

CẢI THIỆN HIỆU NĂNG FANET ỨNG DỤNG TRONG TÌM KIẾM CỨU NẠN: THAM SỐ MÔ HÌNH DI ĐỘNG VÀ CHIẾN LƯỢC TRIỂN KHAI

Mai Cường Thọ^{1,2}, Nguyễn Thị Hương Lý², Nguyễn Quốc Cường^{1,3}, Lê Hữu Bình¹, Võ Thanh Tú¹

¹Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

²Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Nha Trang

³Khoa Khoa học Tự nhiên và Công nghệ, Trường Đại học Tây Nguyên

mctho@hueuni.edu.vn, lynth@ntu.edu.vn, nqcuong.dhkh23@hueuni.edu.vn, lhbinh@hueuni.edu.vn,
vttu@hueuni.edu.vn

TÓM TẮT: Việc sử dụng FANET cho các hoạt động tìm kiếm và cứu nạn đã thu hút được sự chú ý đáng kể do khả năng triển khai nhanh chóng các mạng truyền thông ở các vùng xa xôi và bị ảnh hưởng bởi thiên tai. Các giao thức định tuyến đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo truyền dữ liệu kịp thời và tin cậy về trạm điều khiển mặt đất. Tuy nhiên, đặc tính di động cao của các UAV làm hiệu quả của các giao thức định tuyến khó đạt được như kỳ vọng, phụ thuộc nhiều vào lựa chọn tham số cho mỗi mô hình di động và phạm vi hoạt động của UAV. Trong bài nghiên cứu này, chúng tôi khảo sát các mẫu di động của 2 mô hình di động Gauss-Markov và MassMobility, cùng với việc đề xuất giải pháp triển khai FANET cho hoạt động tìm kiếm cứu nạn. Theo giải pháp này, một khu vực tìm kiếm được chia thành các vùng cố định, các UAV được chỉ định hoạt động trong từng vùng cụ thể, tất cả các UAV hợp tác để gửi dữ liệu đến trạm điều khiển mặt đất. Kết quả mô phỏng trên OMNeT++ cho thấy sự thay đổi tham số của mô hình di động tác động đến hiệu quả định tuyến và sử dụng chiến lược triển khai đề xuất giúp cải thiện hiệu năng ở các chỉ số: tỉ lệ chuyển gói thành công, trễ đầu-cuối và thông lượng trung bình.

Từ khóa: FANET, SAR, Gauss-Markov, MassMobility, Tìm kiếm cứu nạn.

I. GIỚI THIỆU

Flying Ad-hoc NETwork (FANET) là mạng thiết bị bay không người lái (Unmanned Aerial Vehicle: UAV), được thiết lập bởi các nút mạng là các UAV theo cơ chế Ad-hoc. FANET là dạng đặc biệt của mạng tùy biến di động không dây MANET (Mobile Adhoc Network - MANET) [1, 2]. FANET có ưu điểm là khả năng hoạt động độc lập không phụ thuộc vào cơ sở hạ tầng mạng cố định, chi phí thấp, triển khai nhanh, các nút trong mạng phối hợp với nhau để truyền dữ liệu cho nhau cũng như truyền về trạm điều khiển mặt đất (Ground Control Station: GCS). FANET được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau của đời sống xã hội như tìm kiếm cứu nạn, giám sát theo dõi, trinh sát quân sự, mạng chuyên tiếp, giám sát môi trường,... [3]. Tính hiệu quả hoạt động tìm kiếm cứu nạn phụ thuộc hiệu quả truyền thông và hiệu quả thực hiện nhiệm vụ. Hiệu quả truyền thông phụ thuộc vào giao thức định tuyến, mô hình di động và chiến lược triển khai. Mô hình di động, tốc độ di chuyển, triển khai thưa, phạm vi rộng lớn là các yếu tố làm cấu trúc liên kết mạng thường xuyên thay đổi, ảnh hưởng đến hiệu quả truyền thông giữa các UAV với nhau và UAV với GCS. Sự di động của UAV trên một khu vực rộng lớn còn gây ra vấn đề phân mảnh mạng, nơi các UAV di chuyển dồn vào các khu vực cách xa nhau, hoặc các UAV bị cô lập [4]. Hiệu quả thực hiện nhiệm vụ cũng bị ảnh hưởng do tính di động của nút làm cho có những điểm quan sát được UAV quét nhiều lần (dư thừa) và cũng có những điểm quan sát mà UAV không di chuyển tới (bỏ sót), do vậy cần một giải pháp triển khai phù hợp ứng dụng.

Xét ở khía cạnh hiệu quả định tuyến, không có một giao thức định tuyến nào phù hợp cho các ứng dụng khác nhau của FANET, bởi mô hình di động khác nhau thì cách thức di chuyển của nút khác nhau, ảnh hưởng lớn đến hiệu quả định tuyến. Trong khi mỗi ứng dụng của FANET cần một mô hình di động phù hợp [5, 6]. Với quan sát của mình, chúng tôi nhận thấy rằng, ngay trong cùng một mô hình di động, hiệu quả định tuyến còn phụ thuộc vào việc thiết lập giá trị cho các tham số của mô hình đó.

Nhiều nghiên cứu khác nhau đã được thực hiện nhằm tìm ra mô hình, cải tiến và xây dựng mới mô hình di động phù hợp cho từng lĩnh vực ứng dụng của FANET [3, 5, 7, 8]. Trong đó mô hình di động Gauss-Markov được giới thiệu là một trong các mô hình phù hợp cho kịch bản ứng dụng FANET cho hoạt động tìm kiếm và cứu nạn (Search And Rescue: SAR). Tuy thế mô hình di động này được đánh giá là chưa mô phỏng tốt hành vi di chuyển của UAV trong thực tế (tính ngẫu nhiên, sự tăng/giảm tốc và di chuyển trong không gian 2 chiều). MassMobility là một mô hình di động được giới thiệu trên OMNeT++/INET [9], và được giới thiệu là phù hợp cho di chuyển của UAV. Phân tích về 2 mô hình di động này được chúng tôi trình bày tại Mục III.

FANET được ứng dụng trong các kịch bản SAR như tìm kiếm người mất tích, ứng phó thiên tai, cứu nạn nơi hoang dã, tìm kiếm cứu nạn hàng hải, đánh giá và lập bản đồ thảm họa, tìm kiếm cứu nạn đô thị và phục hồi thông tin liên lạc. Trong ngữ cảnh này, các UAV thực hiện tìm kiếm, cảm nhận các mục tiêu trên mặt đất trong một khu vực xác định. FANET được sử dụng cho nhiệm vụ tìm kiếm cứu nạn lần đầu tiên trong cơn bão Katrina năm 2005, sau đó là thảm họa Fukushima năm 2011 và trong trận động đất ở Nepal vào tháng 4 năm 2015. Việc sử dụng FANET trong các nhiệm vụ SAR cải thiện hiệu suất và hiệu quả của các hoạt động tìm kiếm, cuối cùng góp phần mang lại kết quả cứu nạn thành công. Mặc dù mỗi quan tâm ngày càng tăng trong việc sử dụng FANET cho các hoạt động tìm kiếm và cứu nạn, vẫn cần có những nghiên cứu toàn diện tập trung vào các chiến lược triển khai tối ưu, giao thức truyền thông và thuật toán định tuyến dành riêng cho lĩnh vực này.

