



TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA  
KHOA ĐIỆN TỬ VIỄN THÔNG

# Wi-Fi Mesh Module Documentation

GVHD: Nguyễn Văn Hiếu

Sinh viên thực hiện:

Nguyễn Tấn Minh – 22KTMT1

Phạm Đình Chiến – 22KTMT2

*Đà Nẵng, 2025*

## PHÂN CÔNG CÔNG VIỆC

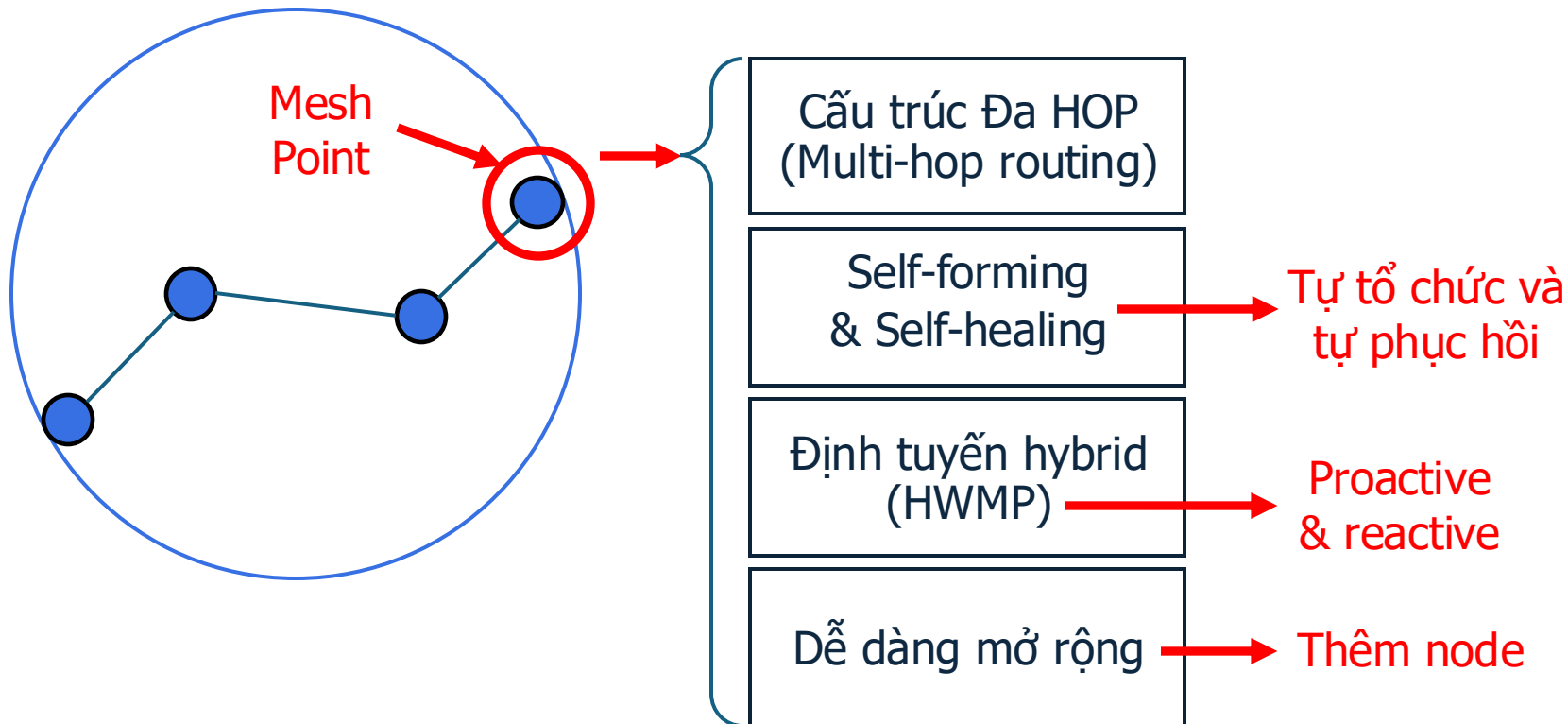
STT	HỌ VÀ TÊN	NHIỆM VỤ	KHỐI LƯỢNG
01	Nguyễn Tấn Minh	Cơ bản & Chuẩn bị Lý thuyết Tổng kết lý thuyết và kiểm định Tìm kiếm thông tin, chuẩn bị dữ liệu. Làm báo cáo	50%
02	Phạm Đình Chiến	Test và hiệu chỉnh chương trình, đẩy lên github Triển khai và kiểm tra chương trình trình Tìm kiếm thông tin, chuẩn bị dữ liệu. Làm báo cáo	50%

# CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

## I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### WI-FI MESH (802.11S)

Là mạng không dây dạng lưới chuẩn IEEE 802.11s khác với mô hình Wi-Fi truyền thống (AP-Client)



