

Hiệu quả phân phối nội dung trong mô hình lai ghép giữa mạng định hướng nội dung và mạng tùy biến các phương tiện giao thông

Effective content delivery in hybrid model of Named Data Network and Vehicular Ad-hoc Network

Đoàn Văn Đồng

Nhóm nghiên cứu Khoa học công nghệ ứng dụng cho sự Phát triển bền vững (STASD), Trường Đại học Giao thông vận tải Thành phố Hồ Chí Minh

Email liên hệ: dongdv@ut.edu.vn

Tóm tắt:

Để các hoạt động giao thông an toàn và thông minh hơn trong mạng tùy biến các phương tiện giao thông (Vehicular Ad-hoc Network), các thông tin sẽ được các phương tiện giao thông thu thập và xử lý để đưa ra các giải pháp kịp thời. Trong mạng VANET khi phương tiện di chuyển với vận tốc cao, người dùng rất khó khăn để nhận các thông tin bởi vì trễ truyền đạt và sự đáp ứng không kịp thời của máy chủ. Hơn nữa, máy chủ dễ bị quá tải khi một số lượng lớn phương tiện yêu cầu thông tin cùng một thời điểm. Để giải quyết những vấn đề này, mô hình lai ghép áp dụng mạng định hướng nội dung (Name Data Network) và mạng tùy biến các phương tiện giao thông VANET đã được đưa ra. Trong bài báo này, kết nối giữa Vehicle to Infrastructure (V2I) được nghiên cứu cụ thể. Kết quả mô phỏng thực hiện bởi OPNET đã chứng minh rằng mô hình lai ghép thực hiện hiệu quả việc phân phối nội dung đến các phương tiện giao thông, giảm tải cho máy chủ, thời gian nhận gói tin (RTT) ngắn và đáp ứng thông tin tức thời cho người dùng.

Từ khóa: Mạng định hướng nội dung; Mạng tùy biến các phương tiện giao thông; Mạng giao thông thông minh; Phương tiện với cơ sở hạ tầng.

Abstract:

In order to make roads safer and vehicles more intelligent in Vehicular Ad-hoc Network (VANET), the information will be collected and processed at the vehicles to give out the solution in a timely manner. In VANET, when the vehicles are moving at high speed, it is very difficult for users to receive information because of delay transmission and the untimely respond of the server. Moreover, the server will be easily overloaded when a large number of vehicles increase requesting information at the same time. To address these problems, a hybrid model that applies a NDN in VANET environment has been proposed. In this paper, the connection between Vehicle to Infrastructure (V2I) is studied specifically. The simulation results performed by OPNET have demonstrated that this hybrid model effectively implements the delivery of content to the terminal vehicles, reducing the load on the system. server, short packet receiving time (RTT) and instant response to users.

Keywords: Named Data Network; Vehicular Ad hoc Network; Intelligent Transportation System; Vehicle to Infrastructure.

1. Giới thiệu

Hiện nay, nhu cầu sử dụng các ứng dụng cũng như các dịch vụ thông minh ngày càng tăng, đặc biệt trong những năm gần đây. Để đáp ứng nhu cầu đó,

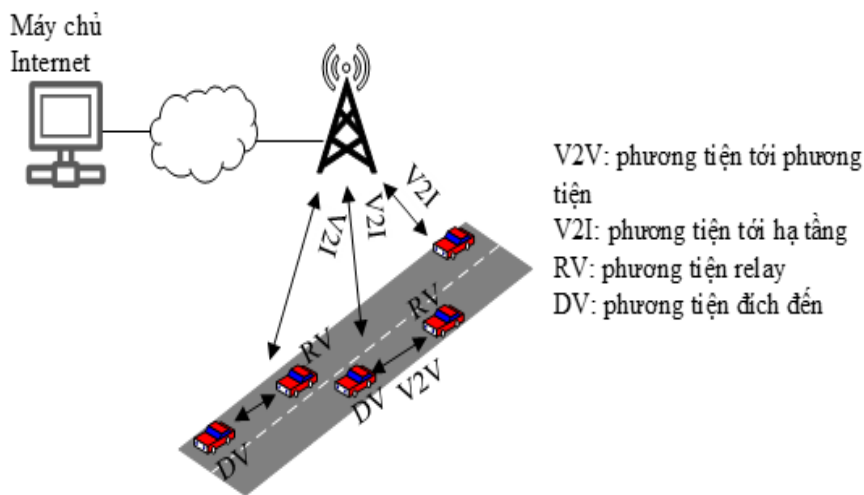
nền tảng truyền thông rất quan trọng, quyết định chất lượng dịch vụ (QoS). Do vậy, nhiều nhà nghiên cứu, tập đoàn công nghệ đã đầu tư vào phát triển mạng không dây. Các hệ thống mạng không

dây được phân loại thành ba khía cạnh: Hệ thống thông tin cá nhân, mạng nội bộ không dây (Wireless LAN) và mạng tùy biến không dây đa đường (Multi-hop Ad-hoc network). Trong đó, mạng tùy biến phương tiện giao thông (Vehicular Ad-hoc NETWORK-VANET) nhận được nhiều sự quan tâm cả về nghiên cứu lý thuyết và thực tế công nghiệp truyền thông.

