

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG
BÁO CÁO
LẬP TRÌNH MẠNG

ĐỀ TÀI:

**MÔ PHỎNG VÀ ĐÁNH GIÁ ĐỊNH TUYẾN NĂNG LƯỢNG THẤP
TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY BẰNG NS-3**

GVHD: TS. Nguyễn Văn Hiếu

Sinh viên thực hiện:

Lê Thị Hải Yến 106220278

Dương Thị Kim Ngân 106220263

Lê Thị Kim Yến 106220243

Đà Nẵng, 11/2025

PHÂN CÔNG CÔNG VIỆC

Họ và tên	Nhiệm vụ	Tỷ lệ %
Lê Thị Kim Yến	<ul style="list-style-type: none"> - Soạn nội dung báo cáo: mô tả kiến trúc, chức năng từng thành phần, điểm mới, cơ sở lý thuyết và công nghệ sử dụng. - Thực hiện xây dựng topology mạng, cấu hình các node trong NS-3. - Soạn slide thuyết trình 	33
Dương Thị Kim Ngân	<ul style="list-style-type: none"> - Soạn nội dung báo cáo: thiết lập thông số mô phỏng, cài đặt các module (wifi, mobility, energy, routing, flow-monitor). - Thu thập dữ liệu đầu ra (file CSV, energy, dead_nodes) và xử lý kết quả - Chạy mô phỏng hệ thống trên NS-3 	33
Lê Thị Hải Yến	<ul style="list-style-type: none"> - Soạn nội dung báo cáo: mô tả, phân tích các biểu đồ PDR, delay, throughput, energy, đánh giá từng giao thức, tổng hợp kết luận – hạn chế – hướng phát triển. - Chạy mô phỏng hệ thống trên NS-3 - Soạn bản báo cáo tóm tắt 	34

1. MÔ HÌNH HỆ THỐNG

1.1. Kiến trúc tổng thể hệ thống:

Hệ thống mô phỏng mạng cảm biến không dây (WSN) được xây dựng trên nền tảng NS-3, với kiến trúc tổng thể gồm các thành phần chính sau:

- Các node cảm biến: Gồm 50 node được bố trí theo dạng lưới cố định. Trong đó, 10 node đóng vai trò node gửi dữ liệu, 1 node đóng vai trò sink node và 39 node còn lại hoạt động như các node chuyển tiếp (relay node) để hỗ trợ định tuyến. Tất cả các node đều có khả năng thu thập, xử lý sơ bộ và truyền dữ liệu trong mạng.
- Sink node (nút thu thập trung tâm): Là node đầu tiên trong mạng (node 0), có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ các node cảm biến và đóng vai trò như điểm kết thúc của luồng truyền thông.
- Giao thức định tuyến: Mỗi lần mô phỏng sử dụng một trong ba giao thức: AODV, DSDV hoặc OLSR để định tuyến dữ liệu từ các node đến sink node.
- Mô hình năng lượng: Mỗi node được cấp năng lượng ban đầu và theo dõi mức tiêu thụ trong suốt quá trình mô phỏng. Khi năng lượng giảm dưới ngưỡng, node được xem là “chết”.
- Ứng dụng gửi/nhận dữ liệu: Các node gửi sử dụng ứng dụng OnOff để truyền dữ liệu UDP đến sink node. Sink node sử dụng PacketSink để nhận dữ liệu.
- Công cụ giám sát: FlowMonitor được sử dụng để theo dõi các luồng truyền thông, ghi nhận các chỉ số như PDR, độ trễ, thông lượng, và xuất kết quả ra file.
- Kiến trúc này cho phép đánh giá hiệu năng của từng giao thức định tuyến trong môi trường mạng cảm biến tĩnh, có giới hạn năng lượng, và lưu lượng dữ liệu thay đổi.

1.2. Chức năng từng thành phần:

- **Node cảm biến (sensor node):** Là thành phần cơ bản trong mạng cảm biến không dây, có chức năng thu thập dữ liệu từ môi trường (nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, v.v.), xử lý sơ bộ và truyền dữ liệu đến các node khác hoặc về sink node.
- **Node chuyển tiếp (relay node):** Là các node không trực tiếp gửi dữ liệu ứng dụng nhưng giữ vai trò quan trọng trong việc chuyển tiếp gói tin. Các relay node tham gia cập nhật bảng định tuyến, chuyển tiếp gói tin giữa các node trong mạng, đảm bảo đường đi từ node gửi đến sink node luôn tồn tại.
- **Nút thu thập trung tâm (sink node):** Là node đặc biệt có vai trò thu nhận toàn bộ dữ liệu từ các node cảm biến khác. Sink node thường có năng lượng dồi dào hơn và kết nối với máy chủ hoặc hệ thống xử lý trung tâm.