Khảo sát ảnh hưởng của việc thay đổi giá trị các tham số của 2 mô hình di động trên và tìm kiếm một chiến lược triển khai FANET, giá trị tham số phù hợp cho bài toán tìm kiếm cứu nạn là mục tiêu của nghiên cứu này của chúng tôi.

Các phần tiếp theo của bài báo được bố cục như sau: Mục II trình bày các nghiên cứu liên quan, Mục III là phương pháp và vật liệu nghiên cứu, chúng tôi trình bày phân tích 2 mô hình di động (Gauss-Markov và Mass Mobility), kịch bản ứng dụng FANET cho hoạt động tìm kiếm cứu nạn, mô tả chiến lược đề xuất Regioned FANET. Mục IV trình bày kết quả đánh giá bằng mô phỏng trên hệ mô phỏng OMNeT++. Cuối cùng là các kết luận và hướng phát triển tiếp theo được trình bày ở Mục V.

II. MỘT SỐ NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

Jun Li ccs. [10] giới thiệu 4 loại chính của kiến trúc mạng FANET: i) *Centralized UAV Network* (mạng có một nút trung tâm, tức là trạm mặt đất, nơi tất cả các UAV được kết nối); ii) *UAV Ad Hoc Network* hay *Single UAV Ad Hoc Network* (mạng không phụ thuộc vào một cơ sở hạ tầng cố sẵn và mỗi UAV sẽ tham gia vào chuyên tiếp dữ liệu cho các UAV khác của mạng, sử dụng một backbone UAV để kết nối với trạm mặt đất); iii) *Multi-Group UAV Ad Hoc Network* (các UAV được tổ chức thành các nhóm UAV, mỗi nhóm là một Single UAV Ad Hoc Network, mỗi nhóm có thể sử dụng giao thức truyền thông và giao thức định tuyến khác nhau tùy yêu cầu ứng dụng, các nhóm được tạo ra giúp truyền thông tin cậy và hiệu quả giữa các UAV thực hiện chức năng tương tự nhau hoặc giữa các UAV trong cùng một khu vực, UAV ở các nhóm khác nhau giao tiếp với nhau thông qua trạm mặt đất); iv) *Multi-Layer UAV Ad Hoc Network* (kiểu mạng được tổ chức theo theo cấu trúc phân cấp, các UAV trong một nhóm riêng lẻ tạo thành từng Single UAV Ad Hoc Network tương ứng với cấp thấp nhất của kiến trúc này; Các backbone UAV của các nhóm được kết nối lại tạo thành một single backbone UAV Ad-hoc Network cấp cao nhất, hoạt động như một mạng gateway kết nối UAV ở các cấp thấp với nhau và với trạm mặt đất. Giữa các cấp khác nhau sử dụng giao thức truyền thông và định tuyến khác nhau. Trong 4 kiến trúc này, kiến trúc Single UAV ad-hoc network là kiến trúc phẳng, đơn giản triển khai hơn so với kiến trúc nhiều nhóm và nhiều tầng. Tuy vậy, triển khai mạng theo kiến trúc này gặp phải các thách thức về chất lượng liên kết và phân mảnh mạng khi phải triển khai trên khu vực rộng. Kiến trúc phân nhóm và phân tầng giúp cải thiện vấn đề này nhưng việc triển khai các kiến trúc mạng này lại đặt ra các thách thức liên quan đến việc hình thành nhóm hoặc tầng, việc truyền thông liên nhóm, truyền thông liên tầng, vấn đề đồng bộ hóa và khả năng mở rộng.

Trong [11], Ahn và cộng sự đã phân tích ứng dụng của FANET trong hoạt động cứu trợ thiên tai, phân tích vấn đề bão quảng bá do cơ chế phát ngập lụt gói điều khiển của các giao thức định tuyến, và đề xuất giải pháp phân cụm phân cấp để giải quyết vấn đề này. FANET được tổ chức theo cấu trúc phân cụm, với 2 lớp gồm lớp các nút chủ cụm và lớp các nút biên. Các UAV trong mỗi cụm sử dụng truyền thông unicast để giao tiếp với cụm chủ, khi nhận được gói tin các nút chủ cụm thực hiện phát tràn ngập đến các nút chủ cụm khác theo một khe thời gian được xác định bởi giao thức đề xuất. Kết quả thực nghiệm trên hệ mô phỏng tự xây dựng dựa trên NS3 cho thấy hiệu quả của giao thức và cấu trúc mạng đề xuất, cải thiện hiệu năng nhờ giảm được lượng gói điều khiển ngập lụt trên toàn mạng. Tuy vậy, vấn đề hình thành cụm, hiệu quả truyền thông trong mỗi cụm, cũng như giữa các nút chủ cụm chưa được đề cập giải quyết ở giải pháp này, bởi tính di động của các nút trong cụm cũng như các cụm chủ ảnh hưởng đến các vấn đề này.

Nhằm xác định phạm vi giao tiếp của các UAV cũng như số UAV cần triển khai trên một khu vực tìm kiếm cứu nạn, D. A. Korneev [12] đã thực hiện nghiên cứu sử dụng mô hình di động Gauss-Markov. Với việc mô hình hóa kịch bản ứng dụng cho hoạt động tìm kiếm cứu nạn sử dụng các mini-UAV (các Drone), quét trên toàn bộ khu vực tìm kiếm để thu thập dữ liệu và truyền về GCS đặt tại trung tâm của khu vực tìm kiếm. Kết quả đánh giá được thực hiện thông qua mô phỏng trên NS2 với kịch bản diện tích vùng tìm kiếm $3600 \times 1200 \text{ m}^2$, phạm vi giao tiếp 100-1000 m, vận tốc UAV 0-10 m/s, giao thức định tuyến AODV và OLSR. Các tác giả kết luận triển khai số lượng 50 UAV, phạm vi giao tiếp của UAV 700 m, giao thức định tuyến AODV cho hiệu quả chuyển gói thành công tốt, lên tới 95%. Tuy vậy, phạm vi giao tiếp lớn hơn đương nhiên khả năng đứt liên kết giảm, thêm nữa tốc độ di chuyển chậm cũng làm tăng chất lượng liên kết, và do vậy hiệu quả định tuyến tất yếu sẽ tốt hơn.

Trong bài nghiên cứu đánh giá hiệu năng giao thức định tuyến AODV và OLSR cho kịch bản SAR, tác giả trong [13] cũng sử dụng mô hình di động Gauss-Markov cho cả 2 giao thức, kịch bản không gian tìm kiếm $3600 \times 1200 \text{ m}^2$, 50 UAV, phạm vi giao tiếp 600 m, tốc độ di chuyển 0-10 m/s, kết quả thử nghiệm qua mô phỏng cho thấy trên mô hình di động Gauss-Markov, cả hai giao thức định tuyến AODV và OLSR có thể được ứng dụng cho hoạt động SAR.

