA	215 uA	900 giờ ~ 36 ngày

Nhận xét: Từ bảng kết quả nhận thấy, do phải xử lý nhiều tác vụ hơn các end node, forwarder tiêu thụ năng lượng hơn. Một số giải pháp đề xuất:

- Forwarder vai trò chính là điều hướng các gói tin và mạng Thread có thể thăng cấp end node thành forwarder trong trường hợp forwarder hết năng lượng.
- Kết nối forwarder với các nguồn ngoài (Border Router hoặc nguồn pin) để tăng thời gian hoạt động

7. Đánh giá độ hiệu quả của ứng dụng đa giao thức

- Mục tiêu:

Đánh giá độ hiệu quả khi chạy đồng thời 2 giao thức trên cùng một SoC

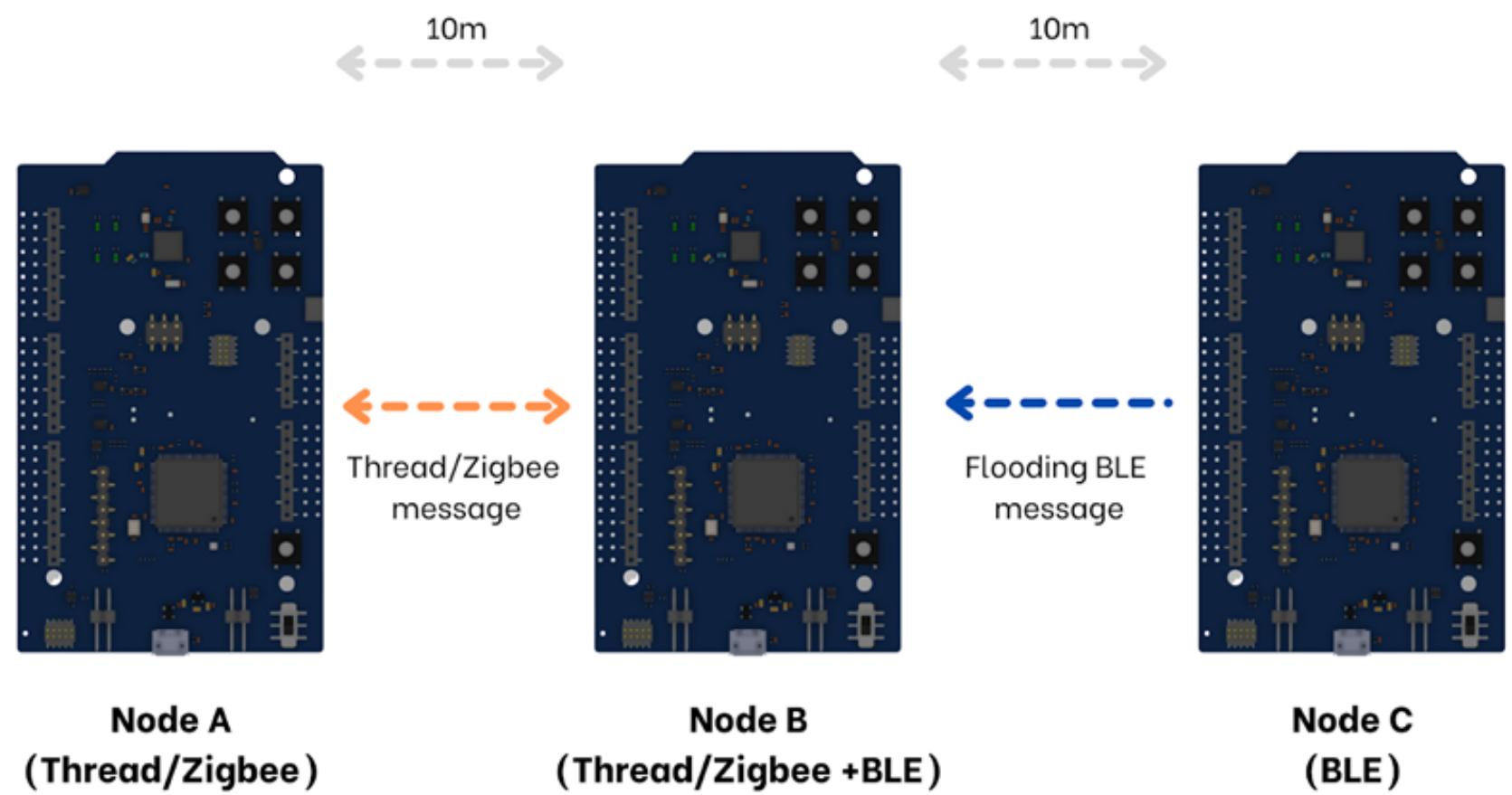
- Thông số của mạng

TX power = 0 dB

Sensitivity = -95 dB

- Kịch bản thử nghiệm

Kịch bản 1: Node A và node B kết nối cùng một mạng Thread/Zigbee. Node B đang kết nối BLE với node C. Node C liên tục gửi các gói tin BLE connection đến node B (Tần xuất 100ms/1 gói tin)



