

# MỘT PHƯƠNG PHÁP PHÂN TÍCH HIỆU NĂNG MẠNG ADHOC SỬ DỤNG MÔ HÌNH GIẢI TÍCH

Lê Hữu Bình<sup>1,2,3,a</sup>, Võ Thanh Tú<sup>4,b</sup>, Nguyễn Văn Tam<sup>1,2,c</sup>

<sup>1</sup>Viện Công nghệ Thông tin, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup>Học viện Khoa học và Công nghệ, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>3</sup>Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Cao đẳng Công nghiệp Huế

<sup>4</sup>Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

<sup>a</sup> binh.lehuu@hueic.edu.vn, <sup>b</sup> vttu@hueuni.edu.vn, <sup>c</sup> nvtam46@gmail.com

**TÓM TẮT:** Công nghệ mạng tùy biến di động đã và đang được nhiều nhà nghiên cứu đặc biệt quan tâm trong thời gian gần đây. Để có cơ sở cho việc đánh giá hiệu năng mạng, việc nghiên cứu các phương pháp đánh giá hiệu năng là điều cần thiết và có ý nghĩa đặc biệt quan trọng. Trong bài báo này, chúng tôi tập trung nghiên cứu một mô hình giải tích toán học để đánh giá hiệu năng mạng tùy biến. Phương pháp được trình bày trong bài báo là sử dụng hệ thống hàng đợi M/M/1/K, kết hợp với lý thuyết xác suất thống kê và phương pháp tìm điểm bất động để phân tích xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ. Kết quả tính toán trên mô hình giải tích toán học được so sánh với kết quả mô phỏng để kiểm nghiệm tính phù hợp của các phương pháp nghiên cứu.

**Từ khóa:** Mạng tùy biến di động, hàng đợi M/M/1/K, đánh giá hiệu năng mạng.

## I. GIỚI THIỆU

Mạng tùy biến di động (Mobile Ad Hoc Networks - MANET) là một trong những mô hình mạng truy nhập đã và đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực, như quân sự, y tế, giáo dục, giao thông, hàng không, vận tải biển, nghiên cứu thám hiểm [1, 2]. Đặc trưng cơ bản của mạng MANET là các nút giao tiếp ngang hàng với nhau qua môi trường không dây, không có trung tâm điều khiển. Mỗi nút có thể hoạt động vừa như một máy chủ, vừa như một thiết bị định tuyến. Topô mạng biến đổi động theo sự di chuyển của nút. Vì vậy, bảng định tuyến tại mỗi nút cũng phải được cập nhật thường xuyên tùy thuộc vào trạng thái mạng.

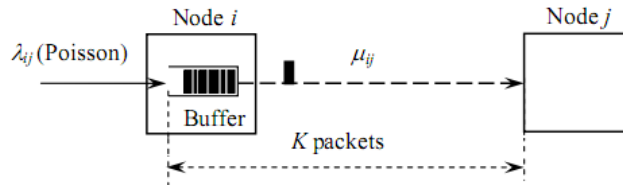
Để nâng cao hiệu năng mạng, đã có nhiều công trình nghiên cứu trong thời gian gần đây tập trung vào các giao thức điều khiển truyền dữ liệu nhằm giảm xác suất nghẽn, giảm độ trễ truyền tải, nâng cao thông lượng mạng [3, 4, 5, 6]. Để đánh giá hiệu năng mạng theo các giao thức điều khiển được đề xuất, chúng ta có thể sử dụng mô hình mô phỏng, mô hình giải tích toán học hoặc đo bằng thực nghiệm. Với phương pháp mô phỏng, chúng ta có thể sử dụng các phần mềm mô phỏng đang được sử dụng phổ biến hiện nay như NS-2 [7], OMNeT++ [8] hoặc OPNET [9]. Các tác giả trong [3, 4, 5, 6] đã sử dụng phương pháp mô phỏng để đánh giá hiệu năng của các giao thức được đề xuất. Với phương pháp sử dụng mô hình giải tích toán học, ta có thể sử dụng lý thuyết hàng đợi, lý thuyết xác suất thống kê và dựa trên các giả thiết về đặc tính lưu lượng đầu vào để phân tích hệ thống. Phương pháp này cũng đã được sử dụng cho việc đánh giá hiệu năng của hệ thống mạng có dây [10, 11]. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng phương pháp đã được nghiên cứu trong [10, 11] cho mạng MANET. Hệ thống hàng đợi M/M/1/K được sử dụng để phân tích xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên mỗi cổng ra của nút mạng MANET. Sau đó, sử dụng lý thuyết xác suất thống kê kết hợp với phương pháp tìm điểm bất động để tính toán xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên toàn mạng và độ trễ trung bình.

Các phần tiếp theo của bài báo được tổ chức như sau: Phần II trình bày phương pháp phân tích xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ và độ trễ trên một cổng ra của nút mạng MANET sử dụng hệ thống hàng đợi M/M/1/K. Phần III trình bày mô hình giải tích để phân tích xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên toàn mạng và độ trễ trung bình khi biết thuật toán định tuyến được sử dụng. Phần IV so sánh các kết quả tính toán trên mô hình giải tích với kết quả mô phỏng trên OMNeT++. Cuối cùng, phần V là các kết luận và trình bày các hướng phát triển tiếp theo.

