

ĐẠI HỌC ĐÀ NẴNG
TRƯỜNG ĐẠI HỌC BÁCH KHOA
KHOA ĐIỆN TỬ - VIỄN THÔNG

BÁO CÁO
LẬP TRÌNH MẠNG

TÊN ĐỀ TÀI: Mô phỏng VANET
sử dụng SUMO và NS-3

GVHD : Nguyễn Văn Hiếu

SINH VIÊN : Nguyễn Hữu Nam - 22KTMT2 - 106220262

Trần Đình Quang Nhật - 22KTMT2 - 106220265

Võ Hoàng Anh Vin - 22KTMT2 - 106220277

Đà Nẵng, 11/2025

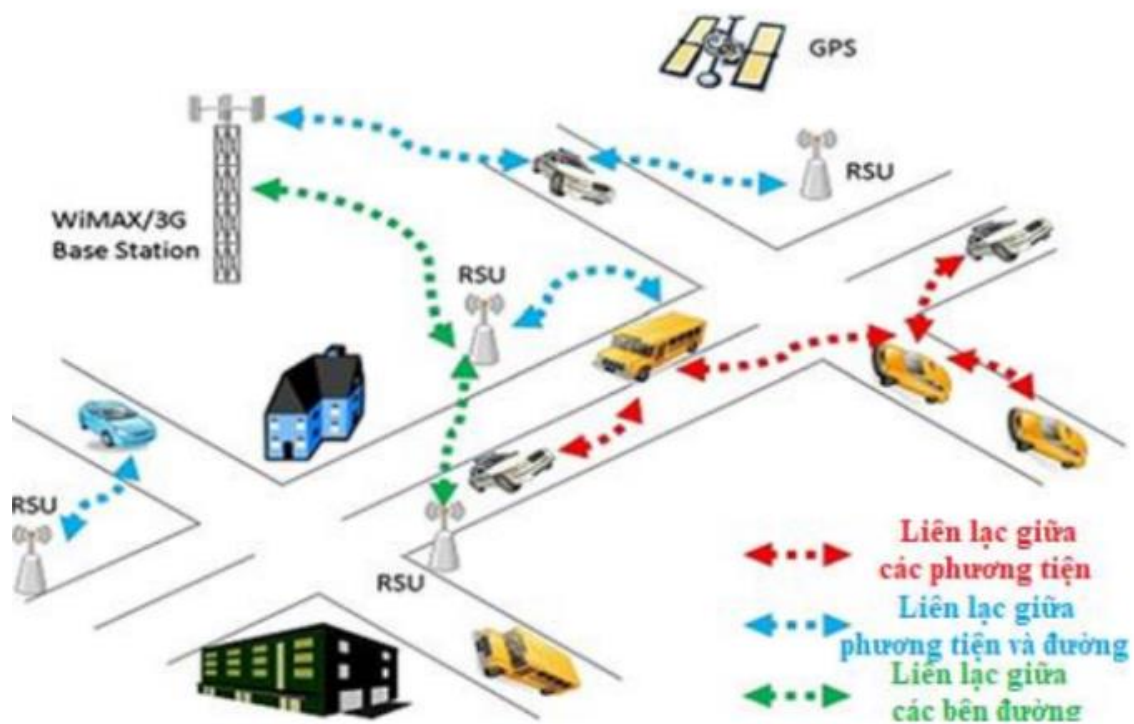
BẢNG PHÂN CÔNG NHIỆM VỤ:

Số thứ tự	Tên sinh viên	Nhiệm vụ:	Đóng góp (%)
1	Nguyễn Hữu Nam	Làm slide báo cáo và thuyết trình	33.33%
2	Trần Đình Quang Nhật	Mô phỏng và trích xuất dữ liệu	33.33%
3	Võ Hoàng Anh Vin	Làm mô phỏng, báo cáo và bảng tóm tắt	33.33%

I. Giới thiệu:

Mạng tùy biến giao thông (Vehicular Ad-Hoc Networks, VANET) được tạo ra và phát triển trong một vài năm trở lại đây ở nhiều thành phố lớn trên thế giới. Mạng VANET được bổ sung thêm các thông tin về tuyến đường, các phương tiện tham gia giao thông... và cho phép các phương tiện tham gia giao thông có thể giao tiếp thông qua môi trường không dây.

Mạng VANET được xem là mạng con của mạng MANET (Mobile Ad-Hoc Network), có thể thiết lập theo cách tự chủ mà không cần bất kỳ cơ sở hạ tầng nào được chuẩn bị trước. Tuy nhiên, VANET không hoàn toàn là mạng đặc biệt. Chúng có thể giao tiếp với cơ sở hạ tầng được gọi là Đơn vị bên đường (Road-side Unit, RSU). Những RSU này cung cấp quyền truy cập vào internet hoặc cơ sở dữ liệu cục bộ. Trong VANET, các phương tiện hoạt động như một bộ định tuyến để giao tiếp giữa chúng và sử dụng nhiều công nghệ không dây tiên tiến như Dedicated Short Range Communication (DSRC). Các DSRC này dành riêng cho giao tiếp từ Phương tiện với Phương tiện (V2V), Giao tiếp Phương tiện với Cơ sở hạ tầng (V2I) và Giao tiếp Kết hợp (Hình 1).