Trong [14] các tác giả triển khai và đánh giá hiệu quả của mô hình di động Gauss-Markov và Random Way Point (RWP) khi sử dụng cho kịch bản tìm kiếm và cứu nạn, các tác giả đã trình bày chi tiết 2 mô hình di động và thực hiện đánh giá qua mô phỏng với hệ mô phỏng NS3. Nghiên cứu khảo sát ảnh hưởng của tốc độ và kích thước gói tin đến các tham số hiệu năng mạng như tỉ lệ chuyển gói thành công, thông lượng hữu ích, trễ đầu cuối. Bảng mô phỏng với kịch bản diện tích vùng tìm kiếm $3600 \times 2400 \text{ m}^2$, phạm vi giao tiếp 300 m, vận tốc UAV 10-20 m/s, giao thức định tuyến AODV, 50UAV, mô hình di động Gauss-Markov cho hiệu quả tốt hơn so với RWP.

Ở các nghiên cứu liên quan trên, mô hình di động Gauss-Markov đều được sử dụng, nhưng chưa đánh giá ảnh hưởng của việc thiết lập giá trị tham số các mô hình, ngoài tham số về vận tốc di chuyển. Chiến lược triển khai trên FANET cơ bản theo kiến trúc Single UAV adhoc network, các UAV di chuyển rộng trên toàn khu vực tìm kiếm rộng

lớn, hiệu năng mạng có thể đạt được với mật độ UAV lớn, phạm vi giao tiếp rộng, tốc độ di chuyển không cao, GCS đặt ở trung tâm vùng tìm kiếm, nhưng thực tế khó có thể đặt GCS ở trung tâm của một vùng vừa xảy ra thảm họa. Phạm vi giao tiếp phụ thuộc vào chuẩn công nghệ truyền thông không dây và công suất phát được sử dụng ở UAV.

III. PHƯƠNG PHÁP VÀ VẬT LIỆU NGHIÊN CỨU

Các mô hình di động được xây dựng nhằm thể hiện chuyển động của các nút di động. Vai trò chính của mô hình di động là triển khai môi trường mô phỏng giống thực tế và đánh giá các tham số mạng cũng như hiệu quả của các giao thức định tuyến khác nhau. Vì vậy, việc lựa chọn các mô hình di động là rất quan trọng. Trong nhiều công trình nghiên cứu, mô hình di động Gauss-Markov được đánh giá là mô hình phù hợp cho kịch bản ứng dụng trong tìm kiếm cứu nạn. Nhưng việc tính ngẫu nhiên và hoạt động trong không gian 2 chiều trong mô hình di động này được đánh giá là chưa phù hợp với thực tế triển khai [15-17]. Trong phần này, ngoài việc khảo sát mô hình di động Gauss-Markov, chúng tôi muốn giới thiệu một khảo sát trên mô hình di động MassMobility - mô hình được đánh giá là phù hợp cho di chuyển của UAV. Đồng thời, đề xuất một chiến lược triển khai FANET hiệu quả bởi việc giảm vấn đề phân mảnh mạng và gia tăng hiệu quả thực hiện nhiệm vụ tìm kiếm cứu nạn. Kết quả khảo sát và đánh giá hiệu năng được trình bày ở Mục IV.

A. Mô hình di động MassMobility

MassMobility là một mô hình di chuyển cho các nút mạng di động được giới thiệu trên INET [18]. INET là một nền tảng lớn nhất và được sử dụng nhiều nhất trên hệ sinh thái của hệ mô phỏng OMNeT++, gồm các mô hình mô phỏng cho chồng giao thức TCP/IP, các giao thức truyền thông hữu tuyến, vô tuyến và các mô hình di động [19]. MassMobility mô hình hóa chuyển động của nút trong đó các nút có động lượng và do đó không bắt đầu, dừng hoặc quay đột ngột. Theo đó mỗi nút di động (Mobile host: MH) di chuyển theo quy luật sau:

MH di chuyển trong phòng theo phương thẳng trong một khoảng thời gian *changeInterval* trước khi rẽ. Khi rẽ, hướng (góc) mới mà MH sẽ di chuyển là một số ngẫu nhiên có phân phối chuẩn với giá trị trung bình bằng với hướng trước đó và độ lệch chuẩn là *angleDelta* độ. Tốc độ (*Speed*) của MH cũng được đặt cố định hoặc giá trị ngẫu nhiên có phân phối chuẩn, với tốc độ trung bình và độ lệch chuẩn nhất định. Việc di chuyển trong không gian 3 chiều được thực hiện qua tham số *rotationAxisAngle*.

MassMobility sử dụng Quaternion[20], một khái niệm toán học cho việc biểu diễn hướng di chuyển, và xoay của một vật thể có trọng lượng trong không gian 3 chiều, khác phục một số vấn đề tồn tại (tránh tình trạng Gimbal Lock, tích hợp quay mượt mà hơn, ổn định số học tốt hơn và tính toán hiệu quả trong ứng dụng thời gian thực) ở góc Euler thông thường [21]. Quaternion gồm bộ 4 thành phần: *w, a, b* và *c*

$$q = w + (a * i + b * j + c * k) \quad (1)$$

với *w* là phần thực của *q*, biểu diễn góc quay; $(a * i + b * j + c * k)$ là phần ảo của *q*, một vector 3 chiều, biểu diễn hướng (trục quay); *a, b, c* là thành phần thực; *i, j, k* là vectơ đơn vị của 3 trục X, Y, Z.

Trong cài đặt của mô hình di động này trong INET, một Quaternion được mã hóa bằng một hàm với 2 tham số gồm trục quay và góc quay *Quat(trục quay, góc quay)* tương tự như phép quay Euler, và thủ tục xác định vị trí mới của nút như sau:

Input: *angleDelta, speed, changeInterval, rotationAxisAngle*

Output: *P_new*

(1) $dQ = \text{Quat}(X, \text{rotationAxisAngle}) * \text{Quat}(Z, \text{angleDelta});$