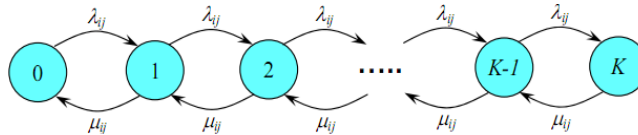
## II. MÔ HÌNH GIẢI TÍCH PHÂN TÍCH MỘT CỔNG RA CỦA NÚT MẠNG MANET

### A. Tính xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ

Xét một kết nối không dây từ nút  $i$  đến nút  $j$  trong mạng MANET ( $c_{ij}$ ), trong trường hợp lưu lượng phân phối đến kết nối  $c_{ij}$  tuân theo quy trình phân phối Poisson, thời gian truyền gói trên kênh truyền theo quy trình hàm mũ, khi đó một kết nối  $c_{ij}$  trong mạng tương đương với một mô hình hàng đợi M/M/1/K như cho thấy ở Hình 1, với  $K$  là tổng số gói dữ liệu tối đa trong hệ thống, bao gồm tổng số gói trong bộ đệm và gói đang truyền trên kênh truyền.



Hình 1. Mô hình một công ra của nút mạng tùy biến di động



Hình 2. Lược đồ chuyển đổi trạng thái một công ra của nút mạng tùy biến theo mô hình hàng đợi M/M/1/K

Gọi  $\lambda_{ij}$  là tốc độ đến trung bình của các gói dữ liệu muốn truyền qua kênh  $c_{ij}$ , thời gian phục vụ các gói dữ liệu theo phân phối hàm mũ với tốc độ trung bình là  $\mu_{ij}$ . Từ đó ta có lược đồ chuyển đổi trạng thái của hệ thống được minh họa như ở Hình 2 [12]. Gọi  $P_{ij}^{(n)}$  là xác suất hệ thống ở trạng thái  $n$ , nghĩa là xác suất có  $n$  gói dữ liệu trong hệ thống, ta có hệ phương trình cân bằng trạng thái sau đây [13]:

$$\begin{cases} \lambda_{ij}P_{ij}^{(0)} = \mu_{ij}P_{ij}^{(1)} & \text{Nếu } n = 0 \\ (\lambda_{ij} + \mu_{ij})P_{ij}^{(n)} = \lambda_{ij}P_{ij}^{(n-1)} + \mu_{ij}P_{ij}^{(n+1)} & \text{Nếu } n \in [1, K - 1] \\ \lambda_{ij}P_{ij}^{(K-1)} = \mu_{ij}P_{ij}^{(K)} & \text{Nếu } n = K \end{cases} \quad (1)$$

Bằng cách giải hệ phương trình trạng thái (1) [13], ta thu được phương trình xác định xác suất hệ thống ở trạng thái  $n$  như sau:

$$P_{ij}^{(n)} = \begin{cases} \frac{\rho_{ij}^n (1 - \rho_{ij})}{1 - \rho_{ij}^{K+1}} & \text{Nếu } \rho_{ij} \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & \text{Nếu } \rho_{ij} = 1 \end{cases} \quad (2)$$

trong đó,  $\rho_{ij} = \lambda_{ij}/\mu_{ij}$  là mật độ lưu lượng phân phối đến kết nối  $c_{ij}$ . Đối với các gói dữ liệu muốn truyền từ nút  $i$  đến nút  $j$ , gói dữ liệu sẽ bị hủy bỏ trong trường hợp gói đến tại thời điểm bộ đệm đầy và kênh truyền  $c_{ij}$  đang ở trạng thái bận, nghĩa là trong hệ thống đang có  $K$  gói dữ liệu. Vì vậy, xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ được xác định như sau:

$$B_{ij} \equiv P_{ij}^{(K)} = \begin{cases} \frac{\rho_{ij}^K (1 - \rho_{ij})}{1 - \rho_{ij}^{K+1}} & \text{Nếu } \rho_{ij} \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & \text{Nếu } \rho_{ij} = 1 \end{cases} \quad (3)$$

Phương trình (3) cho phép chúng ta có thể tính toán xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ trên một công ra của nút mạng tùy biến khi biết mật độ lưu lượng phân phối đến công ra này và kích thước của hàng đợi.

**B. Độ trễ trên một bước truyền**

Độ trễ trên một bước truyền từ nút  $i$  đến nút  $j$  ( $\tau_{ij}$ ) được xác định bằng tổng thời gian mà một gói dữ liệu được truyền từ nút  $i$  đến nút  $j$ .  $\tau_{ij}$  bao gồm 4 thành phần, đó là trễ xử lý ( $\tau_p$ ), trễ hàng đợi ( $\tau_q$ ), trễ truyền dẫn ( $\tau_t$ ) và trễ truyền tải qua môi trường vô tuyến ( $\tau_r$ ) [15]. Do vậy,  $\tau_{ij}$  được xác định bởi:

$$\tau_{ij} = \tau_p + \tau_q + \tau_t + \tau_r \quad (4)$$

Trong trường hợp trễ xử lý và trễ truyền tải qua môi trường vô tuyến đủ nhỏ để có thể bỏ qua,  $\tau_{ij}$  phụ thuộc vào hai thành phần chính, đó là  $\tau_t$  và  $\tau_q$ .  $\tau_t$  được xác định dựa trên băng thông kênh và kích thước gói dữ liệu.  $\tau_q$  được xác định dựa trên nguyên lý hàng đợi được sử dụng tại các nút mạng. Trong mô hình của chúng tôi, hệ thống hàng đợi M/M/1/K được sử dụng tại mỗi nút, do vậy  $\tau_q$  được xác định bởi:

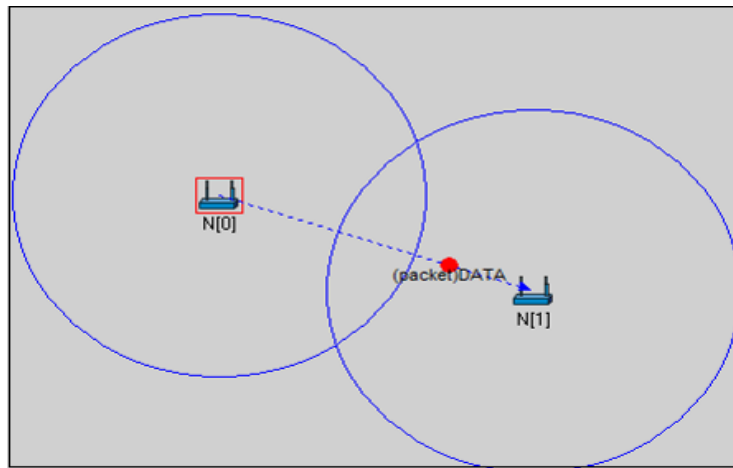
$$\tau_q = \frac{\bar{N}}{\lambda_{ij}(1 - P_{ij}^{(K)})} + \frac{1}{\mu_{ij}} \quad (5)$$

trong đó,  $\bar{N}$  là chiều dài hàng đợi trung bình, được xác định như sau [16]:

$$\bar{N} = \begin{cases} \frac{\rho_{ij}}{1-\rho_{ij}} - \frac{\rho_{ij}(K\rho_{ij}^K + 1)}{1-\rho_{ij}^{K+1}} & \text{Nếu } \rho \neq 1 \\ \frac{K(K-1)}{2(K+1)} & \text{Trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (6)$$

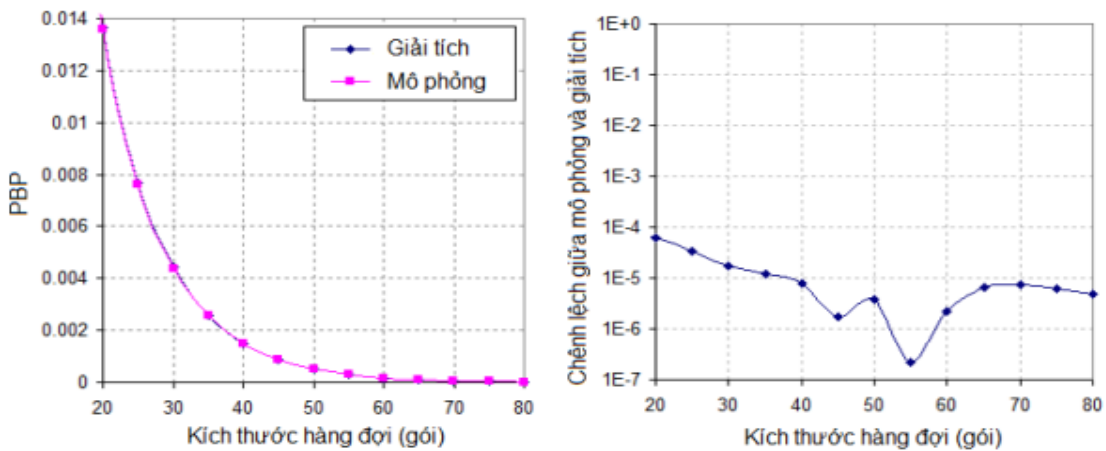
**C. So sánh kết quả tính toán trên mô hình toán học và kết quả mô phỏng**

Để thấy rõ xác suất hủy bỏ gói dữ liệu trên một công ra của nút mạng tùy biến theo mô hình giải tích toán học đã được phân tích ở trên, chúng tôi đã tiến hành tính toán số học theo phương trình (3). Đồng thời, chúng tôi cũng tiến hành mô phỏng trên một công ra của nút mạng tùy biến để so sánh với kết quả tính toán trên mô hình giải tích toán học. Mô phỏng được triển khai trên OMNeT++ [8], thực thi trên mô hình mà chúng tôi đã triển khai trong [14]. Kích bản mô phỏng được thiết lập như ở Hình 3, tậpô mạng gồm có hai nút, nút 0 là nguồn phát dữ liệu, nút 1 là nút nhận dữ liệu. Nút 0 thực hiện truyền dữ liệu cho nút 1 qua kênh  $c_{01}$  theo chuẩn IEEE 802.11ac, với tốc độ dữ liệu là 1,73Gbit/s. Lưu lượng phát sinh tại nút 0 là ngẫu nhiên và theo quy trình Poisson, thời gian phục vụ các gói dữ liệu trên kênh  $c_{01}$  theo quy trình hàm mũ.

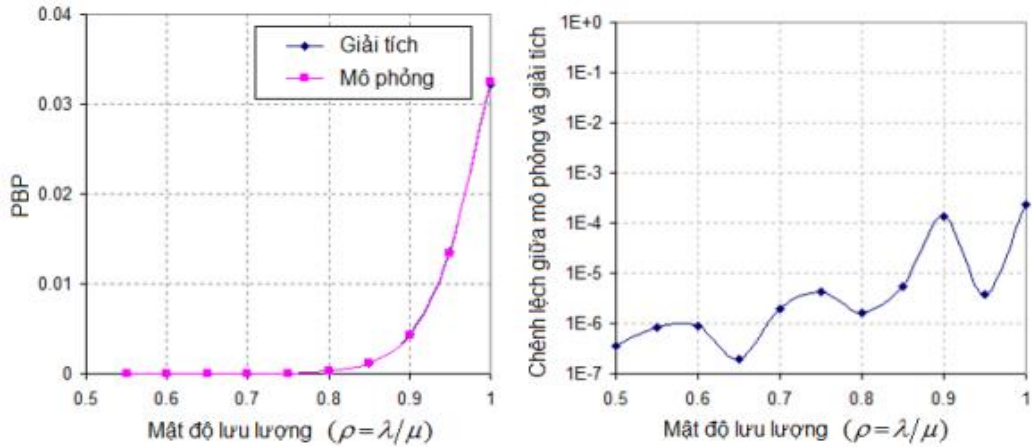


**Hình 3.** Tậpô mạng không dây tùy biến có 2 nút sử dụng trong mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích toán học