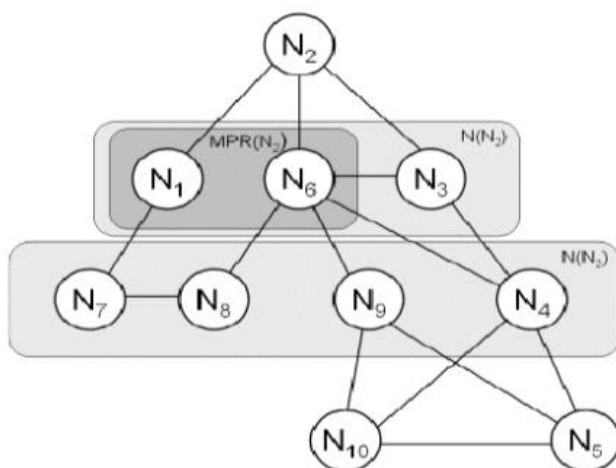
Hình 1: Kiến trúc mạng VANET

II. Giao thức định tuyến được sử dụng:

Khi các phương tiện di chuyển với vận tốc khác nhau và khác nhau vị trí đích, cấu trúc liên kết của VANET thường xuyên thay đổi và có tính di động cao. Lộ trình giao thức được yêu cầu để cung cấp các tuyến đường đến các gói mang thông tin định tuyến cũng như dữ liệu. VANET có ba giao thức định tuyến khác nhau DSDV, OLSR và AODV để thực hiện mô phỏng. Chúng tôi sử dụng OLSR để thực hiện mô phỏng.

OLSR (Optimized Link State Routing Protocol) là giao thức chủ ứng dựa trên thuật toán trạng thái kết nối (Link state). Các nút gửi định kỳ ra toàn mạng thông điệp “Hello” để trao đổi thông tin về lân cận. Thông tin này bao gồm IP của nút, số thứ tự và danh sách các thông tin khoảng cách của các nút lân cận. Sau khi cập nhật những thông tin này, nút xây dựng lên bảng định tuyến của nó và có cái nhìn tổng thể về toàn mạng. Dựa vào bảng định tuyến này, nó có thể tự tính được đường đi tới các nút khác dựa vào thuật toán tìm đường đi ngắn nhất. Khi một nút nhận được một gói tin trùng lặp với cùng số thứ tự nó sẽ loại bỏ gói tin này. Trong bảng định tuyến, nút lưu trữ thông tin định tuyến tới tất cả các nút khác trong mạng. Những thông tin này chỉ được cập nhật khi:

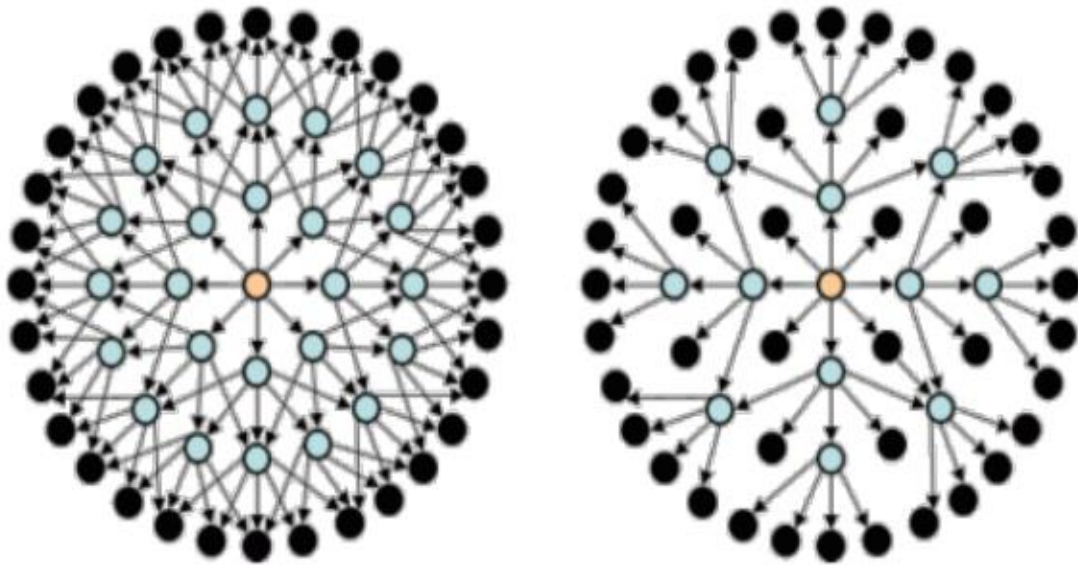
- Khi nút nhận thấy sự thay đổi trong quan hệ lân cận (ví dụ, mất liên kết đến nút lân cận).
- Tuyến đường tới các nút đích khác hết hạn (quá lâu không được cập nhật).
- Phát hiện ra đường đi mới ngắn hơn để tới đích.



Hình 2: Quy trình chuyển tiếp gói tin khi sử dụng kíp đa điểm – MPR

Ưu điểm đầu tiên của việc sử dụng kíp đa điểm (MPR) là việc giảm thiểu các thông điệp quảng bá phát tràn trong mạng, giúp cho băng thông được cải thiện

đáng kể. Ưu điểm tiếp theo là giảm được kích thước của gói tin "Hello" vì nó chỉ lưu trữ các thông tin liên quan tới các nút trong kíp đa điểm của nó.



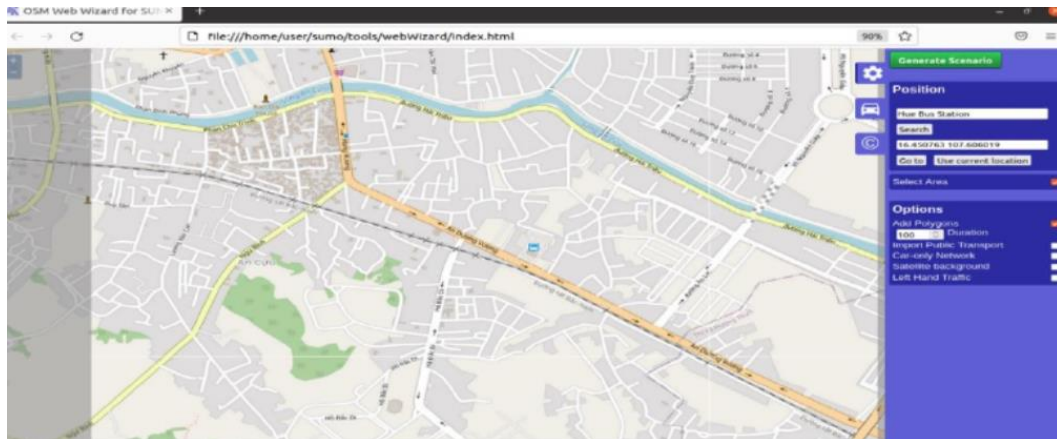
Hình 3: OLSR ngăn chặn vòng lặp bằng việc sử dụng MPR để chuyển phát gói tin

