

# Mạng VANET trong giao thông thông minh: Tổng quan, so sánh giao thức và định hướng ứng dụng tại Việt Nam

<sup>1</sup>TS. Nguyễn Đức Bắc

<sup>1</sup>Trường Đại học Xây dựng Hà Nội  
Email: bacnd@huce.edu.vn

Ngày nhận bài: 18/3/2025

<sup>2</sup>Hà Quỳnh Nga

<sup>2</sup>Trường Đại học Xây dựng Hà Nội  
Email: 0233368@st.huce.edu.vn

Ngày chấp nhận đăng: 9/4/2026

**Tóm tắt** - Mạng tùy biến di động dành cho phương tiện giao thông VANET là một thành phần quan trọng trong hệ thống giao thông thông minh (ITS), cho phép các phương tiện trao đổi thông tin trực tiếp theo thời gian thực mà không phụ thuộc vào hạ tầng mạng cố định. Bài báo này trình bày tổng quan về kiến trúc, nguyên lý hoạt động và các đặc điểm cơ bản của mạng VANET; đồng thời phân tích các nhóm giao thức định tuyến phổ biến được thiết kế cho môi trường mạng có tốc độ di chuyển cao và cấu trúc topology thay đổi nhanh. Bên cạnh đó, các thách thức kỹ thuật chủ yếu của VANET, bao gồm độ trễ truyền thông, khả năng mở rộng, duy trì kết nối và các vấn đề về bảo mật, cũng được thảo luận. Bài báo tiếp tục giới thiệu các nhóm ứng dụng điển hình của VANET trong giao thông đường bộ, như cảnh báo an toàn, tối ưu hóa luồng phương tiện, chia sẻ thông tin sự cố và hỗ trợ điều khiển giao thông thông minh. Trên cơ sở tổng hợp và phân tích các nghiên cứu hiện có, bài báo làm rõ các xu hướng phát triển và định hướng nghiên cứu trong tương lai, nhằm nâng cao độ tin cậy, an toàn và hiệu quả của hệ thống VANET trong bối cảnh triển khai giao thông thông minh tại Việt Nam.

**Từ khóa** - VANET; mạng tùy biến di động; ITS; định tuyến ad-hoc; V2V/V2I; an toàn giao thông.

## 1. GIỚI THIỆU CHUNG

Trong bối cảnh phát triển mạnh mẽ của hệ thống giao thông thông minh (ITS - Intelligent Transportation Systems), nhu cầu trao đổi thông tin thời gian thực giữa các phương tiện và hạ tầng giao thông ngày càng trở nên thiết yếu nhằm nâng cao an toàn, giảm ùn tắc và tối ưu hóa dòng phương tiện. Một trong những công nghệ cốt lõi đáp ứng yêu cầu này là mạng tùy biến di động dành cho phương tiện giao thông, hay VANET (Vehicular Ad-hoc Network) [1-2]. Khác với các mạng truyền thông phụ thuộc vào hạ tầng cố định, VANET cho phép các phương tiện tự tổ chức mạng, thiết lập kết nối và truyền thông trực tiếp thông qua mô hình V2V (Vehicle-to-Vehicle) và V2I (Vehicle-to-Infrastructure) mà không cần bộ định tuyến trung tâm.

Về bản chất, VANET kế thừa tính linh hoạt của MANET nhưng lại sở hữu nhiều đặc thù riêng như tốc độ di chuyển cao, mật độ nút thay đổi liên tục và yêu cầu độ trễ truyền thông rất thấp. Các yếu tố này làm cho cấu trúc

mạng biến động mạnh theo thời gian, đặt ra thách thức lớn đối với thiết kế giao thức định tuyến, quản lý tài nguyên và đảm bảo chất lượng dịch vụ trong môi trường giao thông thực tế. Cùng với sự phát triển của công nghệ cảm biến, GPS, radar ô tô và truyền thông không dây thế hệ mới, VANET ngày càng chứng tỏ vai trò quan trọng trong các ứng dụng hỗ trợ lái xe an toàn, cảnh báo va chạm, chia sẻ thông tin sự cố, điều khiển tín hiệu giao thông thông minh và tiến tới xe tự hành.

Trong những năm gần đây, nhiều nghiên cứu đã tập trung vào các vấn đề cốt lõi của VANET, bao gồm tối ưu hóa định tuyến, nâng cao độ tin cậy truyền thông, đảm bảo an toàn thông tin và triển khai các mô hình giao tiếp V2X trong các điều kiện giao thông khác nhau. Tuy nhiên, các nghiên cứu tổng quan hiện có chủ yếu dừng lại ở việc mô tả riêng lẻ từng khía cạnh, thiếu sự tổng hợp có hệ thống giữa kiến trúc mạng, phân loại giao thức định tuyến và các ứng dụng thực tiễn. Đặc biệt, việc phân tích và định hướng ứng dụng VANET trong bối cảnh giao thông tại Việt Nam còn hạn chế.

Xuất phát từ nhu cầu đó, bài báo này nhằm cung cấp một cái nhìn tổng quan có hệ thống về mạng VANET và các ứng dụng trong giao thông đường bộ. Các nội dung chính bao gồm phân tích kiến trúc mạng, đặc điểm kỹ thuật, phân loại và so sánh các nhóm giao thức định tuyến, cũng như đánh giá các thách thức trong triển khai thực tế. Trên cơ sở đó, bài báo đề xuất một số định hướng nghiên cứu và ứng dụng VANET phù hợp với điều kiện giao thông tại Việt Nam.