1.3. Điểm mới so với mô hình chuẩn:

- Mô hình trong đề tài không chỉ mô phỏng một giao thức định tuyến mà thực hiện so sánh hiệu năng của ba giao thức phổ biến (AODV, DSDV, OLSR) trong cùng một cấu hình mạng.
- Bổ sung mô hình năng lượng để theo dõi mức tiêu thụ và tuổi thọ của từng node, giúp đánh giá thực tế hơn hiệu quả của từng giao thức.
- Ghi nhận và phân tích các chỉ số như số node chết, thời điểm node đầu tiên chết – điều ít được đề cập trong các mô hình chuẩn.
- Mô hình hóa tốc độ dữ liệu thay đổi (4 kbps, 12 kbps, 20 kbps) để đánh giá ảnh hưởng của lưu lượng đến hiệu năng mạng.

1.4. Cơ sở lý thuyết:

1.4.1. Giao thức:

Các giao thức định tuyến trong mạng cảm biến không dây có vai trò quyết định đến hiệu suất truyền dữ liệu và tuổi thọ mạng. Trong đề tài, ba giao thức được sử dụng là:

- AODV: Định tuyến theo yêu cầu, thiết lập đường dẫn khi cần thiết.
- DSDV: Định tuyến theo bảng, cập nhật định kỳ.
- OLSR: Định tuyến chủ động, sử dụng kỹ thuật MPR để tối ưu hóa.

1.4.2. Topology:

Mạng được bố trí theo dạng lưới (grid) 5x10, với các node cố định. Sink node đặt tại vị trí đầu tiên (node 0). Topology này giúp dễ dàng theo dõi luồng dữ liệu và mức tiêu thụ năng lượng theo vị trí.

1.4.3. Công nghệ sử dụng:

- **NS-3:** công cụ mô phỏng mạng mã nguồn mở, hỗ trợ mô phỏng giao thức, năng lượng và ứng dụng.
- **IEEE 802.11b:** chuẩn Wi-Fi được sử dụng để mô phỏng giao tiếp không dây giữa các node.
- **UDP:** giao thức truyền dữ liệu không kết nối, phù hợp với ứng dụng cảm biến.
- **CSV output:** định dạng xuất kết quả để phân tích bằng Python.

2. KỊCH BẢN MÔ PHỎNG

2.1. Công cụ mô phỏng:

Đề tài sử dụng NS-3 (Network Simulator 3) – một công cụ mô phỏng mạng mã nguồn mở, hỗ trợ mô phỏng chi tiết các giao thức mạng, mô hình năng lượng và các ứng dụng thực tế. NS-3 cho phép xây dựng mô hình mạng cảm biến không dây với các thông số tùy chỉnh, theo dõi hiệu năng và xuất dữ liệu mô phỏng dưới dạng file.

Các module chính được sử dụng trong mô phỏng gồm:

- wifi-module: Mô phỏng giao tiếp không dây theo chuẩn IEEE 802.11b.
- mobility-module: Thiết lập vị trí và mô hình di chuyển của các node.
- energy-module: Theo dõi mức năng lượng và mô phỏng tiêu thụ năng lượng.
- aodv/dsdv/olsr-module: Cài đặt các giao thức định tuyến.
- applications-module: Mô phỏng ứng dụng gửi/nhận dữ liệu.
- flow-monitor-module: Thu thập dữ liệu về luồng truyền thông.

2.2. Tham số chính:

Tham số	Giá trị
Số node	50
Topopogy	Grid 5 x 10, Delta = 50 m
Vùng	250m x 250m
Sink node	Node 0
Năng lượng ban đầu	100 Joules
Radio energy model	WifiRadioEnergyModel
Traffic	OnOff UDP, DataRate = {4,12,20} kbps, PacketSize = 64 bytes
Thời gian mô phỏng	300 giây
Lặp từng cấu hình	3 lần chạy với các DataRate khác nhau
Routing protocols	AODV, DSDV, OLSR

2.3. Mô hình ứng dụng:

- 10 node (1 → 10) gửi sử dụng OnOffHelper để gửi dữ liệu UDP đến sink node.
- Sink node sử dụng PacketSinkHelper để nhận dữ liệu.
- Gói tin được gửi liên tục từ thời điểm 1 giây đến hết thời gian mô phỏng.