III. Mô hình mô phỏng và các tiêu chí đánh giá:

1. Mô hình mô phỏng:

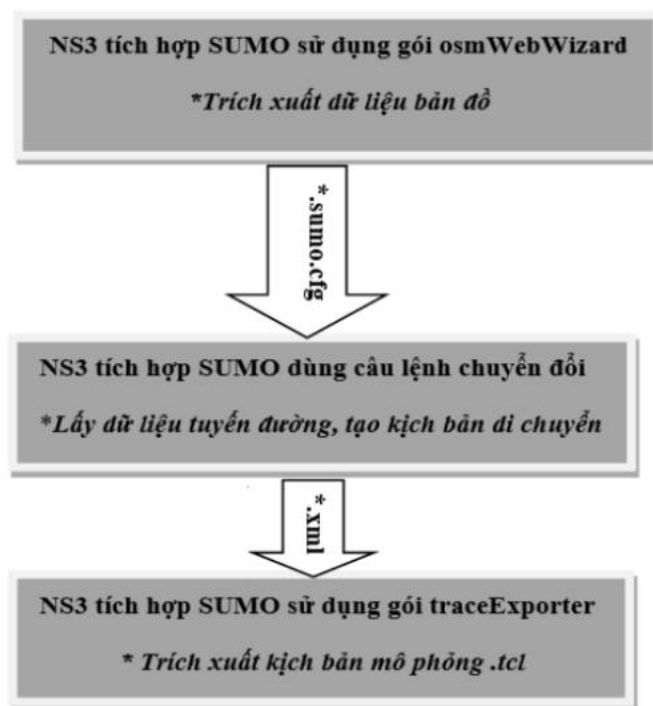
Để mô phỏng cho VANET, nhóm thiết kế mô hình di động. Nhóm sử dụng phần mềm SUMO được tích hợp trên phần mềm mô phỏng NS3 qua gói hỗ trợ để tạo ra các kịch bản di chuyển cho phương tiện giao thông trong một khu vực giao thông thực tế có tên gọi osmWebWizard.py. OSM cung cấp các dữ liệu địa lý do người dùng tải lên. Mô hình thực hiện qua các bước sau:

- Bước 1: Trong NS3, tích hợp phần mềm SUMO sử dụng gói osmWebWizard.py nhằm mô phỏng bản đồ dữ liệu các tuyến giao thông của một khu vực thực tại thành phố Huế được trích xuất qua trang Web Traffic cục bộ (Hình 4). Chọn khu vực, thời gian, số lượng phương tiện cần mô phỏng, download về file *.sumo.cfg để có thể chạy được mô phỏng trên phần mềm SUMO.
- Bước 2: Dữ liệu đầu ra trên được chuyển đổi lấy dữ liệu các tuyến đường, tạo kịch bản di chuyển của phương tiện trong bản đồ được lưu vào file *.xml.
- Bước 3: Gói python traceExporter được sử dụng để trích xuất ra kịch bản di chuyển của phương tiện lưu vào file *.tcl.



Hình 4: Lựa chọn trích xuất vị trí bản đồ cần mô phỏng thông qua web traffic

(Chi tiết các bước được trình bày trên Hình 5)



Hình 5: Các bước tiến hành mô phỏng mạng VANET trong NS3

2. Các tiêu chí đánh giá:

2.1 Tỷ lệ gói tin được gửi thành công (Packet Delivery Ratio - PDR):

- Định nghĩa: Là tỷ lệ phần trăm giữa tổng số gói dữ liệu nhận được thành công tại đích và tổng số gói dữ liệu đã gửi đi từ nguồn.

- Ý nghĩa: Đây là tiêu chí quan trọng để đánh giá độ tin cậy của giao thức định tuyến. PDR càng cao, giao thức càng hiệu quả trong việc tìm và duy trì các đường truyền ổn định, đặc biệt trong môi trường mạng di động cao như VANET.

2.2 Độ trễ đầu-cuối trung bình (Average End-to-End Delay - E2ED)

- Định nghĩa: Là thời gian trung bình mà một gói dữ liệu cần để đi từ nút nguồn đến nút đích.
- Ý nghĩa: Độ trễ bao gồm thời gian định tuyến, thời gian xếp hàng tại bộ đệm giao diện, thời gian truyền tải và thời gian truyền sóng. Trong VANET, độ trễ thấp là cực kỳ quan trọng đối với các ứng dụng an toàn và thời gian thực. OLSR là giao thức chủ động (proactive), thường có độ trễ định tuyến thấp hơn so với các giao thức phản ứng (reactive) vì các tuyến đường đã được duy trì sẵn.

2.3 Thông lượng (Throughput):

- Định nghĩa: Là tổng lượng dữ liệu hữu ích (Goodput) hoặc tổng lượng dữ liệu (bao gồm cả gói điều khiển và gói dữ liệu) được truyền thành công qua mạng trong một đơn vị thời gian (thường tính bằng Kbps hoặc Mbps).
 - + Goodput: Chỉ tính các gói dữ liệu ứng dụng được nhận thành công. Đây là chỉ số đánh giá thực tế hơn về hiệu suất truyền tải dữ liệu người dùng.
- Ý nghĩa: Thông lượng cao cho thấy khả năng truyền tải dữ liệu lớn của mạng trong một khoảng thời gian nhất định.