*Chuẩn 802.11s trong ns-3 gồm:  
lớp MeshHelper, Mô đun Peer  
Management Protocol, Hybrid  
Wireless Mesh Protocol (HWMP)*

# CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

## I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### ❑ KIẾN TRÚC WI-FI MESH TRONG NS-3

#### **Mesh Point Device**

- Đại diện cho một nút trong mạng Mesh
- Có thể bao gồm nhiều interface Wi-Fi (MAC/PHY)
- Thực hiện chức năng bridging giữa các interface

#### **Peer Management Protocol (PMP)**

- Thiết lập và duy trì quan hệ "peering" giữa các nút lân cận
- Quá trình: khám phá nút lân cận → mở kết nối → xác nhận → duy trì
- Chỉ các nút đã peering mới có thể trao đổi dữ liệu

#### **Mesh Wi-Fi MAC (802.11s MAC)**

- Mở rộng từ MAC chuẩn 802.11
- Hỗ trợ: forwarding frame, quản lý link, quản lý topology
- Xử lý các frame đặc biệt của Mesh (Mesh Data, Mesh Management)



# CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

## I. CƠ SỞ LÝ THUYẾT

### KIẾN TRÚC WI-FI MESH TRONG NS-3

#### Path Selection Protocol - HWMP

- **HWMP (Hybrid Wireless Mesh Protocol)**: giao thức định tuyến hybrid theo chuẩn 802.11s
- Kết hợp hai cơ chế:
  - **Proactive (tree-based)**: Duy trì cây đường đi từ các node đến Root (Mesh Portal)
  - **Reactive (on-demand)**: Khám phá đường đi khi cần (giống AODV)
- **Airtime Link Metric**: Đánh giá chất lượng link dựa trên:
  - Tốc độ truyền (bit rate)
  - Tỷ lệ lỗi frame (frame error rate)
  - Overhead của protocol



#### MeshHelper trong ns-3

- Lớp tiện ích để cài đặt và cấu hình Mesh
- Cho phép lựa chọn: loại MAC, giao thức path selection, tham số PHY
- Hỗ trợ kết hợp với Internet stack (IPv4/IPv6) và ứng dụng



# CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

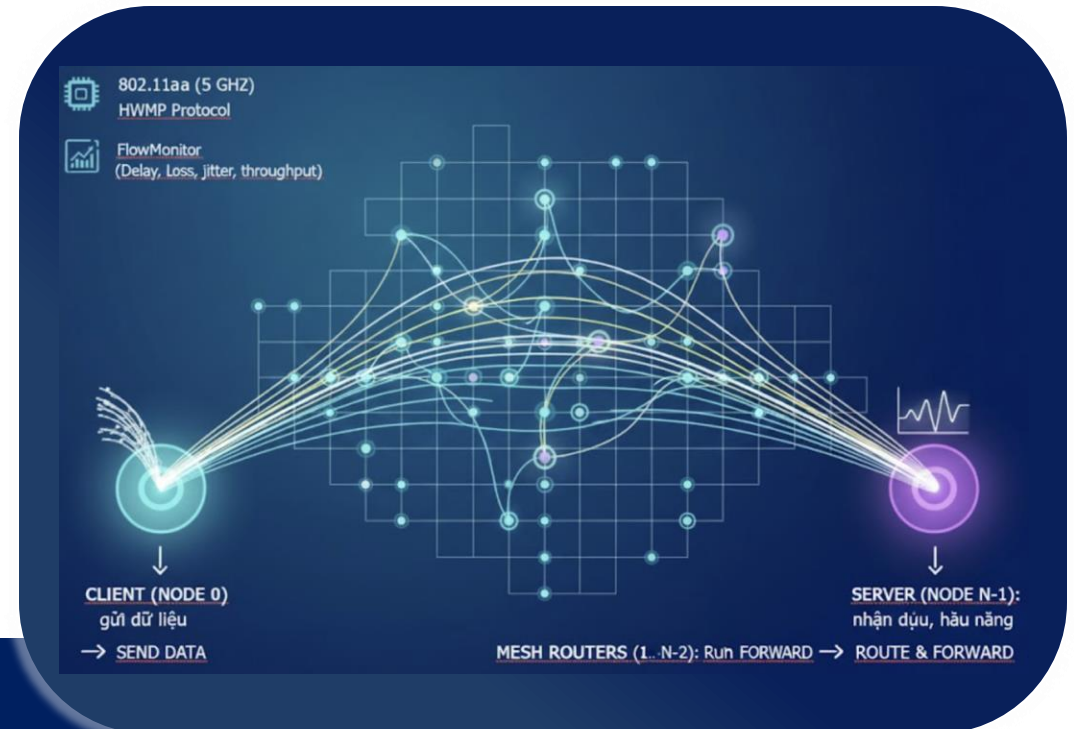
## II. MÔ HÌNH HỆ THỐNG/MẠNG

### Cấu hình chung:

- Chuẩn Wi-Fi 802.11a (5 GHz), tốc độ 6 Mb/s
- Giao thức định tuyến HWMP
- Ứng dụng: UDP Echo Client-Server
- Kích thước gói tin: 1024 bytes
- Khoảng thời gian gửi 1 gói tin (interval): 0.04 s
- Thời gian mô phỏng: 20 s
- Phân tích FlowMonitor (delay, loss, jitter, throughput)