VANET là kỹ thuật sử dụng phương tiện giao thông di chuyển như các nút không dây trong một mạng điện thoại di động. Bất kỳ một nút không dây nào cũng có thể là thiết bị đầu cuối hoặc là thiết bị định tuyến không dây (Wireless Router) để

quảng bá thông tin trong VANET hoặc tình trạng giao thông khẩn cấp.

Có hai mô hình kết nối phổ dụng nhất là V2V (Vehicle to Vehicle) và V2I (Vehicle to Infrastructure). Tuy nhiên, bài báo này chỉ đề cập đến V2I, nơi các phương tiện kết nối mạng Internet thông qua các trạm gốc (Base station–BTS), được thể hiện tại hình 1. Mô hình tồn tại ở cơ sở hạ tầng mạng như 2,5G, 3G, 4G, 5G để tập trung quản lý thông tin kết nối. Phương tiện giao thông luôn giữ liên lạc với máy chủ trong quá trình di chuyển nhằm cung cấp các dịch vụ, ứng dụng cũng như các thông tin cảnh báo nguy cơ tiềm ẩn rủi ro cho người lái.



Hình 1. Kết nối V2V, V2I trong mạng VANET.

Gần đây, các nghiên cứu chuyên sâu cũng như các thử nghiệm đã được thực hiện để thúc đẩy công nghệ V2I với các mục đích hỗ trợ ứng dụng cho những phương tiện có thể cập nhật thời gian thực khi gặp trường hợp tắc nghẽn, dự báo thời tiết, các thông tin dịch vụ khác,... [1], [2]. Bên cạnh đó, một số công nghệ hợp tác như Multi-hop SISO, công nghệ Relay và MIMO (Multi-Input-Multi-Output) cũng được áp dụng nhằm mục đích hiệu quả kết nối, trong đó công nghệ hợp tác Relay là một trong những công nghệ tiềm năng hứa hẹn [3]. Các công nghệ này làm giảm khoảng cách truyền và tăng số người sử dụng trong điều kiện thuận lợi hơn, chất lượng kênh truyền tốt hơn [4]. Bên cạnh đó, công nghệ Multil-hop SISO và MIMO cũng ược sử dụng trong VANET để đạt được những lợi ích thực hiện cũng như hiệu quả năng lượng [5].

Phần lớn các nghiên cứu trong VANET tập trung ở một số vấn đề chính liên quan đến định tuyến, chất lượng dịch vụ, quảng bá và bảo mật hệ thống. Tuy nhiên, để tận dụng bộ nhớ của các phương tiện trong hệ thống mạng và sử dụng các phương tiện để đáp ứng yêu cầu dịch vụ là một vấn đề mới và cấp thiết. Trong bài báo, mô hình lai ghép giữa mạng định hướng nội dung Name Data Network (NDN) và mạng VANET được đưa ra để đạt hiệu quả phân phối nội dung đến các phương tiện giao thông.

Nội dung còn lại của bài báo được trình bày như sau: Phần 2 giới thiệu các khái niệm, cơ chế hoạt động và các tính chất đặc trưng của mạng NDN, phần 3 đưa ra mô hình lai ghép giữa mạng NDN và VANET. Mô phỏng, thực hiện đánh giá trong

từng trường hợp cụ thể và kết luận được thực hiện tương ứng trong phần 4 và phần 5.

2. Cơ bản về Named Data Network

2.1. Mạng định hướng nội dung

Mạng Internet hiện nay đang phát triển nhanh chóng theo xu hướng chia sẻ về nội dung nhưng mô hình mạng hiện tại vẫn là kết nối giữa các thiết bị với nhau, trong đó gói tin mang địa chỉ nguồn và địa chỉ đích. TCP/IP đã thành công hơn 40 năm, cho đến nay cũng rất linh hoạt cho các thiết bị giao tiếp dựa trên các ứng dụng.