2.4 Tỷ lệ mất gói (Packet Loss Ratio - PLR):

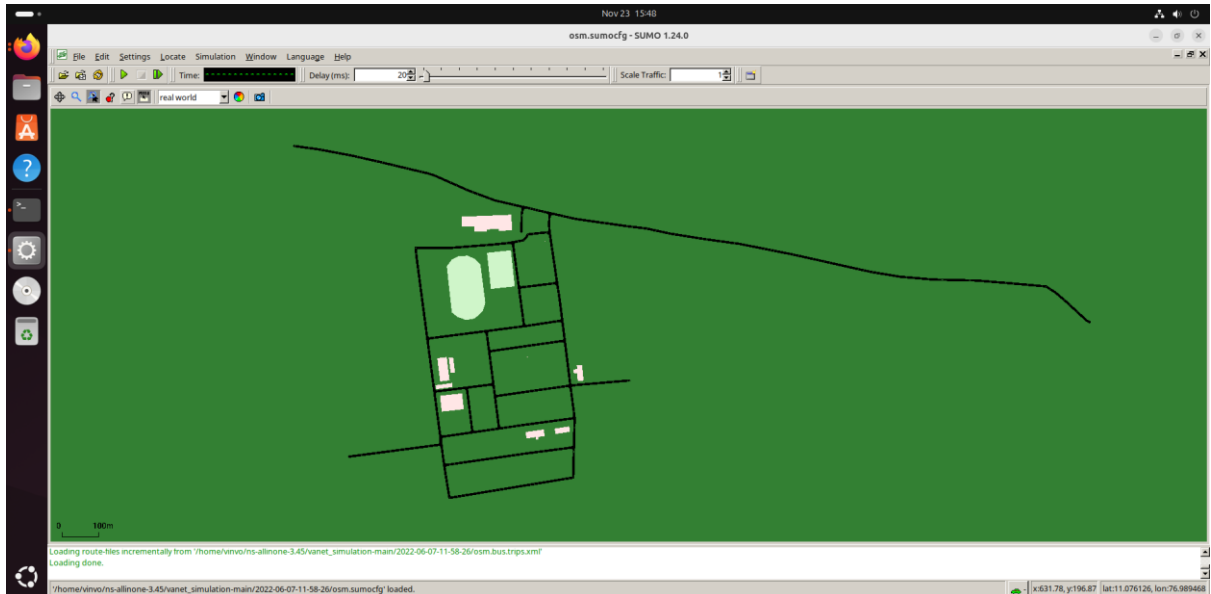
- Định nghĩa: Là tỷ lệ giữa tổng số gói bị mất hoặc bị loại bỏ so với tổng số gói đã gửi đi.
- Ý nghĩa: PLR là mặt đối lập của PDR, cho thấy mức độ không ổn định của liên kết và việc mất gói do va chạm, tắc nghẽn hoặc lỗi thời gian chờ định tuyến.

2.5 Độ biến động trễ (Jitter):

- Định nghĩa: Là sự biến thiên (dao động) của độ trễ đầu-cuối giữa các gói dữ liệu liên tiếp.
- Ý nghĩa: Jitter thấp rất quan trọng đối với các ứng dụng đa phương tiện hoặc các dịch vụ yêu cầu luồng dữ liệu liên tục, ổn định.

IV. Kịch bản mô phỏng và Phân tích kết quả:

1. Kịch bản mô phỏng:



Hình 6. Sơ đồ mô phỏng

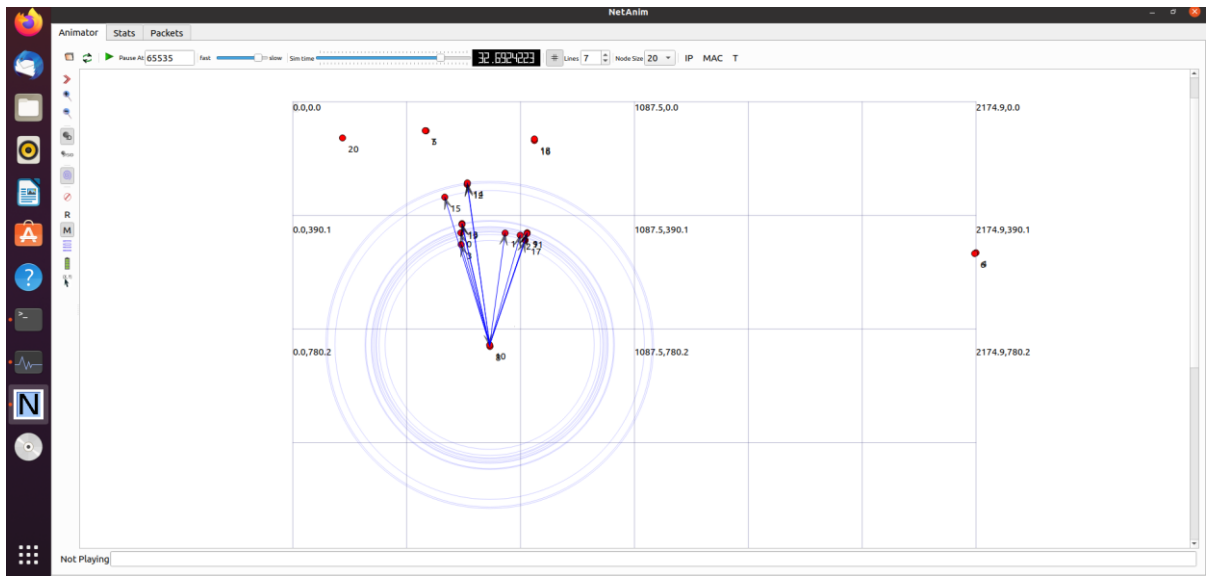
- **Thời gian Mô phỏng:** 10 giây.
- **Số lượng Nút (Xe):** 22 nút (xe).
- **Mô hình Di động:** osmWebWizard.py
- **Tốc độ:** 20 m/s, không có thời gian dừng.
- **Vùng Mô phỏng:** 300x1500 m.
- **WiFi:** 802.11p, truy cập liên tục vào Kênh Điều khiển (CH) 10 MHz.
- **Lưu lượng:**
 - + Tất cả các nút truyền một tin nhắn an toàn 200 byte (Basic Safety Message - BSM) 10 lần mỗi giây ở tốc độ 6 Mbps.
 - + Các nút tùy chọn định tuyến liên tục các gói 64 byte ở tốc độ ứng dụng 2.048 Kbps đến 10 nút được chọn làm nút nhận (sink nodes).
- **Công suất Phát:** 20 dBm, phạm vi truyền gói tin nhắn an toàn là 145 m.