3. KẾT QUẢ

3.1. Thông số đánh giá:

3.1.1. Tỷ lệ chuyển giao gói (Packet Delivery Ratio – PDR):

- Là tỷ lệ phần trăm số gói tin được nhận thành công tại nút đích (sink node) so với tổng số gói tin được gửi từ các nút nguồn.
- Cách tính: $PDR = (\text{Số gói nhận} / \text{Số gói gửi}) \times 100\%$

3.1.2. Độ trễ trung bình (Average Delay):

- Là thời gian trung bình để một gói tin đi từ nút gửi đến nút nhận. Bao gồm thời gian xử lý, truyền tải, định tuyến và xếp hàng.
- Cách tính: Độ trễ trung bình = Tổng thời gian trễ của tất cả gói nhận / Số gói nhận

3.1.3. Thông lượng (Throughput):

- Là lượng dữ liệu thực tế được nhận tại nút đích trong một đơn vị thời gian. Được đo bằng bit/giây (bps).
- Cách tính: Thông lượng = Tổng số bit nhận được / Thời gian mô phỏng

3.1.4. Năng lượng tiêu thụ (Energy Consumption):

- Là tổng năng lượng đã sử dụng của tất cả các node trong mạng trong suốt thời gian mô phỏng.
- Cách tính: Năng lượng tiêu thụ = Tổng (Năng lượng ban đầu – Năng lượng còn lại của từng node)

3.1.5. Số lượng node chết (Dead Nodes):

- Là số node có mức năng lượng giảm xuống dưới ngưỡng định sẵn (ví dụ: 0.1J), không còn khả năng truyền hoặc nhận dữ liệu.
- Chỉ số này cho thấy mức độ ảnh hưởng của giao thức đến tuổi thọ mạng.

3.1.6. Thời điểm node đầu tiên chết (First Node Death Time):

- Là thời điểm trong quá trình mô phỏng mà node đầu tiên hết năng lượng.
- Chỉ số này phản ánh tốc độ tiêu hao năng lượng và độ bền của mạng dưới giao thức định tuyến đang xét.

3.2. File kết quả:

- results_<protocol>_<rate>.csv: chứa một dòng duy nhất ghi các chỉ số tổng hợp gồm: tên giao thức, PDR, độ trễ trung bình, thông lượng, năng lượng tiêu thụ, số node chết, thời điểm node đầu tiên chết.

```
x results_AODV_4kbps.csv U X
x results_AODV_4kbps.csv
1 AODV,75.6184,0.0111,31.3037,3599.1930,0,-1.0000
2
```

```
x results_AODV_12kbps.csv U X
x results_AODV_12kbps.csv
1 AODV,93.8188,0.0111,118.1747,3610.6695,0,-1.0000
2
```

```
x results_AODV_20kbps.csv U X
x results_AODV_20kbps.csv
1 AODV,89.5198,0.0141,197.4306,3620.2427,0,-1.0000
2
```

x results_DSDV_4kbps.csv U X

x results_DSDV_4kbps.csv

1 DSDV,68.4111,0.0104,27.2623,3609.0683,0,-1.0000

2

x results_DSDV_12kbps.csv U X

x results_DSDV_12kbps.csv

1 DSDV,79.9929,0.0099,95.6604,3613.1208,0,-1.0000

2

x results_DSDV_20kbps.csv U X

x results_DSDV_20kbps.csv

1 DSDV,96.2266,0.0123,191.8003,3626.6107,0,-1.0000

2

x results_OLSR_4kbps.csv U X

x results_OLSR_4kbps.csv

1 OLSR,55.8876,0.0072,21.9273,3605.6206,0,-1.0000

2

x results_OLSR_12kbps.csv U X

x results_OLSR_12kbps.csv

1 OLSR,81.6962,0.0081,96.7799,3610.7114,0,-1.0000

2

x results_OLSR_20kbps.csv U X

x results_OLSR_20kbps.csv

1 OLSR,91.2260,0.0087,180.1267,3619.8980,0,-1.0000

2

- `energy_<protocol>_<rate>.csv`: gồm nhiều dòng, mỗi dòng ghi: thời gian (giây), ID node, mức năng lượng còn lại (Joule)

<code>energy_AODV_4kbps.csv</code>		
		<code>energy_AODV_4kbps.csv</code>
2980		<code>300,29,28.0732</code>
2981		<code>300,30,28.0719</code>
2982		<code>300,31,28.0622</code>
2983		<code>300,32,28.0601</code>
2984		<code>300,33,28.0491</code>
2985		<code>300,34,28.0807</code>
2986		<code>300,35,28.078</code>
2987		<code>300,36,28.0449</code>
2988		<code>300,37,28.0383</code>
2989		<code>300,38,28.0442</code>
2990		<code>300,39,28.0785</code>
2991		<code>300,40,28.0797</code>
2992		<code>300,41,28.0502</code>

<code>energy_AODV_12kbps.csv</code>		
		<code>energy_AODV_12kbps.csv</code>
2977		<code>300,26,28.0328</code>
2978		<code>300,27,28.0427</code>
2979		<code>300,28,28.057</code>
2980		<code>300,29,28.0765</code>
2981		<code>300,30,28.052</code>
2982		<code>300,31,28.0395</code>
2983		<code>300,32,28.0409</code>
2984		<code>300,33,28.0646</code>
2985		<code>300,34,28.0692</code>
2986		<code>300,35,28.0669</code>
2987		<code>300,36,28.045</code>
2988		<code>300,37,28.0532</code>
2989		<code>300,38,28.0734</code>