Có thể thấy, người dùng quan tâm nhiều đến “những gì họ nhận được”, không chú ý đến nguồn gốc của thông tin. Do vậy, việc kết nối giữa các “host” với nhau hầu như lỗi thời. Để khắc phục vấn đề này, người ta tìm đến các thiết bị chi phí cao như có thể truy cập, chia sẻ nguồn và truyền dữ liệu nhưng tất cả chỉ là giải pháp tạm thời. Lưu lượng mạng hiện nay có xu hướng định hướng đến nội dung “name” như data center và web cache.

Trong thực tế, xu hướng thiên về nội dung này đã được triển khai áp dụng như Multimedia, P2P, web, IPTV,... Đó là những lý do và thuận lợi để NDN ra đời và phát triển [6]. NDN là một mô hình mới trong kiến trúc mạng. Mô hình này đưa ra một cải tiến kiến trúc mạng IP hiện nay, trong đó gói tin được xác định bằng tên nội dung “name” thay vì dùng kết nối giữa các đầu cuối với nhau. Bằng việc thay đổi nội dung, mạng NDN cho phép sử dụng tất cả tính chất của mạng IP để giải quyết vấn đề như kết nối giữa các đầu cuối, phân phối và điều khiển nội dung.

2.2. Cơ chế hoạt động của NDN

Trong mạng NDN [7], có hai kiểu gói tin là interest packet (IntPk) và data packet (DataPk). Các gói tin này nhận dạng dữ liệu bằng tên nội dung “name”. Bất kỳ một thiết bị mạng nào (server, router/gateway, host) đều nhận gói tin yêu cầu IntPk nếu như thông tin yêu cầu là chính xác. Đồng thời, các thiết bị mạng cũng có thể gửi lại gói tin phản hồi DataPk.

Cấu trúc dữ liệu một nút NDN (NDN node) gồm có ba phần: Forwarding Information Base (FIB), Pending Interest Table (PIT) và Content Store (CS) hoặc bộ nhớ đệm. Một cách tổng quát, có hai dòng gói tin: Dòng gói tin yêu cầu IntPk từ thiết bị đầu cuối hoặc người dùng đến máy chủ, và DataPk theo chiều ngược lại. Khi nút NDN nhận được gói tin IntPk, đầu tiên sẽ tìm kiếm dữ liệu trong CS, DataPk được gửi phản hồi nếu như tìm thấy nội dung, nếu không IntPk được kiểm tra trong PIT. PIT lưu và theo dõi thông qua liệt kê tất cả những người dùng IntPk không được đáp ứng. Sau đó, những IntPk được gửi lên những nút kế cận. Quy trình tiếp tục đến khi các nút nhận được dữ liệu phản hồi. Điều đặc biệt là khi các nút nhận được dữ liệu và gửi về người dùng theo đường đã xác định, lưu lại nội dung dữ liệu trong CS.

Bằng cơ chế hoạt động của mạng NDN, tất cả các nút trong mạng đều có thể lưu trữ nội dung dữ liệu. Vậy nên, khi người dùng yêu cầu dữ liệu, các nút được đáp ứng tức thời thay vì yêu cầu máy chủ phản hồi như trong mạng truyền thống IP. Nhưng vấn đề là khả năng lưu trữ của các nút trong mạng có giới hạn. Đây cũng chính là thách thức cần được nghiên cứu sâu rộng hơn trong tương lai. Tuy nhiên, trong mạng VANET, các thông tin có dung lượng không lớn và cùng một nội dung nên việc lưu trữ không phải là vấn đề lớn. Dữ liệu thông thường có thể là các bản tin thời tiết, thông tin tình trạng giao thông, các cảnh báo cho lái phương tiện hay bất kỳ một thông tin ứng dụng phổ biến. Với ưu điểm thời gian đáp ứng gói tin nhanh tại các nút gần người dùng của NDN, việc áp dụng trong VANET rất thuận lợi, đặc biệt trong môi trường thách thức khi mật độ phương tiện tăng lên hoặc vận tốc cao.

2.3. Khả năng lưu trữ

NDN hỗ trợ bộ nhớ đệm trên đường truyền, các nút yêu cầu CS lưu trữ tất cả dữ liệu được mang theo bởi thông tin dữ liệu “DATA message” khi nhận được thông tin IntPk. CS có thể sử dụng thuật toán lưu trữ FIFO, LRU, nhưng trong thực tế thì lưu trữ tất cả các thông tin trong một thời gian dài sẽ không khả thi [8], [9]. Để khắc phục vấn đề này, thuật toán lưu trữ có cân nhắc đến tính phổ biến

của nội dung [10], thuật toán lưu trữ các nội dung có giá trị cao (content-based) [11]. Nhìn chung, các giải thuật đưa ra mục đích để phục hồi thông tin đã mất trong quá trình truyền, hoặc được sử dụng hiệu quả khi nhiều người dùng, phương tiện yêu cầu cùng một nội dung thông tin dữ liệu. IntPk có thể được gửi trực tiếp đến máy chủ NDN hoặc gửi đến bất kỳ một thiết bị đầu cuối trong mạng chứa thông tin yêu cầu.