2. Phân tích kết quả:

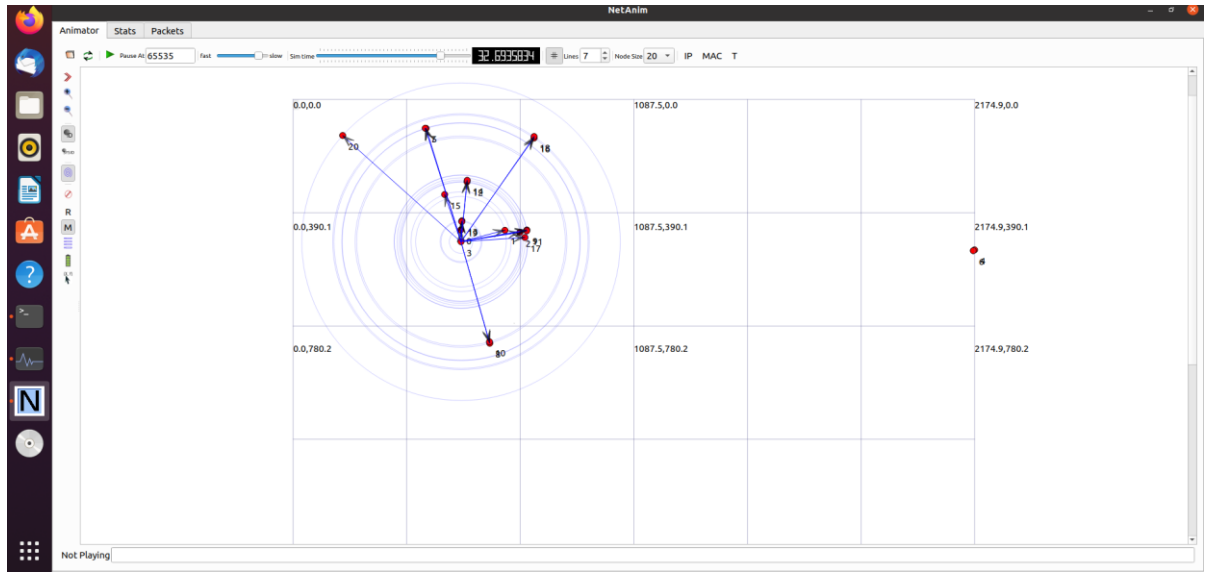
Để phân tích giao thức định tuyến trong Mạng lưới đặc biệt dành cho xe cộ, chúng tôi sử dụng một kịch bản về đường thẳng 300×1500 m. Giao thức định tuyến được sử dụng là OLSR. Mô phỏng được sử dụng cho phát 10 thông điệp 200 byte từ mỗi nút mỗi giây với tốc độ 6 Mbps.

Bảng 1: Trình bày các tham số mô phỏng sử dụng trong NS3.

Tên tham số	Giá trị thiết lập trong NS3
Giao thức sử dụng	OLSR
Số lượng phương tiện	22
Nguồn/ đích	ngẫu nhiên
Tốc độ các nút	20 m/s
Giao thức MAC	802.11p
Tổng thời gian mô phỏng	10s
Khu vực mô	300x1500