<code>energy_AODV_20kbps.csv</code>		
		<code>energy_AODV_20kbps.csv</code>
2759		<code>280,8,26.1535</code>
2760		<code>280,9,26.9701</code>
2761		<code>280,10,26.6949</code>
2762		<code>280,11,27.3967</code>
2763		<code>280,12,27.3207</code>
2764		<code>280,13,27.5431</code>
2765		<code>280,14,27.7316</code>
2766		<code>280,15,27.7743</code>
2767		<code>280,16,27.5871</code>
2768		<code>280,17,27.834</code>
2769		<code>280,18,27.8148</code>
2770		<code>280,19,27.9165</code>

	<i>energy_DSDV_4kbps.csv</i>
2182	220,31,27.8086
2183	220,32,27.7978
2184	220,33,27.8199
2185	220,34,27.871
2186	220,35,27.8622
2187	220,36,27.8033
2188	220,37,27.7959
2189	220,38,27.8126
2190	220,39,27.8679
2191	220,40,27.8664
2192	220,41,27.8068
2193	220,42,27.7996
2194	220,43,27.8172
2195	220,44,27.8728

	<i>energy_DSDV_12kbps.csv</i>
1674	170,23,27.8171
1675	170,24,27.8752
1676	170,25,27.8566
1677	170,26,27.8047
1678	170,27,27.8068
1679	170,28,27.8185
1680	170,29,27.8733
1681	170,30,27.8614
1682	170,31,27.8106
1683	170,32,27.8084
1684	170,33,27.8132
1685	170,34,27.8686
1686	170,35,27.8636
1687	170,36,27.8019

	<i>energy_DSDV_20kbps.csv</i>
2939	295,38,27.813
2940	295,39,27.8674
2941	295,40,27.8758
2942	295,41,27.8212
2943	295,42,27.7982
2944	295,43,27.816
2945	295,44,27.8752
2946	295,45,27.9259
2947	295,46,27.8698
2948	295,47,27.8617
2949	295,48,27.8735
2950	295,49,27.9245
2951	300,0,25.1939
2952	300,1,26.3326

energy_OLSR_4kbps.csv

	energy_OLSR_4kbps.csv
1	5,0,95.8997
2	5,1,95.8996
3	5,2,95.9004
4	5,3,95.9011
5	5,4,95.9021
6	5,5,95.8995
7	5,6,95.8987
8	5,7,95.899
9	5,8,95.8997
10	5,9,95.9013
11	5,10,95.9003
12	5,11,95.8989
13	5,12,95.8988
14	5,13,95.8994

energy_OLSR_12kbps.csv

	energy_OLSR_12kbps.csv
1	5,0,95.8829
2	5,1,95.8888
3	5,2,95.895
4	5,3,95.8961
5	5,4,95.9009
6	5,5,95.8885
7	5,6,95.888
8	5,7,95.8917
9	5,8,95.8943
10	5,9,95.8994
11	5,10,95.8975
12	5,11,95.8959
13	5,12,95.8967
14	5,13,95.8978

energy_OLSR_20kbps.csv

	energy_OLSR_20kbps.csv
1	5,0,95.8559
2	5,1,95.8789
3	5,2,95.8675
4	5,3,95.8922
5	5,4,95.8975
6	5,5,95.8766
7	5,6,95.8789
8	5,7,95.8849
9	5,8,95.8882
10	5,9,95.8988
11	5,10,95.8853
12	5,11,95.8918
13	5,12,95.8922
14	5,13,95.8973

- `dead_nodes_<protocol>_<rate>.csv`: mỗi dòng ghi: thời gian (giây), số lượng node đã chết tại thời điểm đó.

	<code>dead_nodes_AODV_4kbps.csv</code>
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0
2994	300,0

	<code>dead_nodes_AODV_12kbps.csv</code>
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0

	<code>dead_nodes_AODV_20kbps.csv</code>
2980	300,0
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0

	dead_nodes_DSDV_4kbps.csv
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0
2994	300,0
2995	300,0
2996	300,0
2997	300,0
2998	300,0

	dead_nodes_DSDV_12kbps.csv
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0
2994	300,0
2995	300,0
2996	300,0

	dead_nodes_DSDV_20kbps.csv
2980	300,0
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0
2994	300,0