Đóng góp chính của bài báo bao gồm:

- Tổng hợp và hệ thống hóa các kiến thức về mạng VANET theo hướng logic và cập nhật;
- Phân loại và so sánh các nhóm giao thức định tuyến trong các kịch bản giao thông khác nhau;
- Phân tích các thách thức kỹ thuật trong triển khai VANET;
- Đề xuất định hướng nghiên cứu và ứng dụng VANET trong bối cảnh giao thông tại Việt Nam.

Bài báo được thực hiện theo phương pháp tổng quan tài liệu có hệ thống. Các tài liệu được lựa chọn từ các cơ sở dữ liệu khoa học uy tín như IEEE, Elsevier và Springer,

với thời gian công bố chủ yếu trong giai đoạn 2015 - 2025 nhằm đảm bảo tính cập nhật. Các tài liệu được phân loại theo các chủ đề chính như kiến trúc mạng, giao thức định tuyến, ứng dụng và thách thức kỹ thuật. Trên cơ sở đó, bài báo tiến hành phân tích, so sánh và tổng hợp nhằm rút ra các nhận định và định hướng nghiên cứu.

Phần còn lại của bài báo được tổ chức như sau: Mục 2 trình bày tổng quan về kiến trúc, đặc điểm và các thách thức của mạng VANET. Mục 3 giới thiệu và so sánh các nhóm giao thức định tuyến. Mục 4 phân tích các ứng dụng tiêu biểu của VANET trong giao thông đường bộ. Cuối cùng, Mục 5 trình bày kết luận và định hướng nghiên cứu của bài báo.

## 2. TỔNG QUAN VỀ MẠNG VANET

Phần này trình bày tổng quan về mạng VANET bao gồm khái niệm, kiến trúc, đặc điểm kỹ thuật và các thách thức trong triển khai. Nội dung nhằm cung cấp cơ sở cho việc phân tích các giao thức định tuyến và ứng dụng trong các phần tiếp theo.

### 2.1. Khái niệm và đặc điểm chung

Mạng tùy biến di động dành cho phương tiện giao thông (VANET - Vehicular Ad-hoc Network) là một nhánh chuyên biệt của MANET, trong đó các phương tiện đóng vai trò như những nút mạng di động có khả năng tự thiết lập, duy trì và mở rộng kết nối truyền thông không dây mà không cần hạ tầng cố định hỗ trợ. Các nút trong VANET bao gồm phương tiện giao thông, các trạm ven đường (RSU - Roadside Unit) và các thiết bị thông minh được bố trí trên hạ tầng giao thông. Nhờ cơ chế tự tổ chức, mỗi nút có thể gửi, nhận và chuyển tiếp dữ liệu đến các nút khác một cách linh hoạt, phục vụ các mô hình giao tiếp V2V, V2I và V2X.

Do đặc thù di chuyển với tốc độ cao và môi trường giao thông biến động liên tục, cấu trúc mạng của VANET thay đổi nhanh theo thời gian. Sự biến thiên về mật độ phương tiện, hướng di chuyển, điều kiện mặt đường, vật cản đô thị và đặc tính lan truyền sóng khiến VANET trở thành một hệ thống có tính động mạnh hơn nhiều so với MANET. Điều này đòi hỏi các giao thức định tuyến phải có khả năng thích ứng nhanh, cập nhật đường đi kịp thời và duy trì độ ổn định trong điều kiện cấu trúc liên kết mạng thay đổi liên tục [3].

Bên cạnh tính động cao, VANET còn đặt ra yêu cầu kỹ thuật nghiêm ngặt về độ trễ truyền thông, tính tin cậy và khả năng trao đổi dữ liệu theo thời gian thực. Các ứng dụng an toàn giao thông - như cảnh báo va chạm, cảnh báo phanh gấp hay hỗ trợ chuyển làn - yêu cầu thông điệp phải được truyền đi trong vài mili-giây, với tỷ lệ mất gói thấp và độ tin cậy cao. Đồng thời, sự không đồng nhất về thiết bị trên các phương tiện (GPS, radar, camera, OBU) cũng làm tăng mức độ phức tạp trong quản lý mạng và tối ưu tài nguyên.

Nhờ khả năng tự tổ chức linh hoạt, thích ứng với môi trường giao thông và đáp ứng yêu cầu thời gian thực,

VANET được xem là nền tảng quan trọng của các hệ thống ITS hiện đại, hỗ trợ quá trình chuyển đổi sang giao thông thông minh và xe tự hành.

Những đặc điểm này cho thấy VANET có các yêu cầu kỹ thuật riêng biệt so với MANET, đòi hỏi các giải pháp định tuyến và quản lý mạng chuyên biệt.

### 2.2. Kiến trúc và mô hình hoạt động

Kiến trúc mạng VANET thường được mô tả dựa trên hai mô hình truyền thông chính [4], tương ứng với cách thức phương tiện trao đổi dữ liệu trong môi trường giao thông.

#### Mô hình V2V

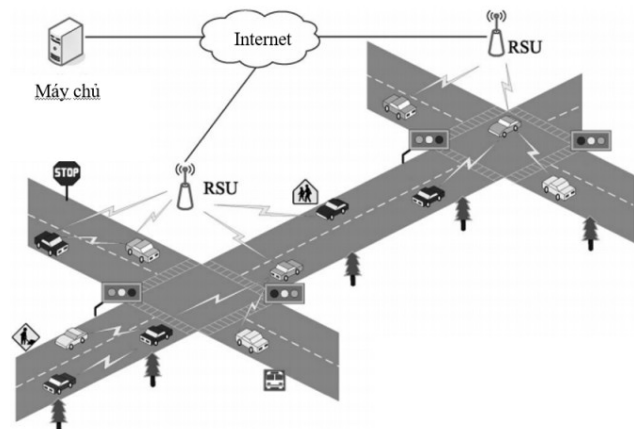
Trong mô hình này, các phương tiện giao tiếp trực tiếp với nhau mà không cần thông qua trạm trung gian. V2V cho phép xe trao đổi các thông điệp ngắn chứa thông tin về vị trí, tốc độ, hướng di chuyển, trạng thái phanh hay các cảnh báo nguy hiểm. Nhờ khả năng truyền thông tức thời giữa các phương tiện, mô hình V2V giúp giảm nguy cơ va chạm, hỗ trợ lái xe an toàn và nâng cao hiệu quả điều khiển phương tiện trong điều kiện giao thông phức tạp.