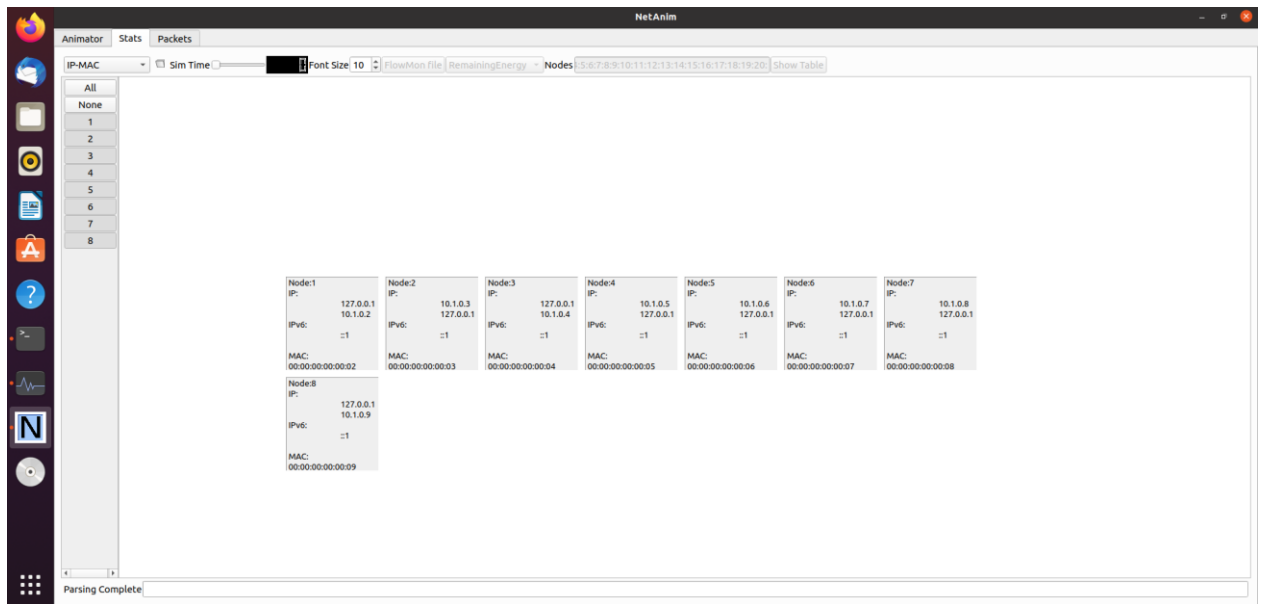
Hình 7



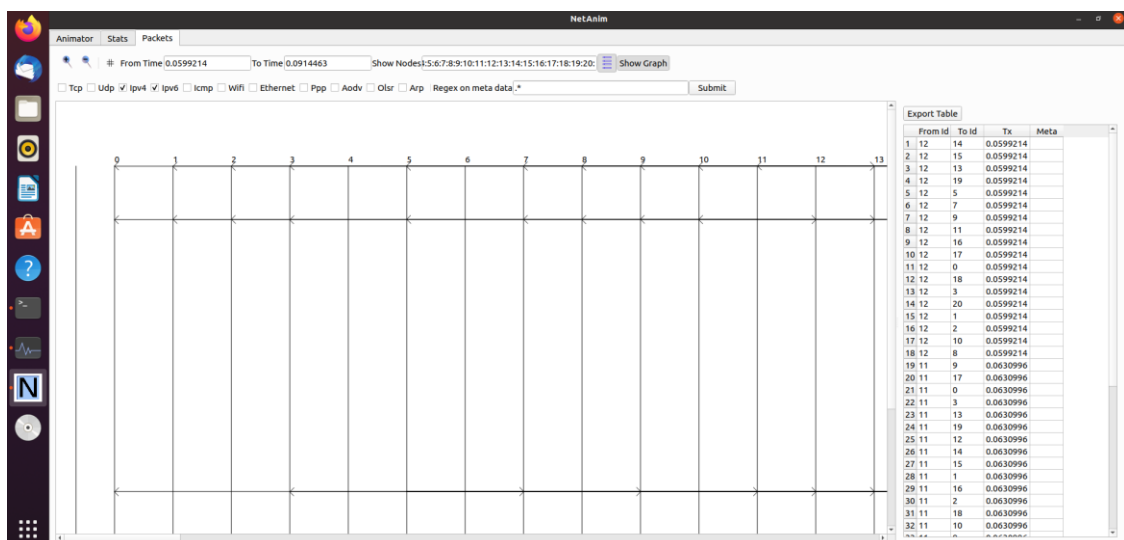
Hình 8

-Hình 7,8: Mô phỏng giao thức OLSR sử dụng cho phát 10 thông điệp 200 byte từ mỗi nút mỗi giây với tốc độ 6 Mbps.

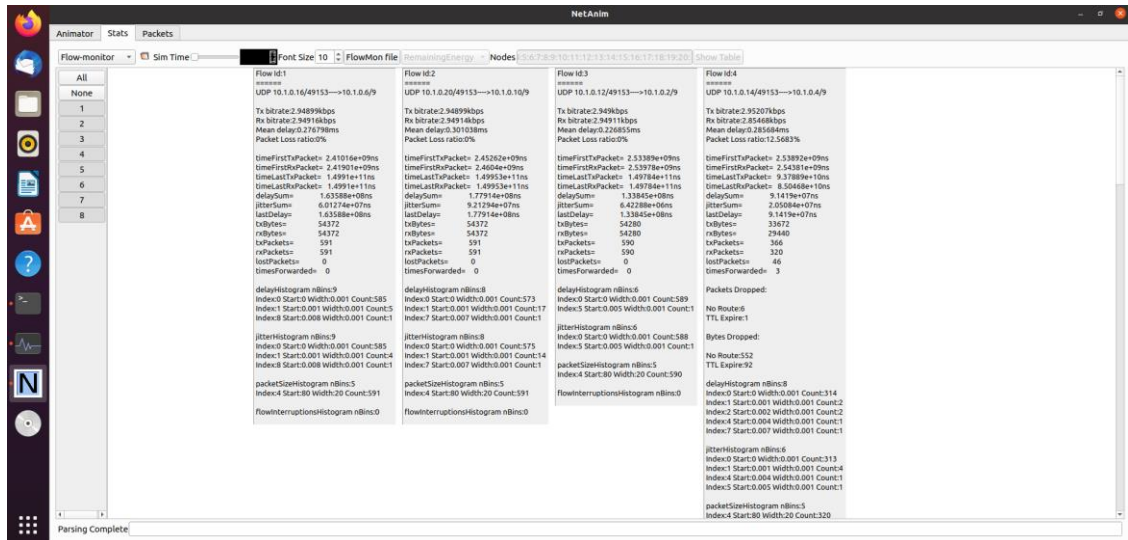
- Cơ chế: Mỗi nút trong mạng sẽ chọn một tập hợp các nút lân cận (Multi-Point Relays) có khả năng vươn tới được tất cả các nút lân cận hai bước của nó.
- Lợi ích: Bằng cách chỉ để các MPR chuyển tiếp thông điệp, mạng sẽ tránh được hiện tượng bão hòa (broadcast storm), từ đó giảm được MacPhyOverhead (tìm thấy trong file vanet2) và cải thiện hiệu suất tổng thể.