(2) $q_new = q_old * dQ;$

(3) $\text{direction} = q_new.\text{rotate}(X);$

(4) $P_new = P_old + \text{direction} * \text{speed} * \text{changeInterval};$

B. Mô hình di động Gauss-Markov

Mô hình di động Gauss-Markov [22], là mô hình di động trong đó vận tốc của MH có tương quan theo thời gian ở nhiều mức độ khác nhau, được hiệu chỉnh thông qua một tham số. Ban đầu mỗi MH được ấn định tốc độ và hướng nhất định. Tại những khoảng thời điểm cố định *n*, chuyển động xảy ra bằng cách cập nhật tốc độ và hướng của mỗi MH. Cụ thể, giá trị của tốc độ và hướng tại thời điểm *n* được tính toán trên cơ sở giá trị của tốc độ và hướng tại thời điểm thứ *n-1* và một biến ngẫu nhiên theo phương trình:

$$s_n = \alpha s_{n-1} + (1 - \alpha)s' + \sqrt{(1 - \alpha)^2 s_{x_{n-1}}} \quad (2)$$

$$d_n = \alpha d_{n-1} + (1 - \alpha)d' + \sqrt{(1 - \alpha)^2 d_{x_{n-1}}} \quad (3)$$

với s_n, d_n là vận tốc (*Speed*) mới và hướng mới của mỗi MH sau mỗi khoảng thời gian *changeInterval*; s', d' là vận tốc và hướng trung bình; $0 \leq \alpha \leq 1$ là tham số được sử dụng để tạo ra tính ngẫu nhiên; giá trị của d' ảnh hưởng bởi tham số độ lệch chuẩn góc (*angleDelta*). Tọa độ của nút di động sau mỗi khoảng *changeInterval* được tính theo công thức:

$$\begin{cases} x_n = x_{n-1} + s_{n-1} * \cos d_{n-1} \\ y_n = y_{n-1} + s_{n-1} * \sin d_{n-1} \end{cases} \quad (4)$$

C. Chiến lược triển khai FANET đề xuất

1. Kịch bản ứng dụng FANET cho hoạt động SAR

Kịch bản chính được sử dụng trong bài báo này tập trung vào hoạt động tìm kiếm và cứu nạn. Để thực hiện nhiệm vụ này, hệ thống FANET được triển khai, trong đó các UAV được sử dụng để giám sát một khu vực cụ thể. Các mini-UAV được trang bị camera và cảm biến, chịu trách nhiệm giám sát toàn bộ khu vực và truyền thông tin về trạm mặt đất khi phát hiện mục tiêu [11, 12, 13].

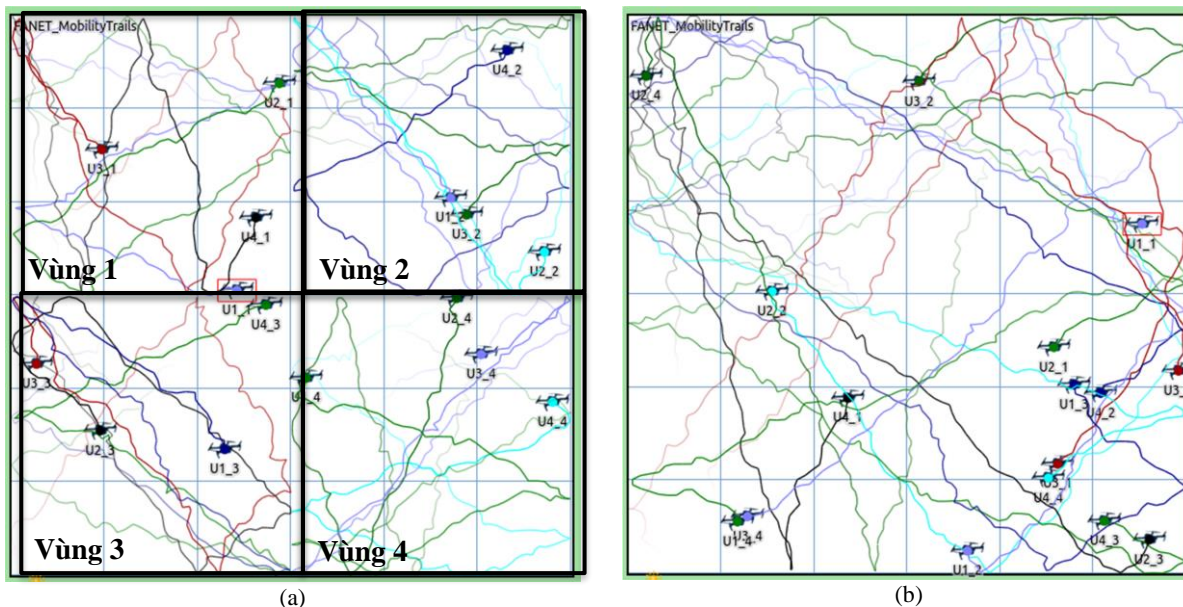
Sử dụng nhiều UAV trong việc phủ sóng một khu vực tìm kiếm lớn hơn có thể mở rộng phạm vi mạng FANET. Hơn nữa, những sự cố xảy ra với một UAV không ảnh hưởng đến toàn bộ mạng FANET. Điều này có nghĩa là việc sử dụng nhiều UAV đồng thời tăng tính dự phòng và độ tin cậy của FANET. Trong kịch truyền thông tin này, các UAV khác đóng vai trò như các nút liên lạc truyền thông tin đến GCS. Các giao thức định tuyến phẳng cho FANET được sử dụng để truyền thông tin từ UAV đến GCS thông qua một số UAV khác. Cụ thể trong kịch bản này, chúng tôi thiết lập các điều kiện sau: GCS đặt cố định ở trên cạnh biên phải khu vực tìm kiếm; giả định rằng sử dụng UAV đồng nhất, cùng cao độ.

2. Chiến lược triển khai FANET

Chiến lược triển khai FANET đề xuất là phân chia khu vực SAR thành các vùng cố định nhằm thu hẹp phạm vi hoạt động của các UAVs theo cả chiều dài và chiều rộng, trong đó mỗi vùng được chỉ định cho một số UAV cụ thể để bao phủ một cách có hệ thống. Bằng cách chia khu vực tìm kiếm thành các vùng nhỏ hơn, và chỉ định các UAV hoạt động trong một vùng cụ thể, giải pháp đề xuất đạt được các ưu điểm sau:

- (i) Các UAV này tập trung vào việc tìm kiếm kỹ lưỡng trong khu vực được chỉ định, giảm thiểu bỏ sót manh mối tiềm năng hoặc mục tiêu, giảm thời gian cần thiết để tìm kiếm trên toàn bộ khu vực, giảm bớt sự dư thừa do giảm số lượng UAV bay qua cùng một vị trí. Cách tiếp cận này giúp đảm bảo không có khu vực nào bị bỏ mặc, cho phép các hoạt động tìm kiếm nhanh hơn, đặc biệt là ở các khu vực lớn hơn hoặc phức tạp và có thể giúp đẩy nhanh quá trình tìm kiếm và cứu nạn tổng thể.
- (ii) Giảm được tình trạng phân mảnh mạng trong FANET ở kiến trúc single UAV ad hoc cũng như cải thiện chất lượng liên kết do phạm vi hoạt động của UAV được quy định và nhỏ hơn nhiều so với không chia vùng, nhờ đó cải thiện được hiệu năng mạng FANET.