Các kết quả thu được trên Hình 4 cho thấy xác suất hủy bỏ gói dữ liệu (Packet Blocking Probability - PBP) theo sự thay đổi của kích thước hàng đợi. Các kết quả này được thực hiện theo hai phương pháp, tính toán trên mô hình giải tích và thống kê qua mô phỏng. Từ các đồ thị trên Hình 4 ta thấy rằng, PBP giảm dần khi kích thước hàng đợi tăng. Trong trường hợp này, chúng tôi thiết lập mật độ lưu lượng là 0,9. Kết quả mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích gần như giống nhau, sự chênh lệch về kết quả của hai phương pháp nằm trong khoảng từ  $10^7$  đến  $10^4$ . Khi mật độ lưu lượng thay đổi, kết quả thu được như ở Hình 5. Ta thấy rằng, PBP tăng dần theo sự tăng của mật độ lưu lượng. Trong trường hợp này, sự chênh lệch về kết quả của hai phương pháp nằm trong khoảng từ  $10^7$  đến  $10^3$ . Các kết quả này đã thể hiện được sự tương đương khi thực thi bằng 2 phương pháp, mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích.



**Hình 4.** So sánh PBP của phương pháp mô phỏng và giải tích khi kích thước hàng đợi thay đổi



Hình 5. So sánh PBP của phương pháp mô phỏng và giải tích khi mật độ lưu lượng thay đổi

### III. MÔ HÌNH GIẢI TÍCH ĐÁNH GIÁ HIỆU NĂNG MẠNG MANET

Trong phần này, chúng tôi trình bày một mô hình giải tích để phân tích xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ và độ trễ trong mạng MANET. Mô hình này được phát triển từ mô hình của các tác giả trong [10, 11] sử dụng cho mạng có dây, cụ thể là mạng chuyên mạch chùm quang. Trong [10, 11], các tác giả đã sử dụng hệ thống hàng đợi M/M/c/c để phân tích nút mạng chuyên mạch chùm quang. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng mô hình của [10, 11] cho mạng MANET, đồng thời sử dụng hệ thống hàng đợi M/M/1/K để phân tích nút mạng như đã trình bày ở phần II.

#### A. Phân tích xác suất hủy bỏ gói dữ liệu

Xét lộ trình  $r_{sd}$  là lộ trình truyền dữ liệu từ nút nguồn ( $s$ ) đến nút đích ( $d$ ) trong mạng không dây tùy biến, với mỗi kết nối  $c_{ij}$  trong mạng, một gói dữ liệu được truyền từ  $s$  theo lộ trình  $r_{sd}$  đến kết nối  $c_{ij}$  khi và chỉ khi kết nối  $c_{ij}$  thuộc lộ trình  $r_{sd}$ , và gói dữ liệu này không bị loại bỏ trên các kết nối trước đó mà lộ trình  $r_{sd}$  đi qua. Vì vậy, nếu gọi  $\rho_{ij}^{(sd)}$  là mật độ lưu lượng phân phối đến lộ trình  $r_{sd}$ , ta có lưu lượng phân phối đến mỗi kết nối  $c_{ij}$  trong mạng bởi một lộ trình  $r_{sd}$  được xác định bởi:

$$\rho_{ij}^{(sd)} = \frac{\lambda^{(sd)}}{\mu_{ij}} x_{ij}^{(sd)} \pi_i^{(sd)} \quad (7)$$

trong đó,  $x_{ij}^{(sd)}$  là vector lựa chọn lộ trình để xác định kết nối  $c_{ij}$  có thuộc lộ trình  $r_{sd}$  hay không, được xác định bởi:

$$x_{ij}^{(sd)} = \begin{cases} 1 & \text{Nếu lộ trình } r_{sd} \text{ có đi qua kết nối } c_{ij} \\ 0 & \text{Trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (8)$$

$\pi_i^{(sd)}$  là xác suất gói dữ liệu được truyền thành công từ nút nguồn ( $s$ ) đến kết nối  $c_{ij}$ , nghĩa là xác suất gói dữ liệu không bị loại bỏ trên các kết nối đứng trước kết nối  $c_{ij}$  thuộc lộ trình  $r_{sd}$ .  $\pi_i^{(sd)}$  được xác định bởi:

$$\pi_i^{(sd)} = \prod_{L_{sv}^{sd} \leq L_{si}^{sd}} (1 - x_{uv}^{(sd)} B_{uv}) \quad (9)$$

trong đó,  $L_{sk}^{(sd)}$  là khoảng cách từ  $s$  đến  $k$  dọc theo lộ trình  $r_{sd}$ ,  $B_{uv}$  là xác suất gói dữ liệu bị loại bỏ trên kết nối  $c_{uv}$ . Thay (9) vào (7) ta có:

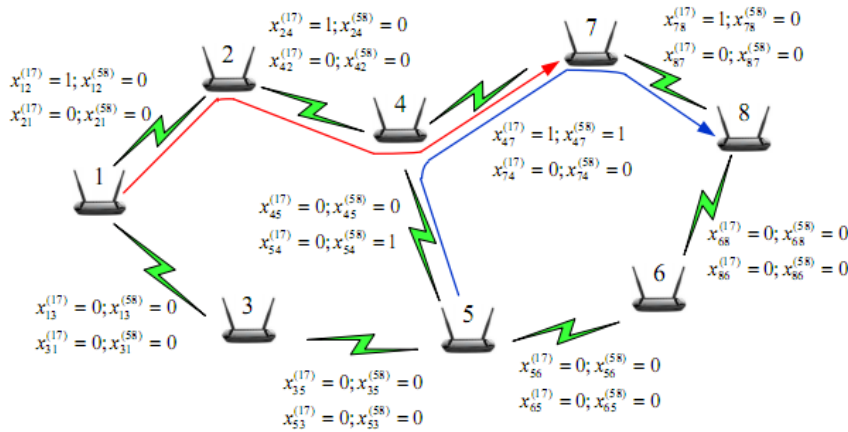
$$\rho_{ij}^{(sd)} = \frac{\lambda^{(sd)}}{\mu_{ij}} x_{ij}^{(sd)} \prod_{L_{sv}^{sd} \leq L_{si}^{sd}} (1 - x_{uv}^{(sd)} B_{uv}) \quad (10)$$

Lưu lượng phân phối đến tất cả các kết nối trong mạng được xác định bởi ma trận:

$$\rho = \mathbf{P}_{ij} \quad (11)$$

trong đó,  $\rho_{ij}$  là mật độ lưu lượng phân phối đến kết nối  $c_{ij}$  bởi tất cả các lộ trình truyền dữ liệu, được xác định bởi:

$$\rho_{ij} = \sum_{r_{sd} \in R} \rho_{ij}^{(sd)} = \sum_{r_{sd} \in R} \left( \frac{\lambda^{(sd)}}{\mu_{ij}} x_{ij}^{(sd)} \prod_{L_{sv}^{sd} \leq L_{si}^{sd}} (1 - x_{uv}^{(sd)} B_{uv}) \right) \quad (12)$$



Hình 6. Một tập mạng MANET có 2 lộ trình truyền dữ liệu

Để thấy rõ cách tính lưu lượng yêu cầu đến một kết nối trong mạng tùy biến theo phương trình (12), xét một ví dụ như ở Hình 6. Giả sử tại thời điểm đang xét có 2 lộ trình truyền dữ liệu là  $r_{17}$  ( $1 \rightarrow 2 \rightarrow 4 \rightarrow 7$ ) và  $r_{58}$  ( $5 \rightarrow 4 \rightarrow 7 \rightarrow 8$ ). Theo phương trình (12) ta có, mật độ lưu lượng trên kết nối từ nút 4 đến nút 7 được tính như sau:

$$\rho_{47} = \frac{\lambda^{(17)}}{\mu_{47}} x_{47}^{(17)} \prod_{L_{1v}^{(17)} \leq L_{4i}^{(17)}} (1 - x_{uv}^{(17)} B_{uv}) + \frac{\lambda^{(58)}}{\mu_{47}} x_{47}^{(58)} \prod_{L_{5v}^{(58)} \leq L_{4i}^{(58)}} (1 - x_{uv}^{(58)} B_{uv}) \quad (13)$$

$$= \frac{\lambda^{(17)}}{\mu_{47}} (1 - B_{12})(1 - B_{24}) + \frac{\lambda^{(58)}}{\mu_{47}} (1 - B_{54}) \quad (14)$$

Sau khi xác định được ma trận phân phối lưu lượng đến tất cả các kết nối trong mạng theo (18), ta dễ dàng xác định được ma trận biểu diễn xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ trên mỗi kết nối như sau:

$$B = [B_{ij}]_{n \times n} \quad (15)$$

trong đó,  $B_{ij}$  là xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ trên kết nối từ nút  $i$  đến nút  $j$ , được xác định theo phương trình (3). Từ các phương trình (3) và (12) ta có hệ phương trình mô tả mật độ lưu lượng và xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên tất cả các kết nối trong mạng tùy biến như sau:

$$\begin{cases} \rho_{ij} = \sum_{r_{sd} \in R} \left( \frac{\lambda^{(sd)}}{\mu_{ij}} x_{ij}^{(sd)} \prod_{L_{sv}^{sd} \leq L_{si}^{sd}} (1 - x_{uv}^{(sd)} B_{uv}) \right) & (a) \\ B_{ij} \equiv P_{ij}^{(K)} = \begin{cases} \frac{\rho_{ij}^K (1 - \rho_{ij})}{1 - \rho_{ij}^{K+1}} & \text{Nếu } \rho_{ij} \neq 1 \\ \frac{1}{K+1} & \text{Nếu } \rho_{ij} = 1 \end{cases} & (b) \end{cases} \quad (16)$$

Bằng việc giải hệ phương trình (16), ta tìm được xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên tất cả các kết nối trong mạng MANET. Từ đó, xác suất các gói dữ liệu bị hủy bỏ trên một lộ trình  $r_{sd}$  được xác định như sau [10, 11]:

$$B^{(sd)} = 1 - \prod_{c_{ij} \in r_{sd}} (1 - B_{ij}) \quad (17)$$

Từ đó, xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ trên toàn mạng được xác định như sau [10, 11]:

$$B_{nets} = \frac{1}{\sum_{r_{sd} \in R} (\lambda_{sd})} \sum_{r_{sd} \in R} (\lambda_{sd} B^{(sd)}) \quad (18)$$

Ta thấy rằng, (18) là một hệ phương trình có nhiều ẩn số, các ẩn số là tập giá trị mô tả mật độ lưu lượng trên các kết nối ( $\rho = \{\rho_{ij}\}$ ) và tập giá trị biểu thị xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ trên tất cả các kết nối không dây của mạng MANET ( $B = \{B_{ij}\}$ ). Do vậy, việc giải hệ phương trình này để tìm các tập  $\rho$  và  $B$  là rất khó khăn. Phương pháp gần đúng sử dụng lý thuyết điểm cố định Erlang (EFP) thường được sử dụng để giải hệ phương trình này [10, 11]. Có nhiều phương pháp để cài đặt thuật toán EFP. Trong bài báo này, EFP được cài đặt theo các bước như ở thuật toán 1.