Hình 9. Hiển thị các Nút mạng và thông số Lớp 2/Lớp 3 (IP/IPv6/MAC) trên NetAnim



Hình 10. Sự kiện Truyền Gói và Định tuyến giữa các Nút mạng trong Mô phỏng NetAnim (Từ thời điểm 0.0914463)



Hình 11. Kết quả Mô phỏng: Các Chỉ số Thông lượng, Độ trễ và Mất gói cho từng Luồng Dữ liệu (Flow)

Phân tích và nhận xét:

❖ Tỷ lệ gói tin được gửi thành công (Packet Delivery Ratio - PDR):

Flow ID	1	2	3	4
Packet Delivery Ratio	100%	100%	100%	87,4317%

+ **Đánh giá và nhận xét:**

- PDR = 100%: Ba luồng đầu tiên đạt PDR tuyệt đối, nghĩa là mọi gói tin được gửi đều đến đích thành công mà không bị mất gói. Nhận xét: Đây là hiệu suất độ tin cậy lý tưởng (Optimal Reliability Performance). Nó chỉ ra rằng mạng có khả năng kết nối ổn định và không bị tắc nghẽn ở mức độ gây mất gói cho các luồng này. Giao thức định tuyến và kênh truyền tải hoạt động hoàn hảo trong điều kiện hoạt động của 3 luồng này.
- PDR \approx 87.43%: Luồng thứ tư có PDR giảm đáng kể, chỉ đạt khoảng 87,43%. Nhận xét: mạng không đáng tin cậy, với hơn 12% gói tin bị mất.

❖ Average End-to-End Delay – E2ED: Data từ hình 11

Flow ID	1	2	3	4
meanDelay(ms)	0,276798	0,301038	0,226855	0,285684

+ **Đánh giá và nhận xét:**

- Độ trễ trung bình từ đầu đến cuối của tất cả các luồng là cực kỳ thấp, dao động trong khoảng 0.22 ms đến 0.3 ms.

- Hiệu suất Vượt trội: Trong môi trường Mạng Ad-hoc Phương tiện (VANET), các ứng dụng an toàn yêu cầu độ trễ phải rất thấp (thường dưới 100 ms). Kết quả đạt được (dưới 0.3 ms) chứng tỏ mạng có khả năng đáp ứng thời gian thực lý tưởng cho việc truyền tải thông điệp an toàn (BSM).
- Mức độ Tin cậy: Độ trễ thấp của Flow ID 4 chỉ đại diện cho các gói tin được truyền thành công. Việc mất 46 gói tin (chiếm khoảng 12.5% tổng số gói gửi) cho thấy độ tin cậy từ đầu đến cuối (End-to-End Reliability) của luồng này là thấp. Điều này cảnh báo rằng giao thức định tuyến đang thất bại trong việc tìm kiếm hoặc duy trì tuyến đường cho luồng 4, và nếu vấn đề này không được khắc phục, nó có thể ảnh hưởng tiêu cực đến tính an toàn của các ứng dụng trong VANET.

❖ **Độ biến động trễ (Jitter): Data từ bảng 11**

- Flow id:1

- 585 gói tin có Jitter rất nhỏ (bắt đầu từ 0.001 giây).

⇒ Kết quả này cho thấy Jitter là rất thấp và ổn định.

- Flow id:2

- 573 gói tin có Jitter rất nhỏ.

⇒ Kết quả này cho thấy Jitter là rất thấp và ổn định.

- Flow id:3

- 589 gói tin có Jitter rất nhỏ.

⇒ Kết quả này cho thấy Jitter là rất thấp và ổn định.

- Flow id:4

- 313 gói tin có Jitter rất nhỏ.

⇒ Kết quả này cho thấy Jitter là rất thấp và ổn định.

+ **Đánh giá và nhận xét:** Jitter cực kỳ thấp và ổn định cho tất cả các luồng dữ liệu. Điều này rất quan trọng trong môi trường VANET, đặc biệt khi truyền các Thông điệp An toàn Cơ bản (BSM), vì nó đảm bảo rằng thông tin về vị trí và vận tốc của xe được cập nhật gần như đồng bộ và nhất quán theo thời gian. Mức Jitter thấp cho thấy mạng đang truyền tải dữ liệu một cách đáng tin cậy về mặt thời gian.

❖ **Thông lượng (Throughput): Data từ bảng 11**

Flow ID	1	2	3	4
Tx bitrate (Gửi)	2,9489 Mbps	2,9489 Mbps	2,9489 Mbps	2,9307 Mbps
Rx bitrate (Nhận)	2,9489 Mbps	2,9489 Mbps	2,9489 Mbps	2,9307 Mbps

+ **Đánh giá và nhận xét:**

- Throughput lý thuyết được thiết lập trong mô phỏng là khoảng **2.95 Mbps**.
- Các Flow ID 1, 2, và 3 đạt được Throughput tối đa, cho thấy mạng không bị tắc nghẽn đáng kể và hoạt động gần như lý tưởng đối với các luồng này.
- Flow ID 4 có Throughput nhận thấp hơn (2.9307 Mbps) do bị mất 40 gói tin, nhưng sự khác biệt này là nhỏ và Throughput vẫn được duy trì ở mức cao.