Hình 1a minh họa cách chia khu vực SAR thành 4 vùng nhỏ cùng với một mẫu chuyển động của 16 UAV sau 150 giây, Hình 1b là triển khai theo phương pháp không chia. Hình 1b cho thấy các UAV phải di chuyển trên một khu vực rộng lớn và sự phân mảnh mạng đã xảy ra, các UAV phân bố tập trung góc dưới phải vùng hoạt động, một số còn lại thì bị cô lập ở khoảng cách xa.



Hình 1. Minh họa việc chia vùng hoạt động (a) so với không chia vùng (b)

IV. ĐÁNH GIÁ KẾT QUẢ QUA MÔ PHỎNG

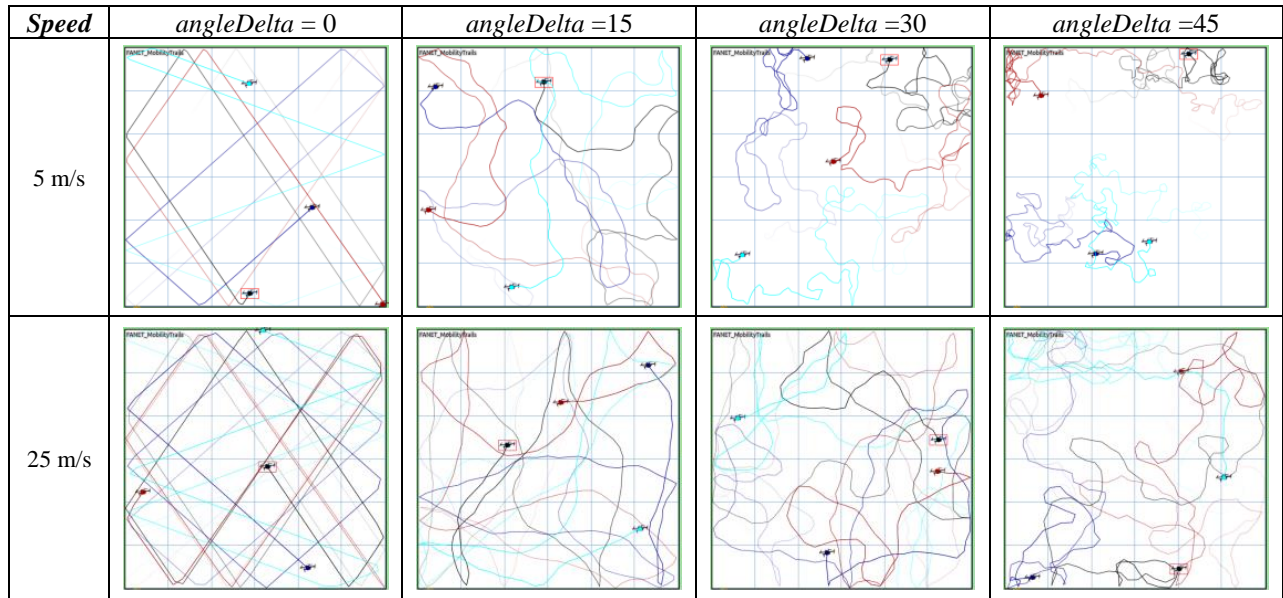
A. Kết quả khảo sát mẫu di động

Để khảo sát trực quan các mẫu di động của 2 mô hình di động, chúng tôi thiết lập một mô phỏng với OMNeT++, với 4 nút di động trên miền diện tích 1500 m x 1500 m. Để công bằng trong so sánh và phù hợp với triển khai FANET cho hoạt động SAR, chúng tôi thiết lập để các UAV bay trên cùng một cao độ (mô hình di động Gauss-Markov không hỗ trợ không gian 3 chiều). Việc sử dụng 4 nút nhằm thể hiện tính đa dạng trong chuyển động của mô hình.

1. Mô hình MassMobility

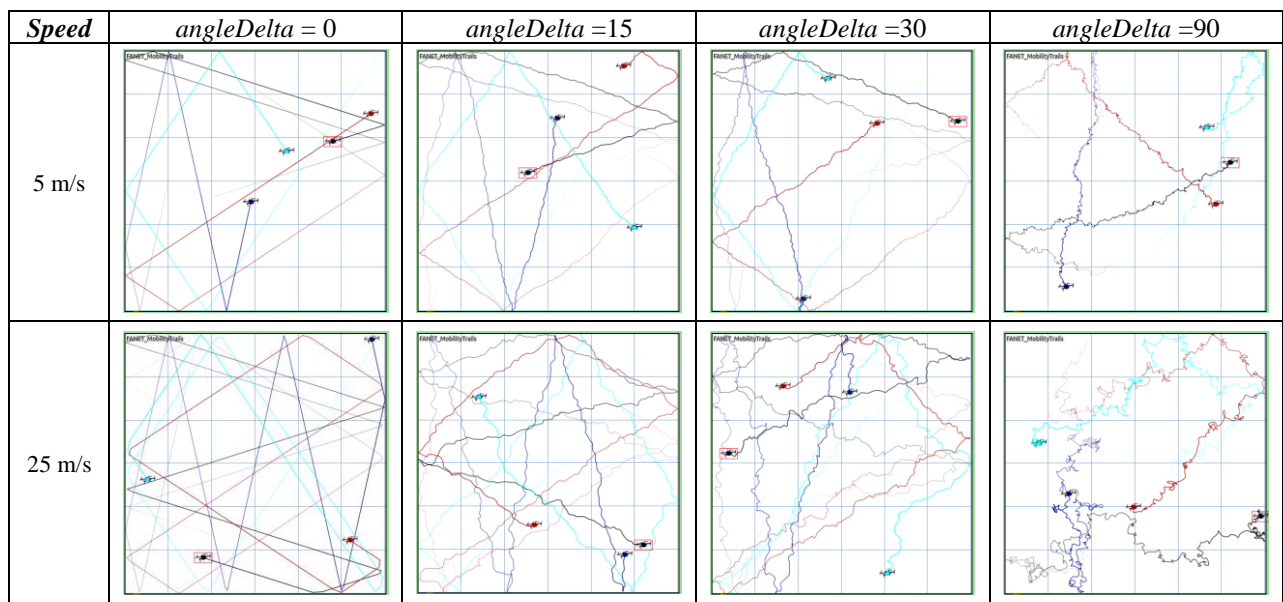
Tổng quan ta có thể thấy trên Bảng 1, lộ trình chuyển động của nút theo mô hình di động MassMobility khá mịn, phù hợp cho chuyển động của các UAVs. Sự thay đổi tham số độ lệch chuẩn góc là yếu tố ảnh hưởng nhiều đến cách thức chuyển động của UAV, khi giá trị này tăng dần, nếu ta xét ở cùng một vận tốc chuyển động thì khả năng di chuyển ra khỏi một khu vực trong một khoảng thời gian ngắn giảm dần.