2.4. Khả năng di động

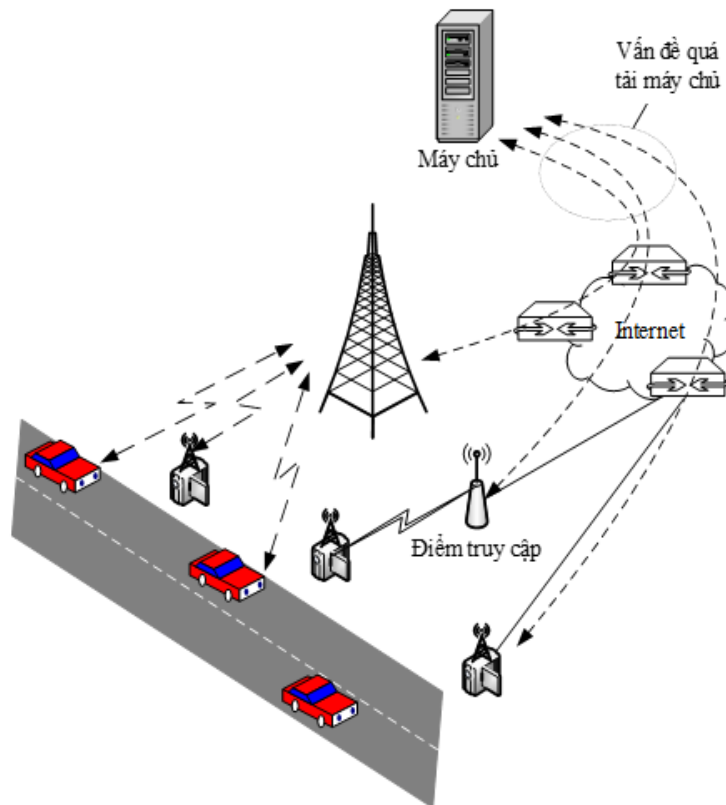
Trong mạng VANET với sự kết hợp NDN, một phương tiện sẽ phát ra thông tin INTEREST bởi IntPk khi di chuyển đến vị trí mới, và thông tin dữ liệu được gửi đến vị trí tương ứng.

NDN sử dụng giao thức LFBL (Listen First Broadcast Later) [12] để thực hiện di động cho các thiết bị đầu cuối hay phương tiện. Trong LFBL, các thông tin INTEREST được gửi theo phương

thức “FLOOD”. Khi các nguồn tiềm năng chứa dữ liệu nhận được thông tin INTEREST, các nút NDN sẽ “lắng nghe” trên kênh truyền không dây để khám phá các nút khác trước đó đã gửi những thông tin phù hợp yêu cầu. Ngược lại, các nút gửi các thông tin “DATA” về người dùng hay phương tiện giao thông trong mạng.

3. Mô hình mạng lai ghép NDN và VANET

Hình 2 đã đưa ra kết nối V2I trong mạng lai ghép VANET và NDN. Trong đó, tất cả các nút mạng được cấu hình, cài đặt giao thức NDN như bộ định tuyến (router), điểm truy cập (access point-AP), trạm gốc (base station-BTS). Các phương tiện trong mạng đều giữ kết nối với BTS bởi các AP được tích hợp trong BTS và trong từng phương tiện riêng biệt. Các camera có thể được bổ sung để giám sát toàn bộ tình trạng giao thông.



Hình 2. Kết nối V2I trong mạng VANET.

Mô hình kết nối V2I tại hình 2 gồm ba thành phần chính:

(i) Road Side Unit (RSU) là các camera để quan sát tất cả hình ảnh, video gửi về trung tâm máy chủ qua mạng không dây Wifi hoặc WAN;

(ii) Máy chủ nhận tất cả dữ liệu, thông tin, hình ảnh cập nhật từ RSUs, các bản thông tin về tình trạng giao thông, bản tin thời tiết hay các ứng dụng và sau đó phản hồi tương ứng đến từng phương tiện khi có yêu cầu DataPk;

(iii) Các phương tiện sẽ nhận và gửi thông tin qua kết nối Wifi, thậm chí là kết nối LTE.