#### Mô hình V2I

Trong mô hình V2I, phương tiện giao tiếp với các trạm ven đường, các RSU này đóng vai trò thu phát và cung cấp dữ liệu từ hạ tầng giao thông, như tín hiệu đèn giao thông, điều kiện mặt đường, giới hạn tốc độ hoặc thông tin từ trung tâm điều khiển giao thông. Mô hình này đóng vai trò quan trọng trong hệ thống giao thông thông minh, cho phép cập nhật thông tin thời gian thực và hỗ trợ điều phối luồng phương tiện.

Trong các hệ thống hiện đại, hai mô hình trên thường được tích hợp và mở rộng thành V2X, hướng tới khả năng kết nối toàn diện giữa phương tiện - hạ tầng - người tham gia giao thông - trung tâm điều khiển. Mạng V2X là nền tảng quan trọng phục vụ xe tự hành, điều khiển giao thông thông minh và triển khai ITS ở quy mô lớn.

Hình 1 mô tả kiến trúc mạng VANET hai tầng, kết hợp đồng thời mô hình V2V và V2I thông qua các phương tiện, trạm RSU và kết nối tới trung tâm quản lý qua Internet.



Hình 1. Mô hình mạng VANET hai tầng.

Việc kết hợp các mô hình V2V và V2I giúp nâng cao hiệu quả truyền thông và độ tin cậy của hệ thống trong các điều kiện giao thông khác nhau.

### 2.3. Đặc điểm kỹ thuật của VANET

VANET có một số đặc điểm kỹ thuật nổi bật so với mạng MANET truyền thống [5], tạo nên các yêu cầu đặc thù trong thiết kế định tuyến và quản lý mạng:

#### *Tốc độ di chuyển cao*

Các nút mạng (phương tiện) có thể di chuyển với tốc độ 40–120 km/h, dẫn đến sự thay đổi liên tục trong cấu trúc liên kết mạng. Tốc độ cao làm cho thời gian duy trì kết nối giữa các nút rất ngắn, gây khó khăn cho việc thiết lập và bảo đảm ổn định các tuyến truyền thông.

#### *Mật độ phương tiện thay đổi mạnh theo thời gian và không gian*

Ở khu vực nội đô, mật độ phương tiện thường rất lớn, trong khi tại đường cao tốc hoặc vùng ngoại ô, mật độ lại thấp và phân bố không đều. Sự biến động này ảnh hưởng trực tiếp đến khả năng truyền thông, độ trễ và thông lượng của mạng.

#### *Yêu cầu độ trễ rất thấp*

Các thông điệp an toàn phải được truyền trong vài mili-giây để đảm bảo hiệu quả cảnh báo va chạm, phanh gấp hoặc các tình huống nguy hiểm khác. Điều này đòi hỏi giao thức truyền thông phải có độ tin cậy cao và khả năng phản hồi nhanh.

#### *Phạm vi kết nối lớn*

Các công nghệ truyền thông chuyên dụng như DSRC (Dedicated Short-Range Communications) hoặc IEEE 802.11p, và truyền thông di động C-V2X (Cellular Vehicle-to-Everything) hỗ trợ phạm vi kết nối từ 300 đến 1.000 m, cho phép trao đổi thông tin giữa nhiều phương tiện trong khu vực rộng.

#### *Tính không đồng nhất về thiết bị và năng lực xử lý*

Phương tiện có thể được trang bị các loại cảm biến và thiết bị khác nhau như GPS, radar, camera hoặc bộ điều khiển OBU. Sự không đồng nhất này dẫn đến khác biệt về khả năng xử lý, năng lực truyền thông và mức độ tin cậy giữa các nút mạng.

Các đặc điểm trên đặt ra yêu cầu đặc biệt cho thiết kế giao thức định tuyến, bảo mật thông tin và quản lý tài nguyên trong VANET. Độ động cao của mạng, kết hợp với yêu cầu truyền thông thời gian thực, khiến việc đảm bảo chất lượng dịch vụ trở thành thách thức then chốt khi triển khai thực tế.

Các đặc điểm kỹ thuật này là cơ sở quan trọng để đánh giá và lựa chọn các giao thức định tuyến phù hợp trong mạng VANET.

### 2.4. Các thách thức trong triển khai VANET

Mặc dù sở hữu nhiều ưu điểm trong truyền thông thời gian thực, việc triển khai VANET trong môi trường giao thông thực tế phải đối mặt với nhiều thách thức kỹ thuật phức tạp [6]. Các thách thức chính bao gồm:

#### *Biến động cấu trúc mạng liên tục*

Do các phương tiện di chuyển với tốc độ cao và thường xuyên thay đổi hướng, liên kết truyền thông giữa các nút mạng có thể bị mất trong thời gian rất ngắn. Điều này khiến cấu trúc liên kết mạng thay đổi liên tục, gây gián đoạn truyền thông và làm giảm hiệu quả của các giao thức định tuyến.