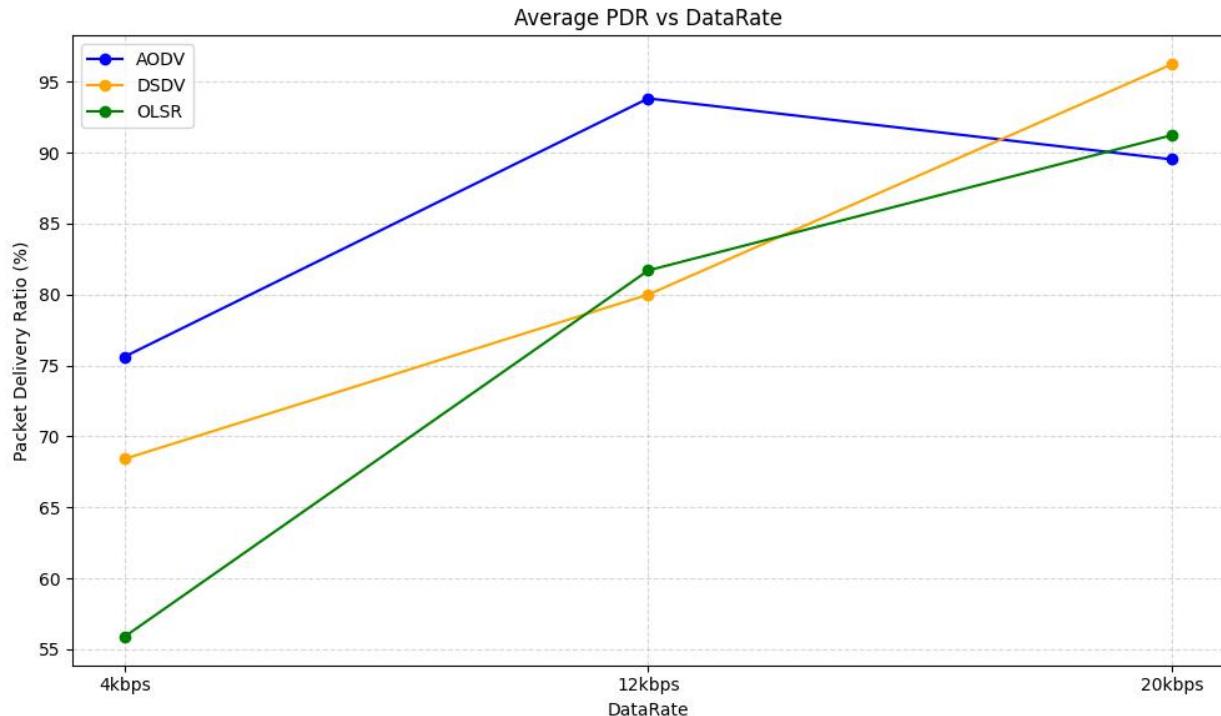
	<i>dead_nodes_OLSR_4kbps.csv</i>
2980	300,0
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0

	<i>dead_nodes_OLSR_12kbps.csv</i>
2980	300,0
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0
2993	300,0

	<i>dead_nodes_OLSR_20kbps.csv</i>
2980	300,0
2981	300,0
2982	300,0
2983	300,0
2984	300,0
2985	300,0
2986	300,0
2987	300,0
2988	300,0
2989	300,0
2990	300,0
2991	300,0
2992	300,0