Khi một lượng lớn phương tiện yêu cầu các thông tin cùng một thời điểm, hoặc nhiều RSU thu thập các hình ảnh, video giao thông thì máy chủ dễ bị quá tải. Điều này sẽ xảy ra thường xuyên và nghiêm trọng hơn khi triển khai hệ thống giám sát. Để có chất lượng hình ảnh cao, trung thực và thời gian lưu trữ dài, máy chủ không thể đáp ứng đủ bộ nhớ (ví dụ, tính toán của Pelco theo chuẩn nén MJPEG phải mất hơn 36TB để lưu trữ cho 07 camera IP, 9TB cho 07 camera Analog).

Như vậy, khi triển khai một lượng lớn camera bao phủ trong toàn mạng, thêm vào đó là các thông tin khác, hiển nhiên, máy chủ không thể đủ dung lượng để lưu trữ. Vì thế, NDN là một mô hình với các giải pháp hiệu quả có thể giải quyết vấn đề trên (giảm quá tải, giảm tắc nghẽn, giảm Round Trip Time).

4. Mô hình mô phỏng và kết quả

4.1. Mô hình mô phỏng

Các giao thức NDN được mô phỏng bằng công cụ OPNET Modeler 16.0 [13], [14]. Điều đáng chú ý rằng với NDN trong thực tế, một luồng dữ liệu được gửi từ người dùng đến máy chủ qua hệ thống NDN không được đề cập đến ở đây do gặp phải khó khăn khi thực hiện mô phỏng. Từ những khái niệm cơ bản và những thành tựu nghiên cứu được đưa ra trong những năm gần đây, mô hình NDN hoàn toàn có thể tương thích với Internet hiện tại. Tuy nhiên, cần có một chiến lược phát triển rõ ràng, hiệu quả và toàn diện. Các khối vi xử lý NDN tích hợp tất cả các phần tử mạng (base station, access point, router, server, gateway) để thực hiện mô phỏng.

Cùng một cấu hình, tác giả đưa ra mô hình mô phỏng và kết nối trong mạng là V2I, như hình 2. Đầu tiên, phương tiện sẽ yêu cầu thông tin bằng việc gửi IntPk đến máy chủ gián tiếp qua các trạm phát sóng (BTS/AP). Khi nhận được thông tin yêu cầu chính xác, máy chủ phản hồi lại dữ liệu theo

từng chặng đến phương tiện. Điều quan trọng là khi dữ liệu theo hướng xuống đến các phương tiện, dữ liệu được lưu trong các nút mạng như router, access point, base station,... Các lần tiếp theo khi phương tiện đi trong vùng bao phủ yêu cầu thông tin, các trạm phát đáp ứng ngay không cần đến máy chủ như mô hình Client-Sever. Trong phần mô phỏng này, các phương tiện được cài đặt với tốc độ di chuyển khá cao từ 60 đến 100 km/h. Để đánh giá hiệu quả thực hiện của mạng một cách rõ nét, trường hợp mô phỏng giả lập được đưa ra nhằm so sánh khi số lượng phương tiện tăng lên trong cùng một vùng bao phủ.

4.2. Thực hiện đánh giá

Trong NDN, IntPk được đáp ứng ngay bởi các trạm gốc hay các điểm truy cập bao phủ nhờ nội dung được lưu trữ trong bộ nhớ. Do vậy, khi so sánh với mô hình Client – Server, NDN có một số thuận lợi như sau:

- Tối thiểu số lượng yêu cầu tin nhắn yêu cầu thông tin cũng như tối thiểu số lượng nội dung phản hồi;
- Tối thiểu RTT;
- Tăng hiệu suất phân phối nội dung.

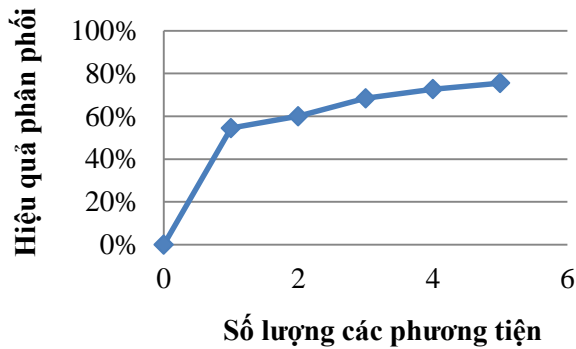
Để chứng minh cho những ưu điểm trên, tác giả thực hiện mô phỏng với thời gian là 200 giây khi số lượng phương tiện lần lượt tăng lên đến 6 phương tiện cùng với số lượng bit gửi bởi máy chủ là 12Mb cố định. Kết quả được dựa vào để tính toán trung bình lượng bit gửi/nhận của máy chủ server. Từ đó, đánh giá so sánh hiệu quả phân phối nội dung so với trường hợp Client - Server truyền thống. Bên cạnh đó, việc đánh giá thời gian đáp ứng RTT cũng được thực hiện. Cuối cùng là đánh giá khi so sánh áp dụng hai chuẩn IEEE 802.11g và IEEE 802.11p vào mạng mô hình trên để lựa chọn ra chuẩn truyền phát tối ưu cho mạng.