❖ **Tỷ lệ mất gói (Packet Loss Ratio - PLR): Data từ bảng 11**

Flow ID	1	2	3	4
Packet Loss Ratio	0%	0%	0%	12,5683%

+ **Đánh giá và nhận xét:**

- Flow ID 1, 2, và 3: Độ tin cậy Tuyệt đối.
 - $PLR = 0\%$: Cả ba luồng đều đạt hiệu suất tối ưu về mặt độ tin cậy. Số gói tin nhận được bằng số gói tin gửi đi, và không có gói tin nào bị rớt.
 - Nhận xét: Điều này cho thấy mạng cực kỳ ổn định và không bị tắc nghẽn ở mức độ gây ra mất gói trong phạm vi liên lạc của các luồng này. Độ tin cậy gần như hoàn hảo này là lý tưởng cho việc truyền tải thông điệp an toàn (BSM) trong VANET.
- Flow ID 4: có vấn đề nghiêm trọng về độ tin cậy với PLR thực tế khoảng 12.56%. Nhận xét: Tỷ lệ mất gói 12.56% là cao và không thể chấp nhận được đối với các ứng dụng an toàn trong VANET.

Mô tả các files kết quả lưu trữ:

Tên tệp	Loại tệp	Mô tả/Chức năng	Thông tin chính
vanet-routing.output2	spreadsheet	Dữ liệu đầu ra định tuyến VANET	BSM_PDR1, BSM_PDR2, BSM_PDR3...
vanetmobility.tcl	TCL script	Tập lệnh di chuyển NS-2/NS-3	Thiết lập vị trí và điểm đến (\$node_(X) set X_Y Z ...)
Vanetanim.xml	XML	Tập cấu hình/dữ liệu NetAnim	Khởi tạo 21 nút, cấu hình liên kết Wi-Fi
vanet2	spreadsheet	Dữ liệu đầu ra mô phỏng	ReceiveRate, PacketsReceived, RoutingProtocol...
osm.netccfg.xml	XML	Cấu hình netconvert (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO netconvert v1_13_0+
osm.polycfg.xml	XML	Cấu hình polyconvert (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO polyconvert
osm.passenger.trips.xml	XML	Tuyến đường xe khách (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO duarouter v1_13_0+
osm.truck.trips.xml	XML	Tuyến đường xe tải (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO duarouter v1_13_0+
vanet.log	Document	Nhật ký di chuyển/vận tốc	Ghi lại vị trí và vận tốc theo thời gian (+0.0ns POS: x=..., y=...)
osm.motorcycle.trips.xml	XML	Tuyến đường xe máy (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO duarouter v1_13_0+
build.bat	Shell script	Tập lệnh tạo chuyển đi	Sử dụng randomTrips.py của SUMO để tạo chuyển đi

osm.net.xml	XML	Tập mạng lưới đường phố (SUMO)	Bao gồm các loại đường (highway.motorway, highway.residential)
vanettrace.xml	XML	Dữ liệu theo dõi FCD (SUMO)	Theo dõi vị trí, góc, loại xe, tốc độ theo timestep
osm.bus.trips.xml	XML	Tuyến đường xe buýt (SUMO)	Được tạo bởi Eclipse SUMO duarouter v1.13.0+
osm.poly.xml	XML	Dữ liệu đa giác bổ sung (SUMO)	Bao gồm vị trí mạng lưới, ranh giới
osm.sumocfg.xml	XML	Cấu hình SUMO	Tập cấu hình chính cho mô phỏng SUMO
osm_bbox.osm.xml	XML	Dữ liệu OpenStreetMap	Bao gồm các nút (node) và thẻ (tag) cho địa điểm
osm.view.xml	XML	Cài đặt xem SUMO-GUI	Cài đặt hiển thị cho giao diện đồ họa SUMO

V. Kết luận:

Báo cáo này đã trình bày quá trình Mô phỏng Mạng Tùy biến Giao thông (VANET) sử dụng sự kết hợp của SUMO (để tạo mô hình di động thực tế) và NS-3 (để mô phỏng giao thức định tuyến OLSR).

Các tiêu chí đánh giá chính (PDR, E2ED, Throughput, Jitter) đã cung cấp bức tranh rõ ràng về khả năng của giao thức OLSR (Optimized Link State Routing) trong môi trường có tính di động cao và tải lưu lượng BSM (Basic Safety Message) liên tục.

1. Thành công về Hiệu suất Kênh (Channel Performance Success)

Các luồng dữ liệu (Flow ID 1, 2, 3) đại diện cho phần lớn hoạt động mạng đã đạt được hiệu suất lý tưởng:

- Thông lượng (Throughput) Cao: Tốc độ nhận đạt 2.95 Mbps, chứng minh khả năng xử lý luồng dữ liệu lớn mà không bị tắc nghẽn.
- Độ Trễ (E2ED) Cực thấp: Độ trễ trung bình chỉ 0.22 ms đến 0.3 ms, thấp hơn rất nhiều so với yêu cầu 100 ms cho các ứng dụng an toàn VANET.

- Jitter (Độ biến động Trễ) Ổn định: Jitter được ghi nhận là rất thấp, đảm bảo tính nhất quán và đồng bộ của các thông điệp an toàn theo thời gian.

2. Thách thức về Độ tin cậy Định tuyến (Routing Reliability Challenges)

Mặc dù có hiệu suất kênh tuyệt vời, kết quả của Flow ID 4 đã bộc lộ điểm yếu quan trọng của giao thức OLSR trong một số điều kiện nhất định của mạng:

- Độ tin cậy Kém: Flow ID 4 có Tỷ lệ Mất gói (PLR) thực tế là 12.56%, dẫn đến Tỷ lệ Giao gói thành công (PDR) chỉ đạt 87.43%.
- Nguyên nhân Gốc rễ: Mất gói được xác định là do lỗi định tuyến (TTL Expire và No Route Dropped), cho thấy OLSR đã thất bại trong việc thiết lập và duy trì tuyến đường đa chặng hoặc tuyến đường dài cho luồng này.