#### *Khả năng mở rộng mạng*

Trong môi trường có mật độ phương tiện lớn, số lượng thông điệp trao đổi giữa các xe tăng mạnh, đặc biệt là thông điệp an toàn được gửi định kỳ. Lượng trao đổi thông tin lớn có thể gây tắc nghẽn kênh truyền, làm tăng độ trễ và giảm độ tin cậy của hệ thống.

#### *Đảm bảo độ tin cậy và độ trễ thấp*

Các ứng dụng an toàn yêu cầu độ trễ truyền thông ở mức mili-giây. Tuy nhiên, nhiễu sóng, đa đường, vật cản trong đô thị và sự thay đổi nhanh của môi trường truyền sóng ảnh hưởng lớn đến độ tin cậy của liên kết. Việc đáp ứng đồng thời độ trễ thấp và độ tin cậy cao là thách thức trọng yếu của VANET.

#### *Bảo mật và quyền riêng tư*

VANET dễ bị tấn công như giả mạo vị trí, thay đổi thông tin, nghe lén hoặc tấn công từ chối dịch vụ. Các lỗ hổng bảo mật có thể gây hậu quả nghiêm trọng, đặc biệt trong các ứng dụng liên quan đến an toàn giao thông. Ngoài ra, việc chia sẻ dữ liệu vị trí liên tục tạo ra lo ngại về quyền riêng tư của người dùng.

#### *Sự đa dạng của môi trường giao thông*

Mỗi môi trường giao thông - đường cao tốc, khu vực đô thị, đường đèo núi hoặc hầm đường bộ - có đặc tính truyền sóng khác nhau. Tín hiệu vô tuyến có thể bị che khuất, phản xạ hoặc suy hao mạnh, khiến việc thiết kế giao thức định tuyến và quản lý tài nguyên phải thích ứng với nhiều kịch bản vận hành.

Tổng hợp lại, các thách thức trên cho thấy việc triển khai VANET đòi hỏi hệ thống phải có khả năng thích ứng cao, đảm bảo độ tin cậy, đồng thời tích hợp các cơ chế bảo mật và tối ưu hóa tài nguyên hiệu quả. Đây là những vấn đề còn mở và tiếp tục là hướng nghiên cứu quan trọng trong phát triển ITS và giao tiếp V2X.

Do đó, việc giải quyết các thách thức này là yếu tố then chốt để đảm bảo hiệu quả triển khai VANET trong thực tế.

### 2.5. Vai trò của VANET trong giao thông thông minh

VANET giữ vai trò trung tâm trong hệ thống giao thông thông minh ITS nhờ khả năng cung cấp thông tin thời gian thực giữa phương tiện và hạ tầng giao thông. Những vai trò quan trọng của VANET có thể được phân loại như sau:

#### *Tăng cường an toàn giao thông*

VANET hỗ trợ truyền tải tức thời các thông tin an toàn như cảnh báo va chạm, cảnh báo phanh gấp, nguy cơ trượt bánh hoặc vật cản trên đường. Nhờ đó, người lái có thêm thời gian phản ứng, giúp giảm đáng kể số vụ tai nạn và mức độ nghiêm trọng của sự cố.

**Hỗ trợ quản lý và điều phối giao thông đô thị**

Thông tin về mật độ phương tiện, tốc độ trung bình, tắc đường hoặc tai nạn được truyền theo thời gian thực, giúp cơ quan quản lý tối ưu hóa điều khiển đèn tín hiệu, phân luồng phương tiện và giảm ùn tắc tại các nút giao trọng điểm.

**Tối ưu hóa vận hành phương tiện**

Dựa trên dữ liệu từ hạ tầng và các phương tiện xung quanh, hệ thống có thể hướng dẫn người lái chọn tuyến đường tối ưu, giảm thời gian di chuyển, tiết kiệm nhiên liệu và hạn chế phát thải.

**Nền tảng cho các hệ thống hỗ trợ lái nâng cao và xe tự hành**

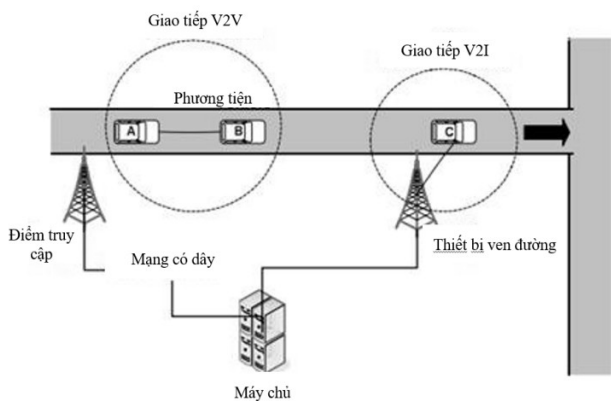
VANET cung cấp thông tin hỗ trợ cho cảm biến của xe hoặc camera, giúp các hệ thống hỗ trợ lái (ADAS) hoạt động chính xác hơn. Đây cũng là nền tảng quan trọng cho công nghệ xe tự hành trong tương lai, nơi phương tiện cần tương tác liên tục với môi trường xung quanh.

**Góp phần giảm phát thải và xây dựng giao thông bền vững**

Việc tối ưu hóa luồng phương tiện giúp giảm thời gian dừng chờ, giảm tiêu thụ nhiên liệu và hạn chế ô nhiễm khí thải, đóng góp vào mục tiêu phát triển giao thông xanh.

Nhờ những lợi ích trên, VANET được xem là một trong các công nghệ chủ chốt trong chiến lược phát triển giao thông thông minh ở nhiều quốc gia, bao gồm cả Việt Nam, đặc biệt trong bối cảnh đô thị hóa nhanh và nhu cầu quản lý giao thông ngày càng phức tạp.