**Thuật toán 1:** Thuật toán EFP giải hệ phương trình (23)

- 1:  $\varepsilon \leftarrow 1e-6$ ;
- 2:  $n \leftarrow 0$ ;
- 3: Thiết lập một tập giá trị xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ  $B^{(0)} = \{0\}$ , đây được xem là trạng thái ban đầu của hệ thống;
- 4: **repeat**
- 5:    $n \leftarrow n + 1$ ;
- 6:   Tính  $\rho^{(n)} = \{\rho_{ij}\}^{(n)}$  theo phương trình (16a);
- 7:   Tính  $B^{(n)} = \{B_{ij}\}^{(n)}$  theo phương trình (16b);
- 8: **until**  $(|B^{(n)} - B^{(n-1)}|) < \varepsilon$

Sau khi thực thi thuật toán EFP, tập giá trị  $B^{(m)}$  thu được tại trạng thái  $m$  nào đó được gọi là điểm cố định Erlang (EFP).

**B. Phân tích thời gian trễ**

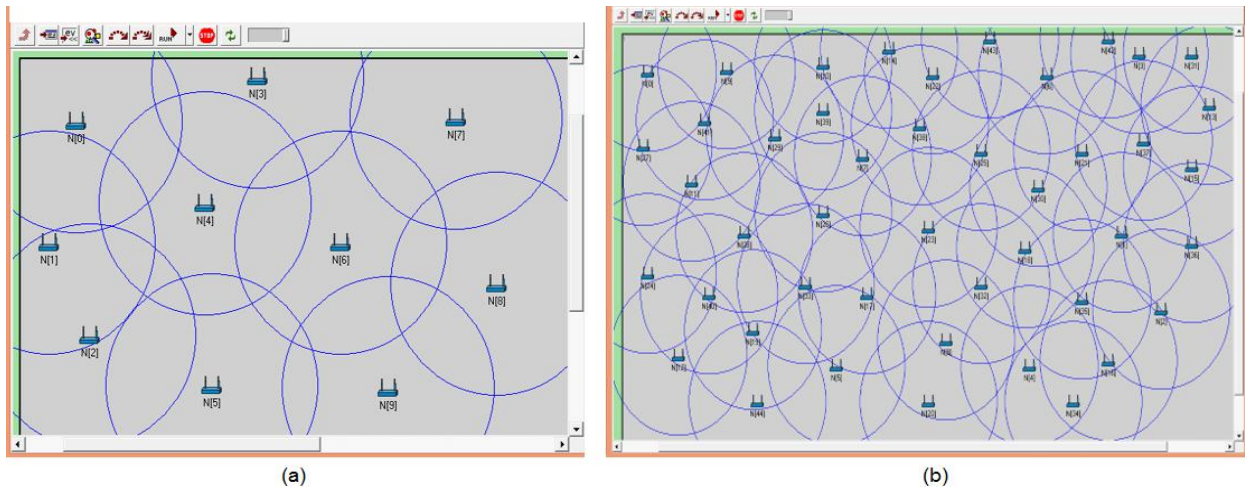
Thời gian trễ của một gói dữ liệu khi truyền từ nút nguồn đến nút đích ( $\tau_{sd}$ ) (End-to-End delay) được xác định bằng tổng thời gian trễ khi truyền qua tất cả các bước truyền mà gói dữ liệu đi qua. Do vậy,  $\tau_{sd}$  được xác định bởi:

$$\tau_{sd} = \sum_{\forall c_{ij} \in r_{sd}} (\tau_{ij}) \quad (19)$$

trong đó,  $\tau_{ij}$  là thời gian trễ trên bước truyền  $c_{ij}$ . Như đã phân tích ở phần II.B,  $\tau_{ij}$  bao gồm bốn thành phần, đó là trễ xử lý, trễ hàng đợi, trễ truyền dẫn và trễ truyền tải qua môi trường vô tuyến, được xác định theo phương trình (4).

**IV. SO SÁNH KẾT QUẢ TÍNH TOÁN TRÊN MÔ HÌNH TOÁN HỌC VÀ KẾT QUẢ MÔ PHỎNG**

Để thấy rõ xác suất hủy bỏ gói dữ liệu trên mạng tùy biến theo mô hình giải tích toán học đã được phân tích ở trên, chúng tôi đã tiến hành tính toán số học theo hệ phương trình (16). Đồng thời, chúng tôi cũng tiến hành mô phỏng để so sánh với kết quả tính toán trên mô hình giải tích toán học. Mô phỏng được triển khai trên OMNeT++ [8], thực thi trên mô hình mà chúng tôi đã triển khai trong [14]. Mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích toán học được thực hiện trên hai tập dữ liệu khác nhau, trong đó có một tập dữ liệu kích thước nhỏ với tổng số nút là 10 và một tập dữ liệu kích thước lớn với tổng số nút là 45 (Hình 7). Giao thức MAC được sử dụng là 802.11ac, tốc độ dữ liệu trên mỗi kênh truyền là 1.73 Gbit/s, lưu lượng được phân phối đều giữa tất cả các cặp nút nguồn/đích trong mạng.