4.2.1. Hiệu quả phân phối nội dung

Hiệu quả phân phối nội dung được tính toán theo công thức:

$$P = (\alpha [\sum T_1 - \sum T_2] \div \alpha \sum T_1) \times 100\% \quad (1)$$

Trong đó, P là hiệu quả phân phối, α là năng lượng của một bit - μJ , T_1 là số bit nhận được tại tất cả các phương tiện và đó cũng là số bit phát ra tại điểm truy cập, T_2 là số bit gửi tại máy chủ. Dựa vào phương trình (1) và số lượng bit thông tin tính toán, hiệu quả phân phối nội dung được đánh giá như hình 3.



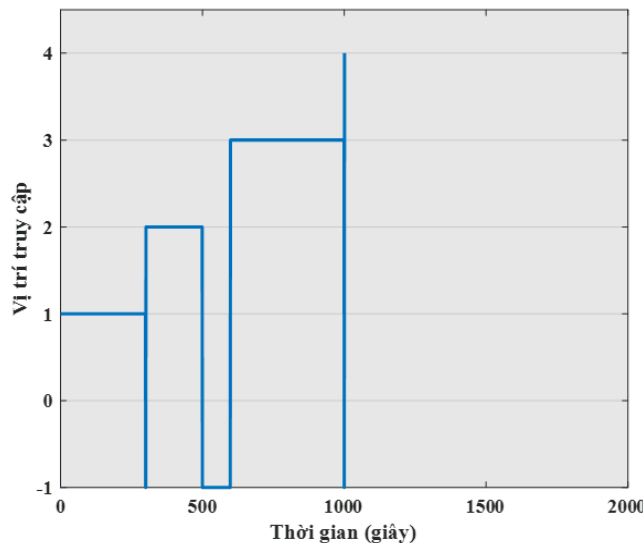
Hình 3. Hiệu quả phân phối nội dung.

Khi lượng phương tiện tăng lên trong một vùng bao phủ, hiệu quả năng lượng cũng tăng tương ứng

một cách đáng kể. Đặc biệt với mật độ phương tiện cao và yêu cầu thông tin trong cùng một khoảng thời gian ngắn và cùng một nội dung thông tin, như vậy, hiệu quả càng tăng cao khi so sánh với mô hình Client - Server.

4.2.2. Hiệu quả duy trì kết nối

Thông thường, phương tiện di chuyển trong mạng và đặc biệt với vận tốc cao, một vấn đề đặt ra là chuyển vùng “Roaming” yêu cầu sự kết nối nhanh, liên tục khi di chuyển đến vị trí mới. Hình 4 chứng minh rằng kết nối đến điểm truy cập luôn được đảm bảo khi phương tiện di chuyển với vận tốc cao 120 km/h. Có thể thấy rằng, sự mất kết nối khi phương tiện di chuyển từ vị trí thứ hai đến vị trí thứ ba, nguyên nhân là khoảng cách hai vùng bao phủ tương ứng quá xa nhau. Nhưng khi vừa di chuyển đến vùng bao phủ của vị trí thứ ba, phương tiện ngay lập tức kết nối mặc dù vận tốc khá cao.



Hình 4. Kết nối đến điểm truy cập.

4.2.3. So sánh hai chuẩn IEEE 802.11g và IEEE 802.11p

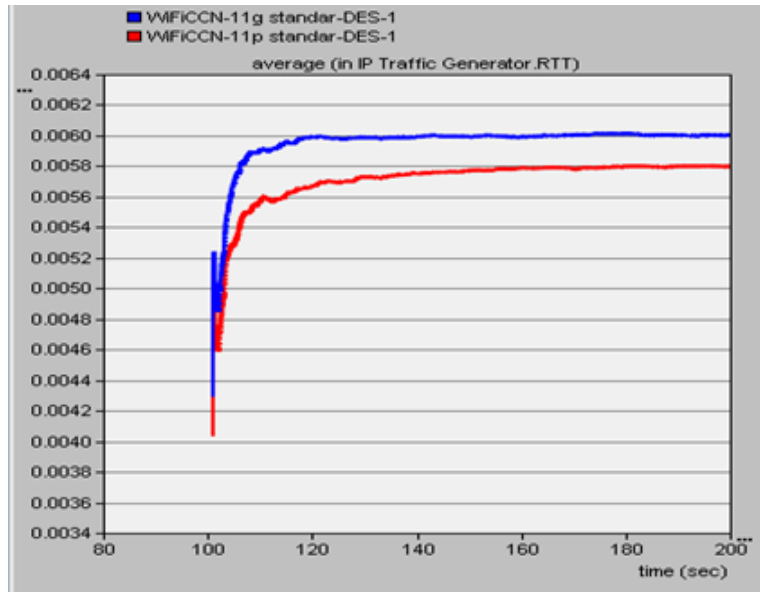
Để lựa chọn chuẩn truyền không dây tối ưu cho mạng trên, trong phần này tác giả tiến hành đánh giá dựa trên hai phần: Round Trip Time (RTT) và thời gian trễ của gói tin. Các thông số cài đặt như Bảng 1, trong đó, tốc độ dữ liệu là 9MHz và băng