3.3. Phân tích kết quả:

3.3.1. Tỷ lệ chuyển giao gói (Packet Delivery Ratio – PDR):

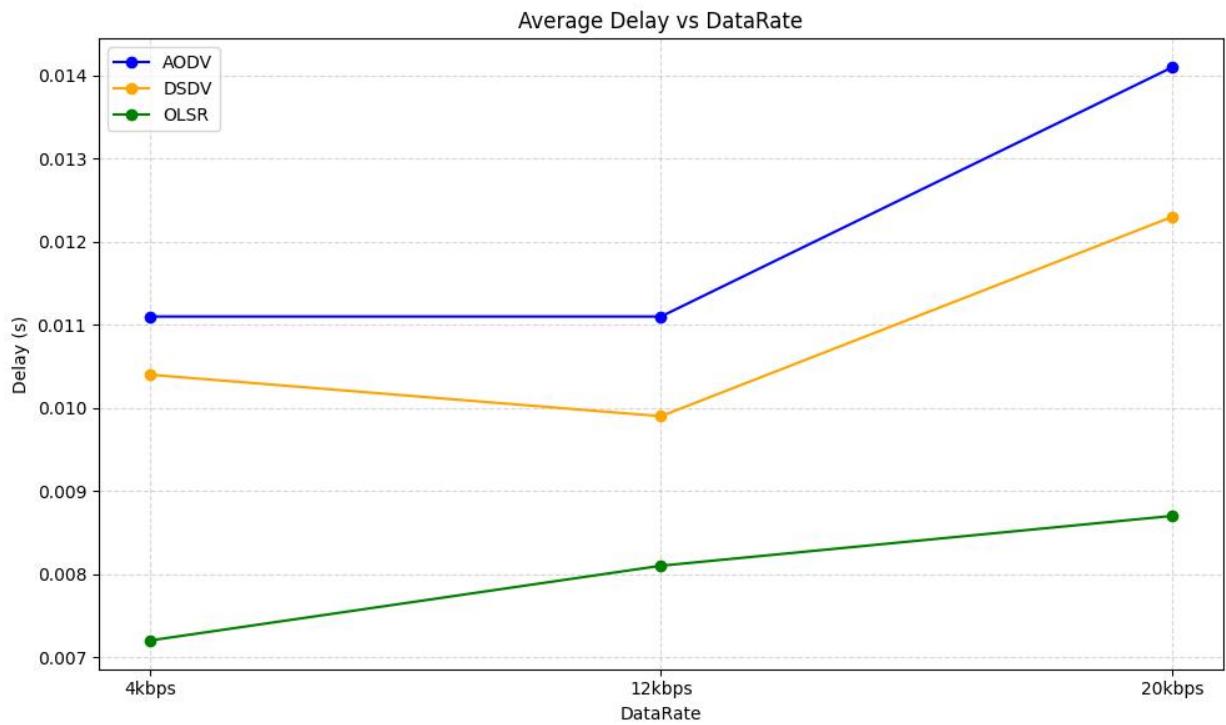


Hình 1: Biểu đồ tỷ lệ chuyển giao gói (PDR) theo tốc độ dữ liệu

Nhận xét:

- Khi tốc độ dữ liệu tăng từ 4 kbps → 20 kbps, PDR của cả 3 giao thức đều tăng, cho thấy mạng hoạt động hiệu quả hơn khi lưu lượng cao.
- AODV có PDR cao ở tốc độ trung bình, nhưng giảm nhẹ ở tốc độ cao.
- DSDV tăng đều và ổn định, đạt ≈ 90% ở 20 kbps.
- OLSR khởi đầu thấp nhưng tăng mạnh, đạt cao nhất ở tốc độ cao.

3.3.2. Độ trễ trung bình (Average Delay):

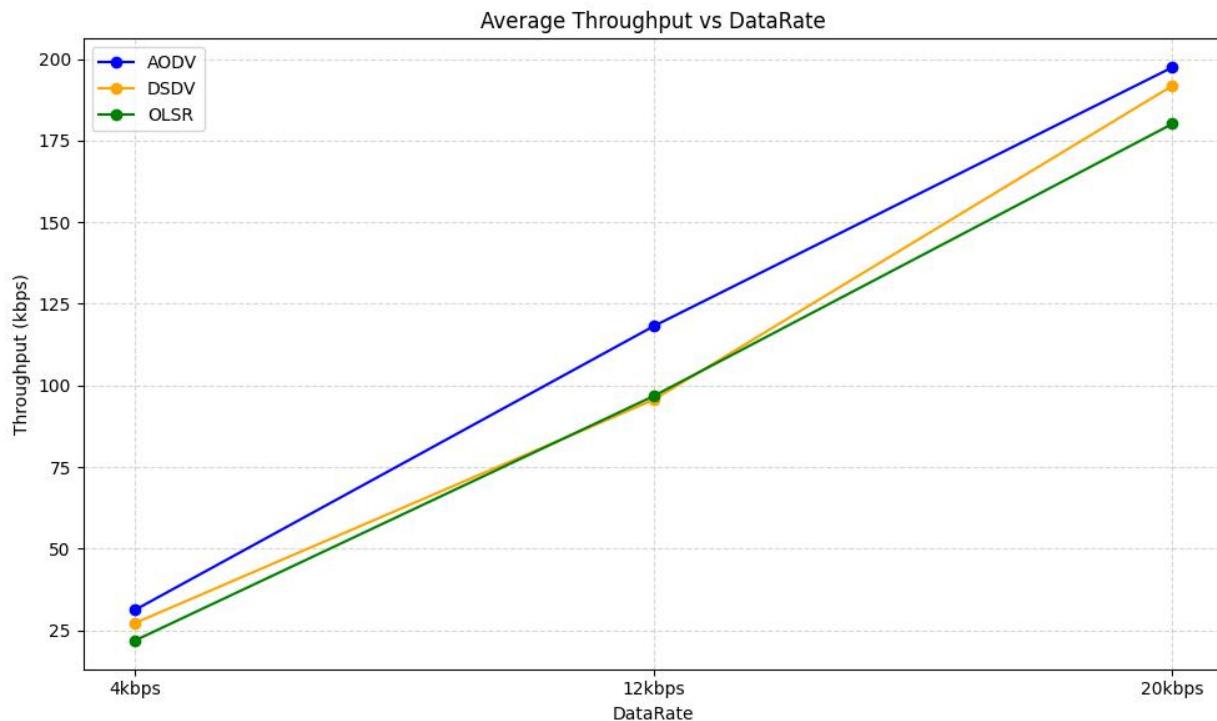


Hình 2: Biểu đồ độ trễ trung bình theo tốc độ dữ liệu

Nhận xét:

- Khi tốc độ dữ liệu tăng từ 4kbps → 20kbps, độ trễ trung bình của các giao thức có xu hướng tăng nhẹ, nhưng không đồng đều.
- AODV có độ trễ cao nhất ở mọi tốc độ, do phải thiết lập đường dẫn động mỗi khi cần truyền.
- DSDV có độ trễ thấp nhất ở tốc độ trung bình, nhưng tăng trở lại ở tốc độ cao.
- OLSR giữ độ trễ thấp và tăng đều, cho thấy sự ổn định.