### Vai trò các nút:

- **Client (Node 0):** gửi dữ liệu
- **Mesh routers (Node 1...N-2):** định tuyến, chuyển tiếp
- **Server (Node N-1):** nhận dữ liệu, đo hiệu năng



# CƠ SỞ LÝ THUYẾT VÀ MÔ HÌNH HỆ THỐNG

## III. KỊCH BẢN MÔ HÌNH

### TIÊU CHÍ ĐÁNH GIÁ

Ký hiệu	Ý nghĩa	Đơn vị
<b>TX</b>	Số gói gửi	packet
<b>RX</b>	Số gói nhận	packet
<b>Loss</b>	Tỉ lệ mất gói	%
<b>Delay</b>	Độ trễ end-to-end	$\mu$ s
<b>Jitter</b>	Dao động độ trễ	ms
<b>Thr</b>	Throughput thực tế	kbps

#### Kịch bản 1:

Thay đổi khoảng cách (**D** - **Distance**)  
Số node cố định là 6  
D từ 41m đến 53m (step = 1m)

#### Kịch bản 2:

Thay đổi số nút (**Nodes**)  
Khoảng cách cố định là 50m  
D từ 4 đến 15 (step = 1)

# PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

## I. KẾT QUẢ KỊCH BẢN 1

```
pham-dinh-chien@pham-dinh-chien-VivoBook-ASUSLaptop-X512JAU-F512JA:~/ns-allinone-3.41/ns-3.41$ ./ns3 run  
--startNodes=6 --endNodes=6 --startDistance=41 --endDistance=53 --stepDistance=1 --packets=600 --interv  
time=20"
```

```
ninja: no work to do.  
Xoa cac file XML cu...
```

=== BANG SO SANH ===

Case	Nodes	Dist	TX	RX	Lost	Loss(%)	Delay(us)	Jitter(ms)	Thr(kbps)
1	6	41	400	396	4	1.00	32685	5.47089	208.799
2	6	42	400	400	0	0.00	5660	2.34085	210.907
3	6	43	400	400	0	0.00	1895	0.26316	210.901
4	6	44	400	395	5	1.25	27794	4.38071	208.271
5	6	45	400	400	0	0.00	1762	0.24812	210.898
6	6	46	400	397	3	0.75	5215	1.87879	209.327
7	6	47	400	399	1	0.25	1916	0.27136	210.380
8	6	48	400	364	36	9.00	40385	7.59229	191.922
9	6	49	400	400	0	0.00	2003	0.32581	210.900
10	6	50	400	393	7	1.75	3718	1.42602	207.212
11	6	51	400	400	0	0.00	2114	0.39850	210.907
12	6	52	400	0	400	100.00	0	0.00000	0.000
13	6	53	400	0	400	100.00	0	0.00000	0.000

Hoan tat!

**Ngưỡng khoảng cách hoạt động ổn định:** nhỏ hơn 50 – 51 m

**Khoảng cách tối ưu:** 42 – 47 m

- $\text{loss} \leq 1 \%$
- $\text{delay} \approx 2 \text{ ms}$
- $\text{thr} \approx 210 \text{ kbps}$



# PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHÒNG

## II. KẾT QUẢ KỊCH BẢN 2

```
pham-dinh-chien@pham-dinh-chien-VivoBook-ASUSLaptop-X512JAU-F512JA:~/ns-allinone-3.41/ns-3.41$ ./ns3 run  
"meshwifi --startNodes=4 --endNodes=15 --startDistance=50 --endDistance=50 --stepDistance=2  
--packets=600 --interval=0.04 --time=20"  
[0/2] Re-checking globbed directories...  
ninja: no work to do.  
Xoa cac file XML cu...
```

=== BANG SO SANH ===

Case	Nodes	Dist	TX	RX	Lost	Loss(%)	Delay(us)	Jitter(ms)	Thr(kbps)
1	4	50	400	400	0	0.00	486	0.20050	210.922
2	5	50	400	400	0	0.00	2930	1.25815	210.913
3	6	50	400	399	1	0.25	6288	2.40704	210.380
4	7	50	400	400	0	0.00	1344	0.35589	210.916
5	8	50	400	277	123	30.75	42380	7.84783	146.047
6	9	50	400	398	2	0.50	3172	0.55668	209.844
7	10	50	400	398	2	0.50	4317	1.54912	209.828
8	11	50	400	394	6	1.50	5549	1.59033	207.735
9	12	50	400	339	61	15.25	7761	3.02663	178.725
10	13	50	400	398	2	0.50	2989	0.59950	209.836
11	14	50	400	339	61	15.25	42401	10.35207	178.700
12	15	50	400	360	40	10.00	16432	5.01114	189.781

Hoan tat!