Hình 2 minh họa một hệ thống VANET điển hình, trong đó phương tiện, trạm ven đường và trung tâm điều khiển phối hợp trao đổi thông tin nhằm nâng cao an toàn và hiệu quả vận hành giao thông. Những vai trò này khẳng định VANET là một trong những công nghệ nền tảng của hệ thống giao thông thông minh hiện đại.



Hình 2. Hệ thống VANET điển hình trong giao thông

Trên cơ sở các đặc điểm và thách thức đã phân tích, phần tiếp theo sẽ trình bày và so sánh các nhóm giao thức định tuyến trong mạng VANET.

**3. CÁC GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG VANET**

Phần này trình bày và phân loại các giao thức định tuyến trong mạng VANET, đồng thời phân tích và so sánh đặc điểm của từng nhóm nhằm đánh giá sự phù hợp trong các kịch bản giao thông khác nhau.

Định tuyến là một trong những vấn đề then chốt và cũng phức tạp nhất trong mạng VANET, xuất phát từ đặc tính động cao của mạng, mật độ phương tiện thay đổi liên tục và yêu cầu khắt khe về truyền thông thời gian thực. Khác với mạng MANET truyền thống, các giao thức định tuyến trong VANET không chỉ cần đảm bảo khả năng tìm kiếm và cập nhật đường đi nhanh mà còn phải duy trì độ tin cậy và khả năng mở rộng trong các điều kiện giao thông đa dạng như khu vực đô thị, đường cao tốc hay nút giao phức tạp. Trong phần này, bài báo phân loại và trình bày ba nhóm giao thức định tuyến chính được sử dụng trong VANET, bao gồm định tuyến chủ động (proactive), định tuyến phản ứng (reactive) và định tuyến lai (hybrid), đồng thời phân tích ưu và nhược điểm của từng nhóm trong các kịch bản giao thông điển hình.

**3.1. Giao thức định tuyến chủ động**

Các giao thức định tuyến chủ động duy trì thông tin định tuyến tại mọi thời điểm thông qua việc cập nhật định kỳ trạng thái mạng, bất kể có hay không nhu cầu truyền dữ liệu. Mỗi nút trong mạng lưu trữ một bảng định tuyến chứa thông tin đường đi đến tất cả các nút còn lại, nhờ đó quá trình thiết lập đường truyền được thực hiện nhanh chóng khi phát sinh yêu cầu truyền thông.

Ưu điểm chính của nhóm giao thức này là độ trễ định tuyến thấp, do thông tin đường đi luôn sẵn sàng tại các nút mạng. Tuy nhiên, nhược điểm đáng kể là chiếm dụng băng thông lớn để duy trì và cập nhật bảng định tuyến, đặc biệt trong môi trường có tính động cao như VANET, nơi các liên kết thay đổi liên tục theo chuyển động của phương tiện. Điều này làm giảm hiệu quả sử dụng tài nguyên mạng và hạn chế khả năng mở rộng khi mật độ phương tiện tăng cao.

Các giao thức tiêu biểu thuộc nhóm này bao gồm OLSR (Optimized Link State Routing) và DSDV (Destination-Sequenced Distance-Vector). Trong bối cảnh VANET, OLSR và DSDV được đánh giá là phù hợp với các kịch bản giao thông có mật độ phương tiện trung bình và chuyển động tương đối ổn định, chẳng hạn như khu dân cư hoặc một số khu vực đô thị [7]. Ngược lại, trong các kịch bản có tốc độ di chuyển cao hoặc thay đổi hướng thường xuyên, như trên đường cao tốc, hiệu năng của các giao thức này suy giảm rõ rệt do chi phí cập nhật bảng định tuyến tăng mạnh.

Như vậy, các giao thức định tuyến chủ động phù hợp với các kịch bản có mật độ phương tiện ổn định, nhưng gặp hạn chế trong môi trường có tính động cao.

**3.2. Giao thức định tuyến phản ứng**

Các giao thức định tuyến phản ứng chỉ thiết lập đường truyền khi phát sinh nhu cầu gửi dữ liệu. Khi một nút nguồn cần truyền thông tin đến nút đích, quá trình tìm kiếm đường đi (route discovery) sẽ được kích hoạt thông qua việc quảng bá các gói điều khiển trong mạng [8-9]. Cách tiếp cận này giúp giảm đáng kể lưu lượng điều khiển so với các giao thức định tuyến chủ động, do không yêu cầu duy trì bảng định tuyến tại mọi thời điểm.

Ưu điểm nổi bật của các giao thức phản ứng là sử dụng hiệu quả băng thông, đặc biệt phù hợp với các mạng có quy mô lớn và topology thay đổi mạnh, như môi trường VANET. Tuy nhiên, nhược điểm của nhóm giao thức này là độ trễ thiết lập đường truyền ban đầu có thể cao hơn so với các giao thức chủ động, do phải thực hiện quá trình khám phá tuyến trước khi truyền dữ liệu.

Các giao thức tiêu biểu thuộc nhóm định tuyến phản ứng bao gồm AODV (Ad-hoc On-demand Distance Vector) và DSR (Dynamic Source Routing). Trong mạng VANET, AODV và DSR được sử dụng rộng rãi nhờ khả năng thích ứng linh hoạt với sự thay đổi liên tục của topology mạng. Tuy nhiên, trong các kịch bản có tốc độ di chuyển rất cao, việc phải thiết lập và duy trì lại tuyến đường thường xuyên có thể gây ra độ trễ đáng kể, từ đó làm giảm hiệu quả truyền thông, đặc biệt đối với các ứng dụng an toàn yêu cầu độ trễ thấp và độ tin cậy cao.