3.3.3. Thông lượng (Throughput):

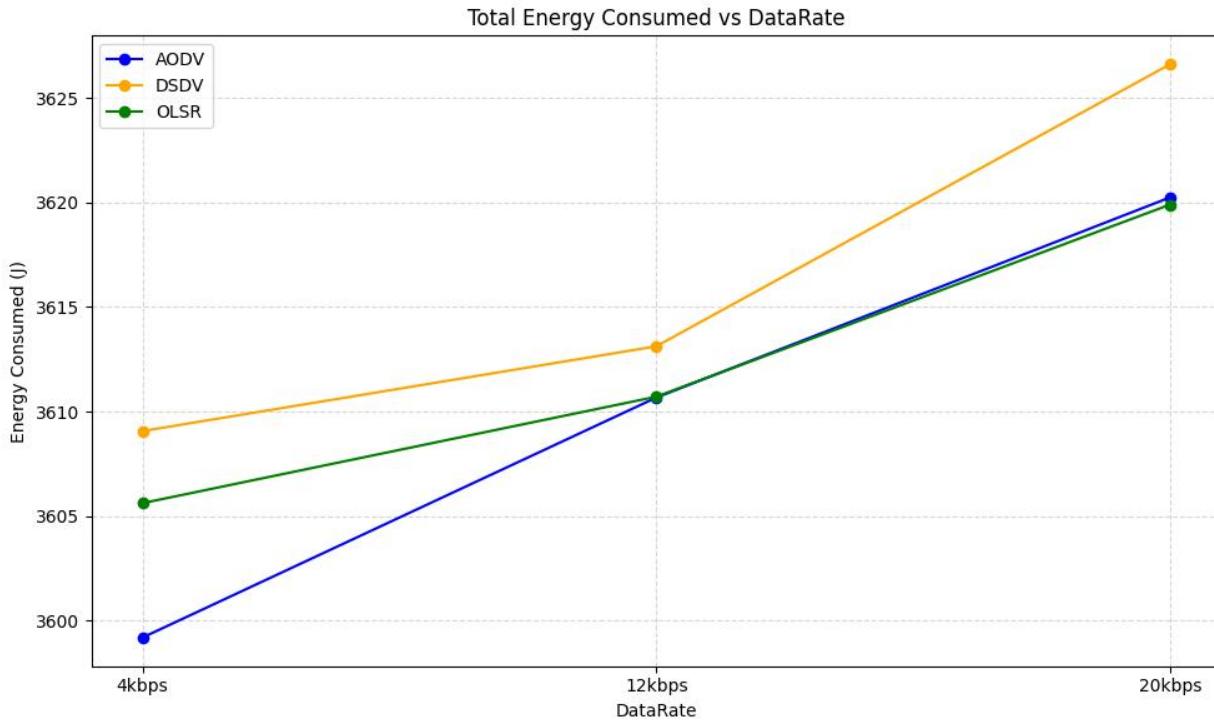


Hình 3: Biểu đồ thông lượng trung bình theo tốc độ dữ liệu

Nhận xét:

- Khi tốc độ dữ liệu tăng từ 44kbps → 20kbps, thông lượng trung bình cũng tăng ở cả 3 giao thức.
- AODV luôn đạt thông lượng cao nhất ở mọi tốc độ dữ liệu.
- DSDV cải thiện rõ rệt ở tốc độ cao, nhưng vẫn thấp hơn AODV.
- OLSR có thông lượng thấp nhất ở tốc độ cao, cho thấy hiệu suất truyền tải kém hơn.

3.3.4. Năng lượng tiêu thụ (Energy Consumption):



Hình 4: Biểu đồ tổng năng lượng tiêu thụ theo tốc độ dữ liệu

Nhận xét:

- Khi tốc độ dữ liệu tăng từ 4 kbps → 20 kbps tổng năng lượng tiêu thụ của cả 3 giao thức đều tăng dần.
- Điều này phản ánh đúng bản chất của mạng: tốc độ truyền cao hơn → số lượng gói nhiều hơn → hoạt động truyền nhận tăng → tiêu thụ năng lượng lớn hơn.
- DSDV có mức tiêu thụ năng lượng cao nhất ở tốc độ 20 kbps.
- AODV và OLSR có mức tiêu thụ tương đương, thấp hơn DSDV.
- Tại tốc độ thấp (4 kbps), cả 3 giao thức gần như không khác biệt đáng kể.