Bảng 1. Một số mẫu di động của mô hình MassMobility theo tham số vận tốc (Speed) và độ lệch chuẩn góc (angleDelta)



2. Mẫu di động của mô hình Gauss-Markov

Bảng 2. Một số mẫu di động của mô hình Gauss Markov theo tham số vận tốc và độ lệch chuẩn góc



Như được thể hiện trên Bảng 2, lộ trình chuyển động của nút theo mô hình di động Gauss-Markov khi sử dụng giá trị tham số angleDelta thấp là tương đối mịn, phù hợp cho chuyển động của các UAV. Tuy thế có thể nhận thấy, với các mẫu di chuyển trên thì lộ trình di chuyển UAV là “theo hướng” nhất định ngay cả khi thay đổi các giá trị

$angleDelta$ lên cao, khi giá trị này tăng dần, nếu ta xét ở cùng một vận tốc chuyển động thì khả năng di chuyển ra khỏi một khu vực trong một khoảng thời gian ngắn giảm dần.

B. Đánh giá hiệu quả chiến lược triển khai FANET đề xuất

1. Kích bản và tham số mô phỏng

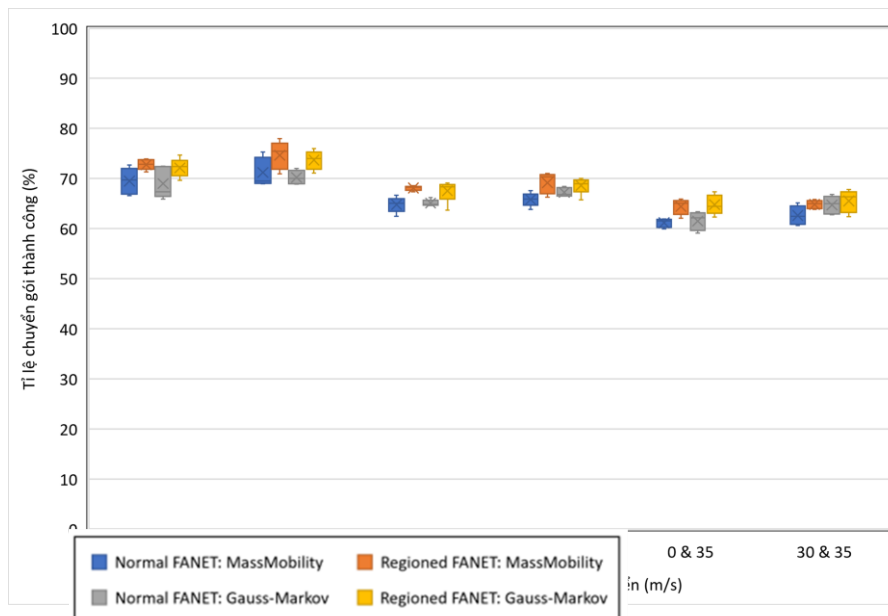
Hiệu năng của giải pháp đề xuất theo tham số mô hình di động được đánh giá thông qua mô phỏng sử dụng hệ mô phỏng OMNeT++ và INET. Mô phỏng được cài đặt trên diện tích $1500 \times 1500 \text{ m}^2$ (mô phỏng cho khu vực tìm kiếm cứu nạn), cao độ 100 m, sử dụng 40 UAV, 8 nguồn phát (mô phỏng cho trường hợp các UAV phát hiện được mục tiêu, và thực hiện gửi dữ liệu về GCS), 1 số nguồn thu (GCS). Với mỗi chiến lược triển khai FANET (Normal FANET: triển khai theo cách thông thường, tất cả các UAV di chuyển trên toàn bộ khu vực tìm kiếm. Regioned FANET: triển khai theo giải pháp phân vùng đề xuất), chúng tôi thay đổi thay đổi vận tốc di chuyển của UAV, mô hình di động, và độ lệch chuẩn góc quay theo các giá trị ở Bảng 3 để tạo ra các mô phỏng cho đánh giá của mình.

Bảng 3. Giá trị các tham số cho kịch bản mô phỏng

STT	Tham số	Giá trị
1	Khu vực mô phỏng	$1500 \times 1500 \text{ m}^2$, cao độ: 100 m
2	Số UAV triển khai	40
3	Giao thức MAC	802.11 g
4	Công suất phát	6 dBm
5	Giao thức định tuyến	AODV
6	Thời gian mô phỏng	1200 s
7	Chiến lược triển khai	Normal FANET, Regioned FANET (4 vùng)
8	Mô hình di động	Mass Mobility, Gauss-Markov ($\alpha = 0$)
9	Tốc độ di chuyển của UAV	15, 25, 35 m/s
10	Độ lệch chuẩn góc quay	0, 30°
11	Thời gian thay đổi	1 s
12	Số lần chạy/mô phỏng	5

2. Kết quả mô phỏng

a) Tỷ lệ chuyển gói thành công



Hình 2. Tỷ lệ chuyển gói thành công của giải pháp đề xuất (Regioned-FANET) so với triển khai bình thường (Normal FANET) theo độ lệch chuẩn góc quay và tốc độ ở 2 mô hình di động MassMobility và Gauss-Markov

Biểu đồ hộp Hình 2 so sánh tỷ lệ chuyển gói thành công của giải pháp triển khai đề xuất trên 2 mô hình di động khác nhau, tốc độ khác nhau và độ lệch chuẩn góc quay của UAV khác nhau. Dữ liệu trên biểu đồ cho thấy, về tổng quan thì chiến lược triển khai đề xuất giúp cải thiện tỷ lệ chuyển gói thành công, khi độ lệch chuẩn góc quay lớn (30°)

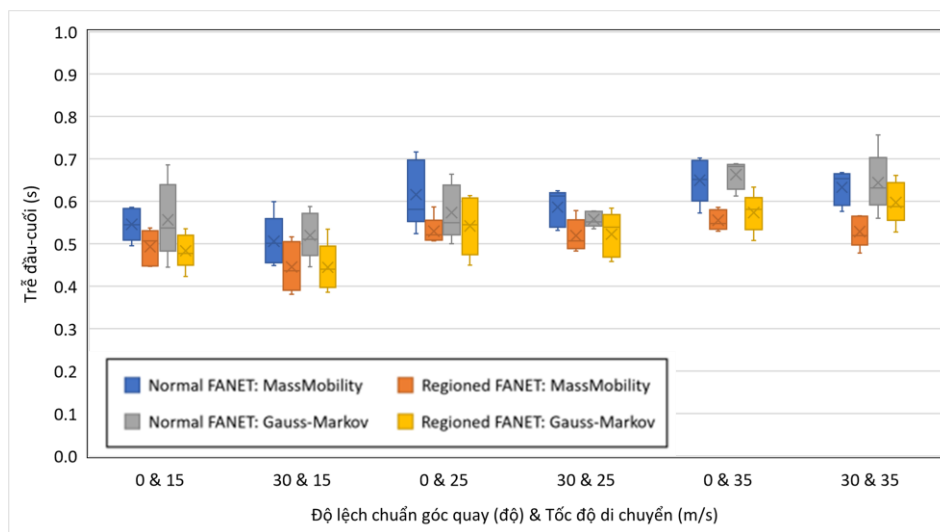
độ) và vận tốc di chuyển cao (35 m/s) thì mức cải thiện giảm so với các trường hợp còn lại trên cả 2 mô hình di động. Trên cùng một tốc độ di chuyển, khi thay đổi độ lệch chuẩn góc xoay từ 0 độ lên 30° thì hiệu quả chuyển gói tăng ở cả 2 chiến lược triển khai cả 2 mô hình di động. Việc tăng này là hợp lý, bởi khi tăng độ lệch chuẩn góc xoay lớn kéo theo biến thiên góc quay lớn, và như kết quả khảo sát mẫu chuyển động ở trên Bảng 1 và Bảng 2 thì vị trí của UAV sẽ không thay đổi quá lớn so với vị trí ban đầu, làm giảm tình trạng đứt liên kết mạng và do vậy hiệu năng được cải thiện. Xét trường hợp tốc độ di chuyển 25 m/s, khi UAV di chuyển tuyến tính (độ lệch chuẩn góc quay bằng 0°), giải pháp đề xuất giúp tăng tỉ lệ chuyển gói thành công trung bình từ 64,8% lên 68,1% ở mô hình di động MassMobility, từ 65,1% lên 67,5% ở mô hình di động Gauss-Markov. Khi độ lệch chuẩn góc quay tăng lên 30 độ, tỉ lệ này là từ 65,8% lên 69,2% ở mô hình di động MassMobility, từ 67,2% lên 68,6% ở mô hình di động Gauss-Markov. Bảng 4 trình bày kết quả thống kê trung bình 5 lần chạy cho mỗi mô phỏng.