thông là 10 MHz. Thời gian từ lúc yêu cầu thông tin đến nhận gói tin (RTT) của IEEE 802.11p ít hơn IEEE 802.11g (hình 5). IEEE 802.11p hiệu quả hơn đến 7%, thậm chí lên đến 10% tại thời điểm 150 giây. Bên cạnh đó, cùng với các thông số cài đặt như trên, có thể so sánh để đánh giá thời gian trễ của hai chuẩn (hình 6). Thời gian trễ khi áp dụng chuẩn IEEE 802.11p sẽ ít hơn.

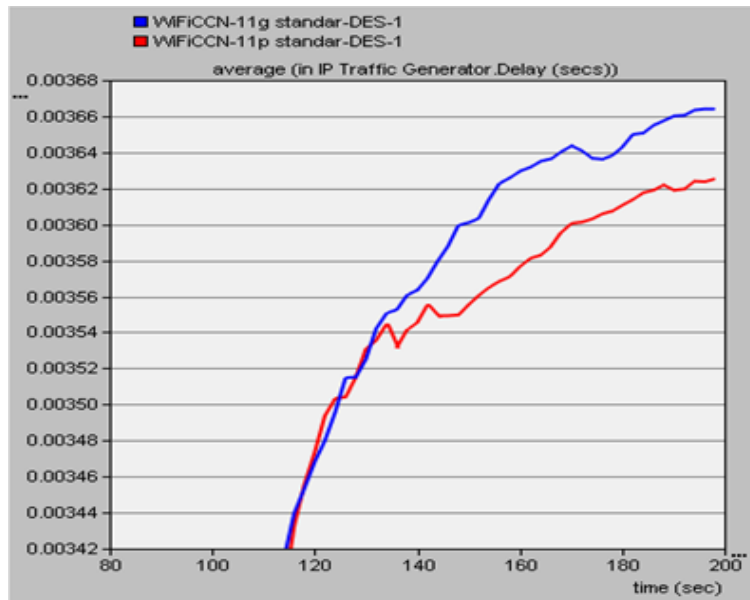
Bảng 1. Thông số mô phỏng chuẩn IEEE 802.11G và IEEE 802.11P.

Thông số mô phỏng	Giá trị
Băng thông	10 MHz
Tốc độ dữ liệu	3-27 Mbps
Time Slot	16 μ s
CW min	15
CW max	1023

Do vậy, việc đánh giá có thể kết luận rằng, IEEE 802.11p khi được áp dụng vào mạng này hiệu quả hơn, thông tin nhận được nhanh hơn. Tiêu chuẩn này phù hợp với điều kiện phương tiện giao thông di chuyển với vận tốc cao, đáp ứng thông tin nhanh hoặc trong các trường hợp nhận thông tin khẩn cấp.



Hình 5. Thời gian trễ trọn vòng Round Trip Time –RTT.



Hình 6. Thời gian trễ truyền đạt.

5. Kết luận

Trong bài báo này, mô hình áp dụng NDN trong môi trường VANET đã được đưa ra. Phương tiện

nhận trực tiếp thông tin từ các điểm truy cập, hay từ trạm gốc thay vì yêu cầu/nhận thông tin từ máy chủ. Điều này nhận được rất nhiều lợi ích từ việc hiệu quả chia sẻ nội dung, giảm số lượng bit gửi

phản hồi tại máy chủ. Hiệu quả phân phối nội dung sẽ tăng lên đáng kể khi mật độ phương tiện tăng hoặc phương tiện di chuyển với tốc độ cao. Hơn nữa, mô hình này tận dụng được bộ nhớ tài nguyên của các phần tử trong mạng để giải quyết vấn đề quá tải của máy chủ. Kết quả mô phỏng cũng đã chứng minh hiệu quả của NDN về phân phối nội dung, giảm tải cho máy chủ, giảm độ trễ vòng RTT và giảm thời gian trễ truyền đạt. Tuy nhiên, việc triển khai trong thực tế gặp rất nhiều khó khăn và chi phí xây dựng cao. Trong tương lai, các lĩnh vực về bảo mật, mở rộng thực hiện của NDN trong VANET sẽ được thực hiện cùng với sự kết hợp với các công nghệ nhằm giảm thiểu tối đa năng lượng tiêu thụ của các phương tiện giao thông.