3.3.5. Số lượng node chết (Dead Nodes):

Trong toàn bộ các lần mô phỏng với ba giao thức AODV, DSDV và OLSR tại các tốc độ dữ liệu 4 kbps, 12 kbps và 20 kbps, không ghi nhận bất kỳ node nào bị chết năng lượng. Bởi vì:

- Năng lượng ban đầu được cấp cho mỗi node là 100 Joules, cao hơn nhiều so với mức tiêu thụ của các hoạt động truyền/nhận gói tin trong thời gian mô phỏng 300 giây.
- Mạng sử dụng chuẩn 802.11b với kích thước gói nhỏ (64 bytes), nên mức tiêu thụ năng lượng của mỗi node là tương đối thấp.
- Lưu lượng OnOff tuy liên tục nhưng không đủ lớn để gây ra hao hụt năng lượng đáng kể.

→ Thông số Dead Nodes = 0 cho tất cả các giao thức và tất cả các mức tốc độ dữ liệu.

3.3.6. Thời điểm node đầu tiên chết (First Node Death Time):

Vì không có node nào bị cạn năng lượng trong suốt 300 giây mô phỏng, nên thời điểm node đầu tiên chết không tồn tại. Điều này cho thấy:

- Tải truyền thông trong mô phỏng chưa đủ lớn để làm suy kiệt năng lượng của node.
- Các ba giao thức đều duy trì mức tiêu thụ năng lượng thấp, không gây ra chênh lệch đủ lớn dẫn đến việc node hết pin.
- Mô hình năng lượng (BasicEnergySource + WiFiRadioEnergyModel) hoạt động đúng và phản ánh rằng mức tiêu thụ thực tế của các node trong bối cảnh này là rất nhỏ so với nguồn năng lượng cung cấp.

3.4. Kết luận chung:

- AODV có hiệu suất truyền tải tốt nhưng độ trễ cao, không phù hợp với ứng dụng thời gian thực.
- DSDV có độ tin cậy tốt nhưng tiêu tốn năng lượng và không tối ưu về hiệu suất truyền tải.
- OLSR phù hợp với ứng dụng thời gian thực, yêu cầu độ tin cậy cao và tiết kiệm năng lượng.

4. KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

4.1. Kết luận

Nghiên cứu đã thực hiện mô phỏng và đánh giá hiệu năng của ba giao thức định tuyến AODV, DSDV và OLSR trong mạng cảm biến không dây (WSN) bằng công cụ NS-3, tập trung vào tiêu chí tiêu thụ năng lượng và hiệu quả truyền thông. Mô hình được xây dựng với các thành phần năng lượng BasicEnergySource và WiFiRadioEnergyModel, cho phép theo dõi chi tiết mức năng lượng còn lại của từng nút. Các chỉ số như tổng năng lượng tiêu thụ, thời điểm nút đầu tiên cạn năng lượng, PDR, throughput và độ trễ trung bình được ghi nhận và so sánh giữa các giao thức.

Kết quả mô phỏng cho thấy AODV có khả năng tiết kiệm năng lượng tốt trong điều kiện tải nhẹ, OLSR đạt hiệu suất truyền cao hơn nhưng tiêu thụ năng lượng lớn hơn do duy trì bảng định tuyến thường xuyên, trong khi DSDV thể hiện kết quả cân bằng giữa hai giao thức. Những phát hiện này góp phần hỗ trợ lựa chọn giao thức định tuyến phù hợp tùy theo yêu cầu cụ thể về tuổi thọ mạng hoặc độ tin cậy truyền dữ liệu trong các ứng dụng WSN.

4.2. Hạn chế

- Chỉ mô phỏng với số lượng node cố định, không xét đến di chuyển.
- Chưa đánh giá trong môi trường nhiễu hoặc mất gói.

4.3. Hướng phát triển

Trong tương lai, nghiên cứu có thể được mở rộng theo các hướng như: tích hợp thêm các giao thức định tuyến tiết kiệm năng lượng chuyên biệt (LEACH, PEGASIS, TEEN), mô hình hóa cơ chế ngủ/thức của nút cảm biến, hoặc khảo sát tác động của di động và mật độ mạng đến hiệu năng. Ngoài ra, việc ứng dụng các thuật toán học máy và tối ưu hóa trong lựa chọn tuyến cũng là hướng tiềm năng nhằm nâng cao hiệu quả năng lượng và độ tin cậy của mạng cảm biến không dây thế hệ mới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. <https://www.nsnam.org/docs/models/html/energy.html>
- [2]. <https://www.nsnam.org/docs/release/3.41/tutorial/ns-3-tutorial.pdf>