Do đó, các giao thức phản ứng có ưu thế về tiết kiệm tài nguyên nhưng cần được cải tiến để đáp ứng yêu cầu độ trễ thấp trong VANET.

**3.3. Giao thức định tuyến lai**

Các giao thức định tuyến lai được đề xuất nhằm kết hợp ưu điểm của hai nhóm giao thức định tuyến chủ động và phản ứng, qua đó cải thiện hiệu năng định tuyến trong các mạng có quy mô lớn và tính động cao như VANET. Theo cách tiếp cận này, mạng được chia thành các vùng (zones) có kích thước xác định. Trong mỗi vùng, thông tin định tuyến được duy trì theo cơ chế chủ động, trong khi việc định tuyến giữa các vùng khác nhau được thực hiện theo cơ chế phản ứng [10].

Giao thức tiêu biểu đại diện cho nhóm này là ZRP (Zone Routing Protocol). Nhờ cơ chế phân vùng, ZRP có khả năng giảm đáng kể chi phí cập nhật định tuyến so với các giao thức thuần chủ động, đồng thời hạn chế độ trễ thiết lập đường truyền trong phạm vi lân cận. Do đó, các giao thức định tuyến lai được đánh giá là có hiệu quả trong các kịch bản VANET có phân bố phương tiện không đồng đều và cấu trúc giao thông mang tính khu vực rõ rệt.

Trong bối cảnh VANET, ZRP đặc biệt phù hợp với môi trường giao thông đô thị, nơi tồn tại các vùng chức năng khác nhau như khu dân cư, khu vực giao lộ phức tạp hoặc các tuyến đường một chiều. Tuy nhiên, thách thức lớn của giao thức này nằm ở việc xác định và điều chỉnh kích thước vùng một cách tối ưu. Nếu vùng quá nhỏ, chi

phí định tuyến liên vùng sẽ tăng; ngược lại, nếu vùng quá lớn, gánh nặng cập nhật định tuyến nội vùng có thể làm suy giảm hiệu năng tổng thể của mạng.

Nhìn chung, các giao thức lai được xem là hướng tiếp cận tiềm năng trong việc cân bằng giữa hiệu năng và chi phí định tuyến trong mạng VANET.

BẢNG 1. SO SÁNH CÁC GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN TRONG MẠNG VANET

Nhóm giao thức	Ví dụ điển hình	Ưu điểm chính	Nhược điểm	Kịch bản phù hợp
Chủ động	OLSR, DSDV	Độ trễ thấp, luôn có sẵn đường đi	Tốn băng thông, cập nhật liên tục	Mạng mật độ ổn định
Phản ứng	AODV, DSR	Tiết kiệm tài nguyên, giảm overhead	Độ trễ thiết lập đường truyền cao	Mạng có tính động cao
Lai	ZRP	Cân bằng giữa độ trễ và tài nguyên	Phức tạp trong cấu hình	Mạng quy mô lớn, phân vùng

Từ bảng so sánh (bảng 1) có thể thấy rằng không tồn tại một giao thức định tuyến tối ưu cho mọi kịch bản VANET. Việc lựa chọn giao thức phụ thuộc vào đặc điểm môi trường giao thông, bao gồm mật độ phương tiện, tốc độ di chuyển và yêu cầu về độ trễ truyền thông.

Trên cơ sở phân tích các giao thức định tuyến, phần tiếp theo sẽ trình bày các ứng dụng tiêu biểu của mạng VANET trong giao thông đường bộ.

**4. CÁC ỨNG DỤNG VANET TRONG GIAO THÔNG ĐƯỜNG BỘ**

Mạng VANET đóng vai trò quan trọng trong hệ thống giao thông thông minh, cho phép các phương tiện trao đổi thông tin theo thời gian thực nhằm nâng cao mức độ an toàn, cải thiện hiệu quả khai thác hạ tầng và hỗ trợ các chức năng điều khiển thông minh. Thông qua cơ chế truyền thông giữa phương tiện với phương tiện (V2V) và giữa phương tiện với hạ tầng giao thông (V2I), VANET tạo nền tảng cho nhiều ứng dụng quan trọng trong giao thông đường bộ. Trong phần này, các nhóm ứng dụng tiêu biểu của VANET được phân tích, với trọng tâm là các ứng dụng liên quan đến an toàn giao thông.

**4.1. Ứng dụng trong an toàn giao thông**

Các ứng dụng an toàn được xem là lĩnh vực quan trọng nhất của VANET, do trực tiếp liên quan đến việc giảm thiểu tai nạn giao thông và bảo vệ tính mạng người tham gia giao thông. Những ứng dụng này đòi hỏi độ tin cậy truyền thông cao, độ trễ thấp và khả năng hoạt động ổn định trong môi trường có mật độ phương tiện lớn. Một số ứng dụng an toàn tiêu biểu trong mạng VANET bao gồm [11]:

**Cảnh báo va chạm phía trước**

Các phương tiện liên tục trao đổi thông tin về tốc độ, gia tốc và quỹ đạo chuyển động, cho phép xe phía sau phát hiện sớm nguy cơ va chạm và đưa ra cảnh báo kịp thời cho người lái.

**Cảnh báo phanh gấp**

Khi một phương tiện thực hiện phanh khẩn cấp, thông tin này được truyền tức thời tới các xe phía sau, giúp giảm đáng kể nguy cơ xảy ra tai nạn liên hoàn, đặc biệt trong điều kiện mật độ giao thông cao.