Bảng 4. Tỉ lệ chuyển gói thành công trung bình theo vận tốc, độ lệch chuẩn góc quay và mô hình di động trên 2 chiến lược triển khai FANET

Vận tốc (m/s)	Độ lệch chuẩn góc xoay (độ)	Mass Mobility		Gauss-Markov	
		Normal FANET PDR (%)	Regioned FANET PDR (%)	Normal FANET PDR (%)	Regioned FANET PDR (%)
15	0	69,5	72,8	69,0	72,1
15	30	71,2	74,6	70,2	73,7
25	0	64,8	68,1	65,1	67,5
25	30	65,8	69,2	67,2	68,6
35	0	61,1	64,4	61,5	64,8
35	30	62,6	64,8	64,7	65,5

b) *Trễ truyền thông đầu-cuối*

Cùng với việc tỉ lệ chuyển gói thành công được cải thiện, chiến lược đề xuất còn giúp giảm được trễ truyền thông đầu-cuối ở tất cả các dải tốc độ và trên cả 2 mô hình di động, điều này được thể hiện rõ trên biểu đồ hộp Hình 2. Cơ bản sự thay đổi độ lệch chuẩn góc xoay ở cùng một tốc độ di chuyển không ảnh hưởng nhiều đến việc thay đổi độ trễ. Xem xét trường hợp tốc độ di chuyển 35 m/s, khi UAV di chuyển tuyến tính, độ trễ giảm rõ rệt khi sử dụng chiến lược Regioned FANET trên cả 2 mô hình di động, và trên cả 5 lần chạy mô phỏng ở kịch bản này. Cụ thể ở vận tốc này, giải pháp đề xuất giúp giảm trễ đầu-cuối từ 0,649 s xuống 0,556 s ở mô hình di động MassMobility, từ 0,663 s xuống 0,573 s ở mô hình di động Gauss-Markov. Khi độ lệch chuẩn góc quay tăng lên 30 độ, lượng giảm từ 0,633 s xuống 0,529 s ở mô hình di động MassMobility, từ 0,644 s xuống 0,597 s ở mô hình di động Gauss-Markov.



Hình 3. Trễ đầu-cuối công của giải pháp đề xuất (Regioned-FANET) so với triển khai bình thường (Normal FANET) theo độ lệch chuẩn góc quay và tốc độ ở 2 mô hình di động MassMobility và Gauss-Markov

c) *Thông lượng trung bình*

Tham số thông lượng trung bình được tính là tích số gói tin nhận thành công và kích thước mỗi gói trên tổng thời gian thực hiện mô phỏng, do vậy khi tỉ lệ chuyển gói thành công tăng lên dẫn đến mức thông lượng cũng được cải thiện tương ứng. Hình 3 là một so sánh tổng hợp mức thông lượng trung bình theo thời gian mô phỏng của chiến lược triển khai Regioned FANET với Normal FANET trên cả 2 mô hình di động, UAV di chuyển với vận tốc 25 m/s và độ lệch chuẩn góc quay là 30°. Ở trường hợp này, thông tin thể hiện trên biểu đồ cho thấy, tổng thể chiến lược Regioned FANET với mô hình di động MassMobility cho mức thông lượng tốt nhất, mới mức trung bình 23043 b/s, trong khi đó

Normal FANET với mô hình di động MassMobility, Normal FANET và Regioned FANET với mô hình di động Gauss-Markov có mức thông lượng trung bình lần lượt là 21443 b/s, 22234 b/s, 2273 b/s.



Hình 4. Thông lượng trung bình theo thời gian mô phỏng

V. KẾT LUẬN

Cải thiện hiệu năng mạng FANET là lĩnh vực đã và đang được nhiều nhà nghiên cứu quan tâm bởi tính ứng dụng của nó trong thực tiễn cuộc sống, cũng như mức độ thịnh hành của các phương tiện bay không người lái. Cải thiện hiệu quả của giao thức định tuyến hỗ trợ giải quyết vấn đề này. Tuy vậy hiệu quả định tuyến lại bị ảnh hưởng bởi mô hình di động của các UAV, giá trị tham số của mô hình di động và chiến lược triển khai FANET. Bài báo này chúng tôi đã khảo sát ảnh hưởng của tham số vận tốc và độ lệch chuẩn góc (hướng) đến sự di chuyển của UAV trên 2 mô hình di động Gauss-Markov và MassMobility. Kết quả khảo sát các mẫu chuyển động giúp cung cấp các thông tin cho việc triển khai FANET cũng như góp phần cải thiện hiệu quả định tuyến. Chúng tôi cũng đề xuất giải pháp triển khai FANET (Regioned FANET) giúp cải thiện hiệu quả truyền thông đầu-cuối với trạm mặt đất, ứng dụng cho kịch bản tìm kiếm cứu nạn. Kết quả mô phỏng cho thấy việc thay đổi tham số mô hình di động tác động đến hiệu quả định tuyến, và chiến lược triển khai đề xuất giúp cải thiện hiệu năng mạng, đồng thời theo so sánh với mô hình di động Gauss-Markov thì MassMobility là mô hình di động có thể được sử dụng để triển khai cho các kịch bản này.