### Số nút tối ưu: 4 – 7

- độ trễ < 6 ms
- loss  $\approx$  0 %
- thr = 210 kbps

### Từ 8 nút trở lên:

hiệu năng bắt đầu dao động do tăng hop-count và overhead định tuyến.

# PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHÒNG

## III. TÓM TẮT KẾT QUẢ

Kịch bản 1

D	Loss	Delay	Jitter	Thr	Nhận xét
41–51	0 – 1.75	1.7k – 33k	0.2 – 5.4	207 – 211	Ổn định, chất lượng tốt
48	9.00	40.4 k	7.6	191.9	Link bắt đầu suy giảm
52–53	100	0	0	0	Mất kết nối hoàn toàn

Kịch bản 2

Nodes	Loss	Delay	Jitter	Thr	Nhận xét
4–7	0–0.25	486–6288	0.2–2.4	~210	Mạng rất ổn định, throughput tối đa
8	30.75	42 380	7.85	146	Nghẽn đường truyền, mất gói cao
9–11	0.5 – 1.5	3000–5500	0.5–1.6	207–210	Hoạt động ổn định
12	15.25	7 761	3.03	179	Suy giảm do độ trễ mạng cao
13	0.50	2 989	0.60	210	Mạng phục hồi, định tuyến tối ưu
14	15.25	42401	10.35	179	Nút quá nhiều, overhead cao
15	10.00	16432	5.01	189	Suy giảm ổn định mạng

# PHÂN TÍCH KẾT QUẢ MÔ PHÒNG

## IV. PHÂN TÍCH & ĐÁNH GIÁ

### Phân tích

Yếu tố	Xu hướng ảnh hưởng	Kết luận
Khoảng cách	Tăng → Mất gói và delay tăng mạnh	Giới hạn khoảng 51 m
Số nút	Tăng vừa phải ( $\leq 7$ ) → ổn định; Tăng quá → overhead cao	Nên giữ 4 – 7 nút trong $\approx 50$ m
Throughput	Ổn định $\approx 210$ kbps $< 3$ % sai số so với lý thuyết	Hiệu quả băng thông rất cao
Delay & Jitter	Ổn định ở các case chuẩn; dao động lớn ở loss cao	Đáp ứng QoS cho VoIP/video
Self-healing	Các case 9, 13 (phục hồi ổn định sau mạng suy giảm)	HWMP thực hiện đúng chức năng

### Đánh giá

Tiêu chuẩn	Yêu cầu	Kết quả	Đánh giá
ITU-T G.114 (Delay)	$< 150$ ms	$\leq 42$ ms	✓ Đạt
Cisco (Jitter)	$< 30$ ms	$\leq 10$ ms	✓ Đạt
ITU Y.1541 (Loss)	$< 3$ % (bình thường)	$\leq 1$ % ở vùng chuẩn	✓ Đạt
3GPP (Throughput)	$\geq 90$ % tối đa	$\approx 100$ %	✓ Đạt

# KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

## Kết luận

- Đã xây dựng thành công và triển khai hệ thống mô phỏng **Wi-Fi Mesh 802.11s** sử dụng thư viện mô-đun MeshHelper trong NS-3.
- Đã thu thập được hai bộ dữ liệu thực nghiệm, chứng minh tác động của **Khoảng cách** và **Số lượng nút** đối với hiệu năng mạng lưới
- Xác định được các ngưỡng giới hạn ổn định của giao thức định tuyến **HWMP**



# KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

## HƯỚNG PHÁT TRIỂN

**Để mở rộng và tăng cường tính thực tiễn của đồ án, nhóm đề xuất các hướng nghiên cứu sau:**

- 1. Phát triển QoS:** Bổ sung mô hình **802.11e QoS EDCA** để ưu tiên các luồng dữ liệu thời gian thực (real-time traffic).
- 2. So sánh Giao thức:** Thực hiện so sánh hiệu năng của **HWMP** với các giao thức định tuyến không dây phổ biến khác như **AODV** và **OLSR** trong cùng một cấu trúc liên kết (topology).
- 3. Đánh giá chuyên sâu:** Đánh giá bổ sung các tiêu chí quan trọng khác như **năng lượng tiêu thụ** và **thời gian học đường đi** (route discovery time) của giao thức.



THANK YOU

*Đà Nẵng, 2025*