Kịch bản 2: Node A và node B kết nối cùng một mạng Thread/Zigbee. Node B đang tìm kết nối BLE. Node C liên tục gửi các gói tin BLE advertising đến node B (Tần suất 100ms/gói tin)

7. Đánh giá độ hiệu quả của ứng dụng đa giao thức

Bảng 24. Kết quả thu được của thử nghiệm đánh giá ứng dụng đa giao thức

	RTT	PRR (without retransmissions)	PRR (with retransmissions)
Kịch bản 1	85.8 ms	65.7%	100%
Kịch bản 2	82.3 ms	80.2%	100%

```
COM5 (Silicon Labs CP210x USB to UART Bridge (COM5))
Terminal Sessions View X server Tools Games Settings Macros Help
Session Servers Tools Games Sessions View Split MultiExec Tunneling Packages
Quick connect...
>
>
>
>
==== Test Finished ====
Test duration: 85822ms

Average CPU utilization:
  Local: 100.00%
  Remote: 100.00%

Without retransmissions:
  PER: 34.30%
  Throughput: 5 kbps

With retransmissions:
  PER: 0.00%
  Throughput: 3 kbps
```

Nhận xét:

- Trường hợp truyền gói tin không sử dụng ACK, số lượng gói tin bị mất là rất lớn. Do đó việc sử dụng ACK xác nhận sẽ giải quyết được điều này.
- Nhược điểm của kỹ thuật sử dụng ACK là tăng nồng độ tiêu hao và giảm throughput của liên kết. Tuy nhiên, đối với hệ thống nhóm đang thực hiện, giao thức BLE chỉ được sử dụng trong trường hợp Gateway gấp sự cố.

4

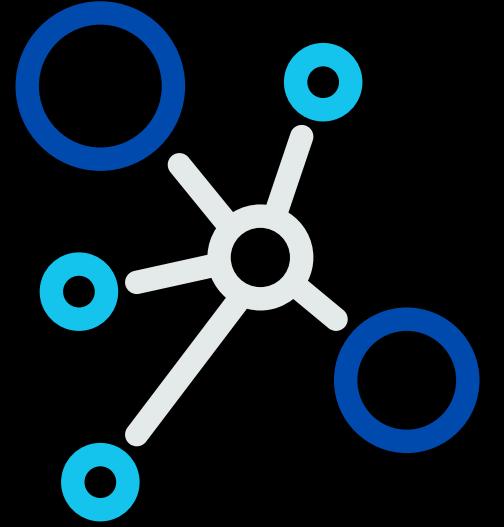
Kết luận và hướng phát triển

Kết luận

- Nghiên cứu đã thu thập các thông số của mạng Thread, Zigbee và BLE dựa trên System-on-Chip Nordic Semiconductor nRF52840. Ngoài ra, nghiên cứu đã mở rộng trên phần cứng của CC2538 (Texas Instrument) và EFR32 (Silabs), thực hiện các kịch bản đánh giá trong môi trường hoạt động lý tưởng, thực tế.
- Nghiên cứu đã thực hiện phần mềm nhúng điều khiển đèn LED dựa trên nền tảng System-on-Chip Nordic Semiconductor nRF52840 hỗ trợ đa giao thức động (multi-protocol). Đây là nền tảng để tiếp tục phát triển các ứng dụng phức tạp như báo cháy, chống trộm, ...
- Nghiên cứu đã xây dựng thành công Forwarding service, nghĩa là gửi gói tin BLE qua mạng Thread (Thread packet over Bluetooth Low Energy).
- Xây dựng ứng dụng Android để smartphone tương tác với các node trong mạng Thread thông qua giao thức Bluetooth Low Energy

Phương hướng phát triển

- Tích hợp thêm giao thức Bluetooth Mesh để thành lập mạng hỗ trợ được ba giao thức mạng Mesh đang phổ biến trên thị trường hiện nay (Thread, Bluetooth Mesh và Zigbee)
- Thực hiện test trên nhiều phần cứng hơn để kiểm tra sự tương thích và khả năng ứng dụng thực tế của giao thức IoT.



Cám ơn thầy cô và các bạn đã lắng nghe