**Hỗ trợ thay đổi làn đường**

Thông qua việc thu thập và xử lý thông tin từ các phương tiện lân cận, hệ thống hỗ trợ người lái đánh giá điều kiện an toàn của làn đường bên cạnh trước khi thực hiện thao tác chuyển làn.

**Cảnh báo phương tiện ưu tiên**

Các phương tiện ưu tiên như xe cứu hỏa, xe cứu thương hoặc xe công an có thể phát tín hiệu cảnh báo tới các phương tiện xung quanh, giúp các xe khác chủ động nhường đường, qua đó nâng cao hiệu quả ứng cứu và đảm bảo an toàn giao thông.

**4.2. Ứng dụng quản lý và tối ưu hóa giao thông**

Bên cạnh các ứng dụng an toàn, VANET đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả vận hành của hệ thống giao thông thông qua cơ chế chia sẻ thông tin theo thời gian thực giữa các phương tiện và hạ tầng giao thông. Nhờ khả năng trao đổi dữ liệu V2V và V2I, nhiều ứng dụng quản lý và tối ưu hóa giao thông đã được phát triển nhằm giảm ùn tắc và cải thiện khả năng khai thác hạ tầng.

Một trong những ứng dụng tiêu biểu là hỗ trợ tín hiệu đèn giao thông thông minh, trong đó các phương tiện có thể nhận thông tin về thời gian chuyển pha của đèn đỏ - xanh để điều chỉnh tốc độ di chuyển hợp lý, từ đó giảm thời gian chờ và mức tiêu thụ năng lượng. Bên cạnh đó, phát hiện và tránh tắc đường là ứng dụng quan trọng khác, cho phép các phương tiện chia sẻ thông tin về mật độ giao thông, vận tốc trung bình hoặc sự cố trên đường để lựa chọn tuyến đường tối ưu.

Ngoài ra, dữ liệu thu thập từ các phương tiện thông qua V2I giúp các trạm ven đường (RSU) điều phối luồng giao thông tại các nút giao một cách linh hoạt hơn, góp phần giảm ùn tắc trong giờ cao điểm. VANET cũng hỗ trợ quản lý bãi đỗ xe thông minh, cho phép phương tiện tìm kiếm và đặt chỗ đỗ còn trống thông qua thông tin từ hạ tầng hoặc các xe khác trong khu vực.

**4.3. Ứng dụng hỗ trợ điều khiển và vận hành phương tiện**

VANET được xem là một trong những nền tảng truyền thông quan trọng cho các hệ thống hỗ trợ lái nâng cao (Advanced Driver Assistance Systems - ADAS) và sự phát triển của xe tự hành. Thông qua việc trao đổi thông tin giữa các phương tiện và hạ tầng, hệ thống điều khiển có thể đưa ra các quyết định chính xác và an toàn hơn so với việc chỉ dựa trên cảm biến cục bộ.

Một ứng dụng điển hình là kiểm soát hành trình thích ứng, trong đó dữ liệu từ phương tiện phía trước được kết hợp với thông tin cảm biến để duy trì khoảng cách an toàn và điều chỉnh tốc độ phù hợp. Bên cạnh đó, hợp nhất thông tin cảm biến dựa trên dữ liệu chia sẻ trong mạng

VANET giúp các hệ thống tự hành nâng cao khả năng nhận thức môi trường, đặc biệt trong điều kiện tầm nhìn hạn chế. Ngoài ra, dẫn đường thời gian thực dựa trên thông tin V2V/V2I cho phép cập nhật liên tục tuyến đường tối ưu, góp phần nâng cao hiệu quả di chuyển và giảm thời gian hành trình.

**4.4. Ứng dụng thông tin và giải trí**

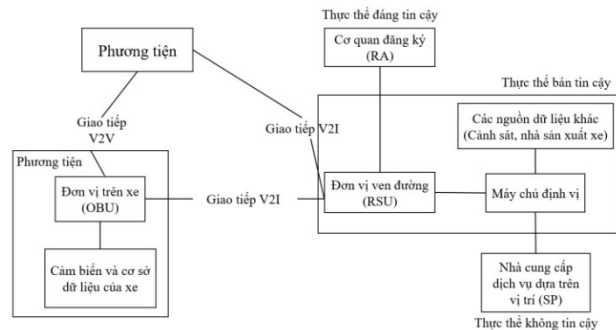
Ngoài các ứng dụng liên quan trực tiếp đến an toàn và điều khiển phương tiện, VANET còn hỗ trợ nhiều dịch vụ tiện ích nhằm nâng cao trải nghiệm người dùng. Các dịch vụ này bao gồm cập nhật thông tin thời tiết, điều kiện đường xá, truy cập Internet dọc tuyến đường, cung cấp các dịch vụ giải trí trực tuyến và chia sẻ dữ liệu giữa các phương tiện trong cùng đoàn xe.

Mặc dù không yêu cầu độ trễ thấp và độ tin cậy nghiêm ngặt như các ứng dụng an toàn, các ứng dụng thông tin và giải trí vẫn đòi hỏi băng thông lớn và khả năng duy trì kết nối ổn định, đặc biệt trong môi trường giao thông có mật độ phương tiện cao.

**4.5. Bàn luận về mức độ triển khai thực tế**

Trên thế giới, công nghệ VANET đã và đang được triển khai thí điểm tại nhiều quốc gia như Hoa Kỳ, Nhật Bản, Hàn Quốc và các nước châu Âu. Các công nghệ truyền thông như DSRC và C-V2X đã được thử nghiệm trên các tuyến cao tốc và khu vực đô thị lớn, cho thấy tiềm năng đáng kể trong việc nâng cao an toàn và hiệu quả giao thông.