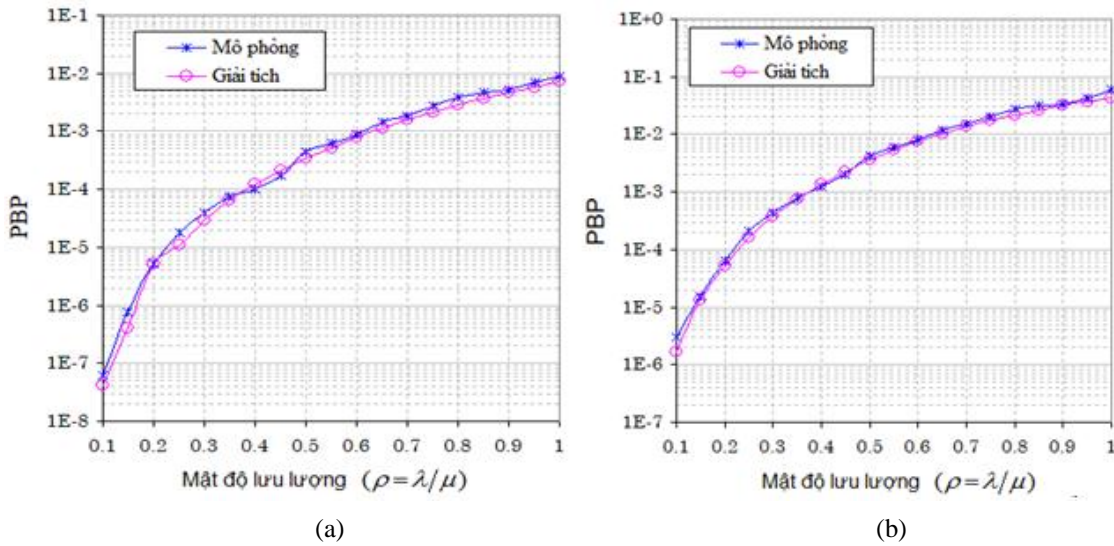


**Hình 7.** Các tập dữ liệu mạng MANET sử dụng trong mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích toán học: (a) 10 nút và (b) 50 nút

**A. So sánh xác suất hủy bỏ gói dữ liệu**

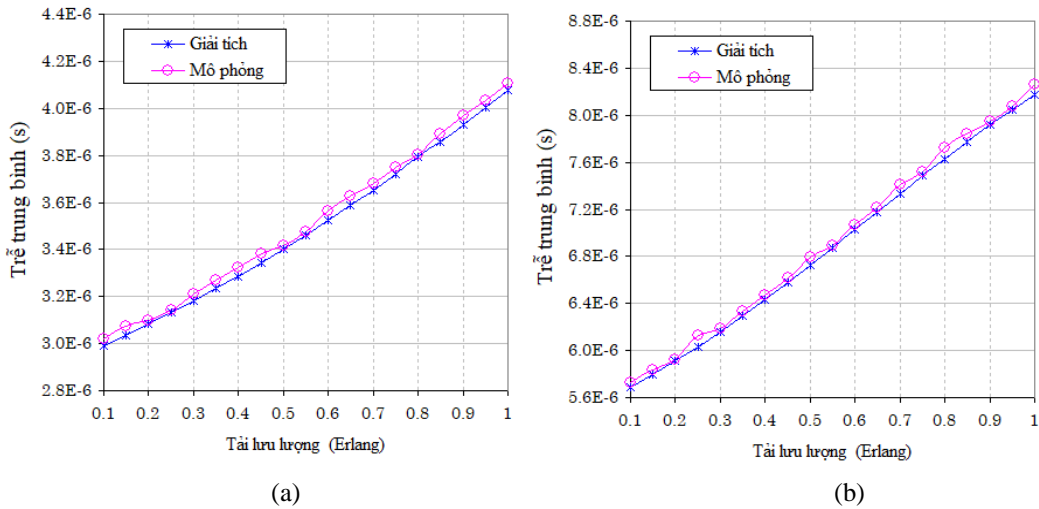
Kết quả trên Hình 8 là PBP thu được bằng cả hai phương pháp, đó là mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích toán học cho các trường hợp tập dữ liệu 10 nút (Hình 8a) và 50 nút (Hình 8b). Với trường hợp tập dữ liệu 10 nút (Hình 8a), khi mật độ lưu lượng trung bình trên mạng nhỏ hơn 0.4 thì PBP là rất nhỏ, nhỏ hơn  $10^{-4}$ . Khi mật độ lưu lượng tăng từ 0.4 đến 1 thì PBP tăng từ  $10^{-4}$  đến  $10^{-2}$ . Kết quả cũng hoàn toàn tương tự khi phân tích trên tập dữ liệu 50 nút như cho thấy trên Hình 8b. PBP lớn nhất là khoảng  $5 \times 10^{-2}$  trong trường hợp mật độ lưu lượng là 1 Erlang.

Kết quả đáng chú ý nhất là sai số giữa phương pháp mô phỏng và tính toán bằng mô hình giải tích toán học. Từ các đồ thị trên Hình 8 ta thấy rằng, khi mật độ lưu lượng nhỏ hơn 0.6 thì sai số giữa hai phương pháp gần như bằng 0, vì lúc này PBP là rất nhỏ. Khi mật độ lưu lượng lớn hơn 0.6 thì bắt đầu có sự sai khác giữa hai kết quả, tuy nhiên sự sai khác chỉ nằm trong giới hạn 0.3%.