Trong nghiên cứu tiếp theo của mình, chúng tôi dự định kết hợp nhiều mô hình di động trong một ứng dụng, sử dụng các tham số mô hình di động, mẫu di chuyển như là các siêu dữ liệu hỗ trợ thiết kế giao thức định tuyến hiệu quả sử dụng kỹ thuật học tăng cường, học sâu tăng cường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] L. Hogue, P. Bouvry, and F. Guinand, "An overview of MANETs simulation," *Electron Notes Theor Comput Sci*, vol. 150, no. 1, pp. 81-101, 2006.
- [2] M. F. Khan, K. L. A. Yau, R. M. Noor, and M. A. Imran, "Routing schemes in FANETs: A survey," *Sensors (Switzerland)*, vol. 20, no. 1, pp. 1-33, 2020.
- [3] A. Bujari, C. E. Palazzi, and D. Ronzani, "FANET application scenarios and mobility models," in *DroNet 2017 - Proceedings of the 3rd Workshop on Micro Aerial Vehicle Networks, Systems, and Applications, co-located with MobiSys 2017*, Association for Computing Machinery, Inc, Jun. 2017, pp. 43-46.
- [4] O. S. Oubbati, M. Atiqzaman, P. Lorenz, M. H. Tareque, and M. S. Hossain, "Routing in flying Ad Hoc networks: Survey, constraints, and future challenge perspectives," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 81057-81105, 2019.
- [5] A. Chriki, H. Touati, H. Snoussi, and F. Kamoun, "FANET: Communication, mobility models and security issues," *Computer Networks*, vol. 163, p. 106877, 2019.

- [6] O. K. Sahingoz, "Networking models in flying Ad-hoc networks (FANETs): Concepts and challenges," *Journal of Intelligent and Robotic Systems: Theory and Applications*, vol. 74, no. 1-2, pp. 513-527, 2014.
- [7] D. Shumeye Lakew, U. Sa'Ad, N. N. Dao, W. Na, and S. Cho, "A Survey: Routing in FANET," *IEEE Communications Surveys and Tutorials*, vol. 22, no. 2, pp. 1071-1120, 2020.
- [8] N. Lin, F. Gao, L. Zhao, A. Al-Dubai, and Z. Tan, "A 3D Smooth Random Walk Mobility Model for FANETs".
- [9] L. Mészáros, A. Varga, and M. Kirsche, "INET Framework 4," in *Recent Advances in Network Simulation. EAI/Springer Innovations in Communication and Computing*, Springer, Cham, 2019, pp. 55-106.
- [10] J. Li, Y. Zhou, and L. Lamont, "Communication Architectures and Protocols for Networking Unmanned Aerial Vehicles," in *2013 IEEE Globecom Workshops (GC Wkshps)*, 2013.
- [11] T. Ahn, J. Seok, I. Lee, and J. Han, "Reliable Flying IoT Networks for UAV Disaster Rescue Operations," *Mobile Information Systems*, vol. 2018, 2018.
- [12] D. A. Korneev, A. V. Leonov, and G. A. Litvinov, "Estimation of Mini-UAVs Network Parameters for Search and Rescue Operation Scenario with Gauss-Markov Mobility Model," in *2018 Systems of Signal Synchronization, Generating and Processing in Telecommunications (SYNCHROINFO)*, IEEE, Jul. 2018, pp. 1-7.
- [13] A. V. Leonov and G. A. Litvinov, "Simulation-Based Performance Evaluation of AODV and OLSR Routing Protocols for Monitoring and SAR Operation Scenarios in FANET with Mini-Uavs," in *2018 Dynamics of Systems, Mechanisms and Machines (Dynamics)*, IEEE, Nov. 2018, pp. 1-6.
- [14] M. T. Naser and A. H. Wheeb, "Implementation of RWP and Gauss Markov Mobility Model for Multi-UAV Networks in Search and Rescue Environment," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 16, no. 23, pp. 125-137, 2022.
- [15] A. Bujari, C. T. Calafate, J. C. Cano, P. Manzoni, C. E. Palazzi, and D. Ronzani, "Flying ad-hoc network application scenarios and mobility models," *Int J Distrib Sens Netw*, vol. 13, no. 10, pp. 1-17, Oct. 2017.
- [16] M. T. Naser and A. H. Wheeb, "Implementation of RWP and Gauss Markov Mobility Model for Multi-UAV Networks in Search and Rescue Environment," *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, vol. 16, no. 23, pp. 125-137, 2022.
- [17] T. Kim, S. Lee, K. H. Kim, and Y. Il Jo, "FANET Routing Protocol Analysis for Multi-UAV-Based Reconnaissance Mobility Models," *Drones*, vol. 7, no. 3, Mar. 2023.
- [18] L. Mészáros, A. Varga, and M. Kirsche, "INET Framework," 2019, pp. 55-106.
- [19] A. Varga, "The OMNET++ discrete event simulation system," in *European Simulation Multiconference (ESM 2001)*, 2001.
- [20] James M. Van Verth and Lars M. Bishop, *Essential Mathematics for Games and Interactive Applications*, 4th ed. Morgan Kaufmann, 2008.
- [21] A. Alaimo, V. Artale, C. Milazzo, and A. Ricciardello, "Comparison between Euler and quaternion parametrization in UAV dynamics," in *AIP Conference Proceedings*, 2013, pp. 1228-1231.
- [22] B. Liang and Z. J. Haas, "Predictive distance-based mobility management for PCS networks," in *IEEE INFOCOM '99. Conference on Computer Communications. Proceedings. Eighteenth Annual Joint Conference of the IEEE Computer and Communications Societies. The Future is Now (Cat. No.99CH36320)*, IEEE, 1999, pp. 1377-1384 vol.3.
- [23] A. Bujari, C. T. Calafate, J. C. Cano, P. Manzoni, C. E. Palazzi, and D. Ronzani, "Flying ad-hoc network application scenarios and mobility models," *Int J Distrib Sens Netw*, vol. 13, no. 10, pp. 1-17, Oct. 2017.

IMPROVING FANET PERFORMANCE IN SEARCH SEARCH APPLICATIONS: MOBILITY MODEL PARAMETERS AND IMPLEMENTATION STRATEGY

Mai Cuong Tho, Nguyen Thi Huong Ly, Nguyen Quoc Cuong, Le Huu Binh, Vo Thanh Tu

ABSTRACT: *The use of FANET for search and rescue operations has attracted considerable attention due to its ability to rapidly deploy communication networks in remote and disaster-affected areas. Routing protocols play an important role in ensuring timely and reliable data transmission to the ground control station. However, the high mobility of UAVs makes the efficiency of routing protocols difficult to achieve as expected, depending heavily on the parameter selection for each mobility model and the range of the UAV. In this study, we examined the mobility samples of two mobility models Gauss-Markov and MassMobility, and proposed a solution to deploy FANET for search and rescue operations (named Regioned FANET). Under this solution, a search and rescue area is divided into fixed zones, the UAVs are assigned to operate in each specific area, all the UAVs cooperate to send data to the ground control station. Simulation results on OMNeT++ showed that changing the parameters of the mobility model affects the routing efficiency, using the proposed deployment strategy improves performance in terms of successful packet delivery rate, end-to-end latency and average throughput compared to normal deployment strategy.*