Tại Việt Nam, việc ứng dụng VANET hiện vẫn đang ở giai đoạn đầu, chủ yếu tập trung vào nghiên cứu và mô phỏng. Tuy nhiên, cùng với xu hướng phát triển của hệ thống giao thông thông minh (ITS), xe điện và xe tự hành, VANET được kỳ vọng sẽ trở thành một thành phần quan trọng trong hạ tầng giao thông thông minh trong tương lai gần. Hình 3 minh họa kiến trúc tổng thể của hệ thống VANET trong giao thông đường bộ, thể hiện mối quan hệ truyền thông giữa các phương tiện (V2V), giữa phương tiện và hạ tầng (V2I), cũng như vai trò của các thành phần chính như OBU, RSU và trung tâm quản lý giao thông



Hình 3. Sơ đồ khối hệ thống VANET trong giao thông

Từ các ứng dụng đã trình bày có thể thấy rằng VANET không chỉ đóng vai trò hỗ trợ an toàn giao thông mà còn là nền tảng cho các hệ thống giao thông thông minh và xe tự hành. Tuy nhiên, hiệu quả triển khai các ứng dụng này phụ

thuộc vào nhiều yếu tố như độ tin cậy truyền thông, khả năng mở rộng và mức độ tích hợp với các công nghệ mới như 5G và trí tuệ nhân tạo.

Trong các nghiên cứu gần đây, việc tích hợp VANET với các công nghệ như 5G/6G và Edge Computing đang được xem là hướng đi quan trọng nhằm nâng cao hiệu năng hệ thống.

### 5. KẾT LUẬN VÀ ĐỊNH HƯỚNG NGHIÊN CỨU

Bài báo đã trình bày tổng quan về mạng VANET trong hệ thống giao thông thông minh, bao gồm kiến trúc mạng, đặc điểm kỹ thuật, các thách thức trong triển khai, cũng như phân loại và so sánh các giao thức định tuyến. Kết quả phân tích cho thấy mỗi nhóm giao thức định tuyến đều có những ưu và nhược điểm riêng, trong đó việc lựa chọn giải pháp phù hợp phụ thuộc mạnh vào đặc điểm môi trường giao thông, mật độ phương tiện và yêu cầu về độ trễ truyền thông.

Các ứng dụng của VANET trong giao thông đường bộ, đặc biệt là các ứng dụng liên quan đến an toàn giao thông và quản lý điều phối phương tiện, đóng vai trò quan trọng trong việc nâng cao hiệu quả vận hành hệ thống và giảm thiểu tai nạn. Tuy nhiên, việc triển khai VANET trong thực tế vẫn gặp nhiều thách thức, bao gồm sự biến động topology, yêu cầu độ tin cậy cao, các vấn đề về bảo mật và khả năng mở rộng hệ thống.

Trong bối cảnh phát triển của các công nghệ truyền thông và tính toán hiện đại, việc tích hợp VANET với các công nghệ như 5G/6G, trí tuệ nhân tạo (AI/ML) và điện toán biên (Edge Computing) được xem là hướng nghiên cứu tiềm năng nhằm nâng cao hiệu năng mạng, giảm độ trễ và tăng độ tin cậy của hệ thống. Bên cạnh đó, việc xây

dựng các mô hình triển khai phù hợp với điều kiện giao thông tại Việt Nam cũng là một hướng nghiên cứu quan trọng trong thời gian tới.

Nhìn chung, VANET là một nền tảng công nghệ quan trọng trong quá trình phát triển giao thông thông minh và đô thị thông minh. Việc tiếp tục nghiên cứu, hoàn thiện và ứng dụng các giải pháp kỹ thuật phù hợp sẽ góp phần nâng cao hiệu quả khai thác hệ thống giao thông trong tương lai.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] H. Hartenstein and K. Laberteaux, "A tutorial survey on vehicular ad hoc networks," *IEEE Communications Magazine*, 2008.
- [2] F. Cunha et al., "Data communication in VANETs: A survey, challenges and applications," *Ad Hoc Networks*, 2016.
- [3] Y. Toor, P. Muhlethaler, and A. Laouiti, "Vehicle ad hoc networks: Applications and related issues," *IEEE Surveys & Tutorials*, 2008.
- [4] A. Al-Sultan et al., "A comprehensive survey on VANET," *Journal of Network and Computer Applications*, 2014.
- [5] J. Harri, F. Filali, and C. Bonnet, "Mobility models for VANETs," *IEEE Surveys & Tutorials*, 2009.
- [6] R. S. Raw et al., "Security challenges and issues in VANET," *IJNSA*, 2013.
- [7] K. Abboud and W. Zhuang, "Impact of mobility on VANET routing," *IEEE Vehicular Technology*, 2012.
- [8] A. Bazzi, B. M. Masini, A. Zanella, and G. Pasolini, "On the performance of IEEE 802.11p and LTE-V2V for the cooperative awareness of connected vehicles,"
- [9] S. K. Bhoi and P. M. Khilar, "Vehicular communication: A survey with performance evaluation of routing protocols in VANET," *IEEE Access*, vol. 10, pp. 13245–13268, 2022.
- [10] B. Williams and T. Camp, "Comparison of broadcasting techniques for MANETs," *ACM MobiHoc*, 2002.
- [11] A. Vinel, "3GPP LTE versus IEEE 802.11p for vehicular communications," *IEEE Vehicular Technology Magazine*, 2012.
- [12] M. Gerla and L. Kleinrock, "Vehicular networks and the future of the mobile internet," *Computer Networks*, 2011.