Tài liệu tham khảo

- [1] P. Papadimitratos, A. La Fortelle, K. Evenssen, R. Brignolo, and S. Cosenza; “Vehicular communication systems: Enabling technologies, applications, and future outlook on intelligent transportation”. *IEEE Commun. Mag.* 2009; 47(11):84–95. DOI:10.1109/MCOM.2009.5307471.
- [2] P. Belanovi, D. Valerio, A. Paier, T. Zemen, F. Ricciato, and C. F. Mecklenbräuker; “On wireless links for vehicle-to-infrastructure communications”. *IEEE Trans. Veh. Technol.* 2013; 59(1):269–282. DOI: 10.1109/TVT.2009.2029119.
- [3] M. H. Ahmed, I. Syed, and H. Yanikomeroğlu; “On the performance of time division multiple access-based multihop fiphuong tiend cellular networks with respect to available frequency carriers”. *IET Commun.* 2008; 2(9):1196–1204. DOI:10.1049/iet-com:20070490.
- [4] K. Zheng, Y. Wang, L. Lei, and W. Wang; “Cross-layer queuing analysis on multihop relaying networks with adaptive modulation and coding”. *IET Commun.* 2010; 4(3):295–302. DOI:10.1049/iet-com.2009.0380.
- [5] T. D. Nguyen, O. Berder, O. Sentieys; “Cooperative MIMO schemes optimal selection for wireless sensor networks”; in Proc. IEEE 65th Vehicular Technology Conference, VTC2007-Spring; 22-25 April 2007; Dublin, Ireland. IEEE; 2007.
- [6] H. Yoo and N. Ko; “Implementation and Evaluation of NDN-based Video Streaming System”; in Proc. 2021 International Conference on Information and Communication Technology Convergence (ICTC); 20-22 October 2021; Jeju Island, South Korea. IEEE; 2021; pp. 1879-1881.
- [7] V. Jacobson, D. Smetters, J. Thornton, M. Plass, N. Briggs, and R. Braynard; “Networking named content”. *Communication of the ACM.* 2012; 55(1):117-124. DOI:10.1145/1658939.1658941.
- [8] W. K. Chai, D. He, I. Psaras, and G. Pavlou; “Cache “less for more” in information-centric networks”; in Proc. 11th international IFIP TC 6 conference on Networking; 21-25 May 2012; Prague, Czech Republic. Berlin, Heidelberg, Germany: Springer; 2012; pp. 27-40.
- [9] A. Suwannasa, M. Broadbent and A. Mauthe; “Impact of Content Popularity on Content Finding in NDN: Default NDN vs. Vicinity-based Enhanced NDN”; in Proc. 2020 10th International Conference on Information Science and Technology (ICIST), 09-15 September 2020; Bath, London, and Plymouth, UK. IEEE; 2020, pp. 163-168.
- [10] I. Psaras, W. K. Chai, and G. Pavlou, “Probabilistic in-network caching for information-centric networks”; in Proc. 2nd edition of the ICN Workshop on Information-centric networking, 17 August 2012; Helsinki, Finland. 2012; pp.55-60.
- [11] D. D. Van, S. N. Quang, T. V. Phu; “Content-Based Caching Strategy for Ubiquitous Healthcare Application in WBANs”; *Research in Intelligent and Computing in Engineering; Advances in Intelligent Systems and Computing book series*; vol.1254. Singapore: Springer; 2021; pp.491-500.
- [12] M. Meisel, V. Pappas, and L. Zhang; “Ad hoc networking via named data”; in Proc. the fifth ACM international workshop on Mobility in the evolving internet architecture; 24 Spetember 2010; Chicago, Illinois, USA. NY, USA:

Association for Computing Machinery; 2010; pp.3-8.

[13] OPNET Modeler. Available: <https://support.riverbed.com/content/support/software/opnet-model/modeler.html>. Accessed on: 20/06/2022.

[14] J. Huang, F. Qian, A. Gerber, Z. Mao, S. Sen, and O. Spatscheck; “A Close Examination of

Performance and Power Characteristics of 4G LTE Networks”; in Proc. MobiSys'12: The 10th international conference on Mobile systems, applications, and services; 25-29 June 2012; Low Wood Bay Lake District; UK. NY, USA: Association for Computing Machinery; 2012; pp. 225-238.