**Hình 8.** So sánh PBP thực hiện bằng phương pháp mô phỏng và tính toán trên mô hình toán học trong các trường hợp: (a) Tốp 10 nút và (b) Tốp 50 nút

**B. So sánh thời gian trễ**



**Hình 9.** So sánh thời gian trễ khi thực hiện bằng phương pháp mô phỏng và tính toán trên mô hình giải tích cho các trường hợp: (a) Tốp 10 nút và (b) Tốp 50 nút

Các kết quả trên Hình 9 cho thấy thời gian trễ trung bình của các gói dữ liệu khi truyền từ nút nguồn đến nút đích. Các kết quả này được thực hiện bằng cả hai phương pháp, mô phỏng và tính toán trên mô hình toán học. Với phương pháp mô phỏng, thời gian trễ được đo từ khi gói dữ liệu được phát sinh tại nút nguồn đến khi nút đích nhận được gói dữ liệu. Với phương pháp mô phỏng, thời gian trễ được tính toán theo phương trình (19). Từ các đồ thị trên Hình 9 ta thấy rằng, kết quả của cả hai phương pháp là tương tự nhau. Điều này cho thấy sự phù hợp của các phương pháp nghiên cứu.

**V. KẾT LUẬN**

Để có cơ sở cho việc đánh giá hiệu năng mạng không dây tùy biến theo các giao thức điều khiển trong mạng, việc nghiên cứu và triển khai các mô hình phân tích mạng không dây tùy biến bằng mô phỏng và giải tích toán học là điều cần thiết do việc nghiên cứu bằng thực nghiệm đang còn rất khó khăn. Trong bài báo này, chúng tôi đã tập trung nghiên cứu một mô hình giải tích toán học để đánh giá hiệu năng mạng không dây tùy biến. Phương pháp được trình bày trong bài báo là sử dụng hệ thống hàng đợi M/M/1/K, kết hợp với lý thuyết xác suất thống kê và phương pháp tìm điểm bất động để phân tích xác suất gói dữ liệu bị hủy bỏ. Kết quả tính toán trên mô hình giải tích toán học và kết quả mô phỏng đã kiểm nghiệm tính phù hợp của các phương pháp nghiên cứu.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] S. Khan, A.-S. K. Pathan, and N. A. Alrajeh, *Wireless Sensor Networks - Current Status and Future Trends*. CRC Press, 2012.
- [2] S. K. Sarkar, T. G. Basavaraju, and C. Puttamadappa, *Ad Hoc Mobile Wireless Networks - Principles, Protocols, and Applications*. Taylor & Francis Group, LLC, 2008.
- [3] F. Alnajjar and Y. Chen, “SNR/RP aware Routing algorithm: Cross-layer Design for MANETs”, *International Journal of Wireless and Mobile Networks (IJWMN)*, vol. 1, no. 2, pp. 127–136, 2009.
- [4] E. Kulla, M. Ikeda, L. Barolli, F. Xhafa, M. Younas, and M. Takizawa, “Investigation of AODV Throughput Considering RREQ, RREP and RERR Packets,” in *Proceedings of 27th International Conference on Advanced Information Networking and Applications, (Barceona, Spain)*, pp. 169–174, Mar 2013.
- [5] F. Alnajjar, “SNR/RP Aware Routing Model for MANETs,” *Journal of Selected Areas in Telecommunications (JSAT)*, pp. 40–48, 2011.
- [6] J. Y. Kim, G. S. Tomar, L. Shrivastava, S. S. Bhadauria, and W. H. Lee, “Load Balanced Congestion Adaptive Routing for Mobile Ad Hoc Networks,” *International Journal of Distributed Sensor Networks*, vol. 2014, 2014. [Online]. Available: <http://dx.doi.org/10.1155/2014/532043>.
- [7] K. Fall and K. Varadhan, *The ns Manual (formerly ns Notes and Documentation)*. 2011. [Online]. Available: <https://www.isi.edu/nsnam/ns/doc/>.
- [8] A. Varga, OMNeT++ Discrete Event Simulation System, Release 4.6. 2015. [Online]. Available: <http://www.omnetpp.org>.
- [9] OPNET. [Online]. Available: <http://www.opnet.com/>.
- [10] Z. Rosberg, HaiLeVu, M. Zukerman, and J. White, “Blocking Probabilities of Optical Burst Switching Networks Based on Reduced Load Fixed Point Approximations,” *IEEE INFOCOM*, vol. 3, pp. 2008–2018, 2003.
- [11] T. Venkatesh, *An analytical approach to Optical Burst Switched networks*. Springer, 2010.
- [12] C. G. Cassandras and S. Lafortune, *Introduction to Discrete Event Systems - Second Edition*. Springer Science+Business Media, LLC, 2008.
- [13] N. T. Thomopoulos, *Fundamentals of Queuing Systems Statistical Methods for Analyzing Queuing Models*. Springer Science+Business Media, New York, 2012.
- [14] L. H. Binh, V. T. Tu, and N. V. Tam, “Quality of Transmission Aware Routing in Adhoc networks based on Cross-Layer Model combined with the Static Agent,” *Journal of Computer Science and Cybernetics*. Vol.32, No.4, 2016, pp.351–366.
- [15] D. Bertsekas and R. Gallager, *Data Networks - Second Edition*, Prentice-Hall, 1992.
- [16] Donald G., John F. Shortie, James M. T. and Carl M. H., *Fundamentals of Queueing Theory, Fourth Edition*, John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey, 2008.

## A METHOD TO EVALUATE THE PERFORMANCE OF MOBILE ADHOC NETWORKS USING ANALYTICAL MODEL

**Le Huu Binh, Vo Thanh Tu, Nguyen Van Tam**

**ABSTRACT:** Mobile Adhoc Networks technology has been attracted significant research interests recently. In order to have a basis for evaluating network performance, the studying the methods of performance evaluation is essential. In this paper, we focus on the studying a analytical model for the evaluating performance of Mobile Adhoc Networks. The method presented in this paper is to use the M/M/1/K queuing system in combined with statistical probability theory and the Erlang fixed point method to analyze the blocking probability of data packet. Calculated results on the mathematical model were compared with the simulation results to confirm the validity of the research methods.