

PHƯƠNG PHÁP XÂY DỰNG VÀ TỔ CHỨC HOẠT ĐỘNG CỦA MẠNG CẢM BIẾN BAY TRIỂN KHAI RỘNG

Đinh Trường Duy

Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông, Hà Nội.

Tóm tắt— Ngày nay các công nghệ mạng mới cho mạng IoT đang thu hút rất nhiều sự quan tâm của các nhà nghiên cứu, một trong số đó là mạng cảm biến bay triển khai rộng FUSN (Flying Ubiquitous Sensor Network) có sử dụng các loại máy bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicles). Mạng FUSN là sự kết hợp giữa mạng cảm biến triển khai rộng (USN) và mạng bay Ad-hoc (FANET) để thu thập, xử lý và truyền dữ liệu về trạm gốc. Mạng FUSN ngày càng được ứng dụng phổ biến cho các mục đích dân sự và đặc biệt là trong việc tìm kiếm cứu nạn khẩn cấp. Công việc ưu tiên đầu tiên cần phải thực hiện trong nhiệm vụ tìm kiếm cứu nạn khẩn cấp sau khi xảy ra thiên tai đó là đánh giá hậu quả của thiên tai gây ra. Để giải quyết được nhiệm vụ này, bài báo đề xuất phương pháp xây dựng và tổ chức hoạt động của mạng FUSN nhằm nâng cao hiệu quả của việc thu nhập và truyền dữ liệu. Cụ thể là đề xuất mạng cảm biến bay triển khai nhanh trong trường hợp tìm kiếm cứu nạn khẩn cấp trong khu vực chịu thiên tai bằng cách sử dụng các UAV có trang bị các cổng (gateway) không đồng nhất có khả năng giao tiếp với nhau và dùng hệ thống UAV có dây buộc làm trạm gốc di động. Đồng thời kết quả mô phỏng cũng cho thấy việc triển khai mô hình mạng phân cấp trên phân mạng mặt đất của mạng cảm biến triển khai nhanh giúp quá trình thu thập dữ liệu của UAV đạt hiệu quả cao hơn mô hình mạng ngang hàng.

Từ khóa—FANET, FUSN, UAV, hệ thống UAV có dây buộc, tìm kiếm cứu nạn

I. GIỚI THIỆU

Trong những năm gần đây máy bay không người lái (unmanned aerial vehicle - UAV) ngày càng được sử dụng phổ biến. Trước hết là các loại UAV lớn được sử dụng trong các nhiệm vụ quân sự sau đó là các UAV nhỏ, siêu nhỏ được mở rộng phạm vi ứng dụng của mình trong các mục đích dân sự (chụp ảnh / quay phim, giao hàng, thu thập từ xa dữ liệu từ các cảm biến, v.v.). Hơn nữa, UAV còn có thể được trang bị thêm các thiết bị để truyền và nhận dữ liệu không dây, nó được coi như một cổng (gateway) di động không chỉ thu thập dữ liệu mà còn hoạt động như một bộ chuyển tiếp dữ liệu khi cần gửi chúng về các trạm gốc

của các nhà khai thác viễn thông do khả năng hỗ trợ nhiều công nghệ truyền dữ liệu khác nhau. Một gateway như vậy sẽ hoạt động với vai trò duy trì liên lạc giữa những người dùng (thiết bị, người dùng thiết bị của mạng thông tin di động, v.v.) và mạng thông tin công cộng. Kết quả của các nghiên cứu thực nghiệm chỉ ra rằng, việc sử dụng nhóm UAV đảm bảo hiệu quả tốt hơn cho mạng bay không người lái, đặc biệt là trong trường hợp cứu hộ khẩn cấp khi mà cần đảm bảo được các yêu cầu về sự bao phủ sóng vô tuyến toàn bộ khu vực chịu thiên tai trong khi cơ sở hạ tầng viễn thông không có hoặc không còn hoạt động. Mạng cảm biến bay triển khai rộng (FUSN) là mạng gồm các UAV có thể tương tác với nhau và dùng để thu thập dữ liệu từ mạng cảm biến được triển khai trên mặt đất. Bài báo đề xuất phương pháp xây dựng và tổ chức hoạt động của mạng FUSN nhằm nâng cao hiệu quả của việc thu nhập và truyền dữ liệu, cụ thể là đề xuất mạng cảm biến bay triển khai nhanh trong trường hợp tìm kiếm cứu nạn khẩn cấp trong khu vực chịu thiên tai. Trong phần II, chúng ta cùng tìm hiểu tổng quan về mạng FUSN, các điều kiện tiên đề cho sự xuất hiện của mạng này. Phần III mô tả đề xuất phương pháp xây dựng và tổ chức hoạt động của mạng FUSN thông qua mạng cảm biến bay triển khai nhanh để thu thập dữ liệu trong trường hợp tìm kiếm cứu nạn khẩn cấp khi xảy ra thiên tai. Phần kết luận của bài báo được xem xét trong phần IV.

II. TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN BAY TRIỂN KHAI RỘNG

A. Mạng cảm biến không dây

Hiện nay, sự phát triển của mạng lưới truyền thông được thực hiện dựa trên mạng Internet vạn vật (IoT) [1-3]. Mạng IoT lại được triển khai dựa trên cơ sở công nghệ là mạng cảm biến không dây (WSN) - là các mạng tự tổ chức, được hình thành từ sự phân phối trong không gian của các nút cảm biến không dây [4, 5]. Sự phát triển công nghệ WSN đã dẫn đến sự xuất hiện cũng như được áp dụng rộng rãi của thuật ngữ mạng cảm biến triển khai rộng (ở khắp nơi) (Ubiquitous Sensor Networks - USN). USN bao gồm các cảm biến giá rẻ và thông minh với số lượng đủ lớn cùng hoạt động trong một mạng không dây kết nối với mạng viễn thông toàn cầu, sẽ cung cấp dịch vụ với phạm vi rộng chưa từng có trong tương lai như dịch vụ kiểm soát và quản lý nhà ở, doanh nghiệp, phương tiện đi lại, sinh vật... Trong mạng USN tùy thuộc vào từng loại cảm biến, chúng có thể

Tác giả liên hệ: Đinh Trường Duy,

Email: duydt@ptit.edu.vn

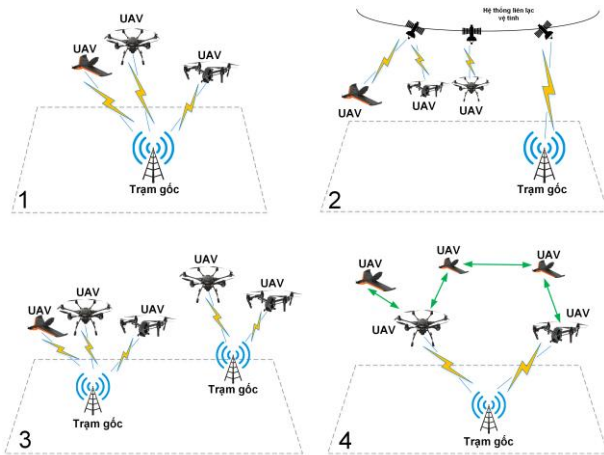
Đến tòa soạn: 11/2021, chỉnh sửa: 4/2022, chấp nhận đăng: 5/2022.

được triển khai trên mặt đất, trên không, dưới và trên mặt nước, trong các tòa nhà và trên và trong các cơ thể sống... [6].

B. Mạng bay Ad-hoc (FANET)

Vào cuối thế kỷ 20, sự xuất hiện của UAV dẫn đến những cơ hội mới trong lĩnh vực mạng và hệ thống thông tin liên lạc, hay đúng hơn là khả năng cung cấp các dịch vụ mới dựa trên mạng bay Ad-Hoc (Flying Ad Hoc Network - FANET). Một mạng FANET là mạng bao gồm một số UAV có khả năng giao tiếp với nhau [7].

FANET có kiến trúc phân tán, cung cấp sự liên lạc giữa các UAV không cần có sự tham gia của các trạm gốc mặt đất. Trong FANET, các UAV có thể tương tác với nhau và với trạm gốc mặt đất (hình 1(1)). Thông qua tương tác nhóm UAV, FANET giúp cải thiện những hạn chế của việc sử dụng một UAV, như phạm vi phủ sóng nhỏ và thời gian hoạt động của UAV ngắn. Tuy nhiên, do nhiều UAV hoạt động đồng thời trong một mạng nên dẫn tới việc phải đối mặt với giới hạn về phạm vi liên lạc giữa UAV và trạm gốc mặt đất. Để giải quyết vấn đề này, UAV có thể kết nối với vệ tinh, tuy nhiên điều này yêu cầu phải lắp đặt thiết bị đầu cuối vệ tinh trên mỗi UAV. Do đó dẫn tới sự tăng chi phí duy trì và bảo dưỡng mạng, cũng như sự phức tạp trong hoạt động của mạng khi gặp điều kiện thời tiết xấu (hình 1(2)). Một cấu trúc thay thế cho mạng FANET, bao gồm một số UAV và một số trạm gốc mặt đất, được thể hiện trong (hình 1.1(3)). Hạn chế trong phạm vi liên lạc có thể được giải quyết bằng cách thiết lập các kênh liên lạc giữa các UAV. Có thể thấy ở hình 1(4), trong khi một số UAV giao tiếp với trạm gốc mặt đất hoặc vệ tinh, các UAV khác sẽ có thể nhận dữ liệu mà không cần giao tiếp trực tiếp với trạm gốc mặt đất, mà thông qua các UAV lân cận.



Hình 1. Các cấu trúc khác nhau của mạng FANET

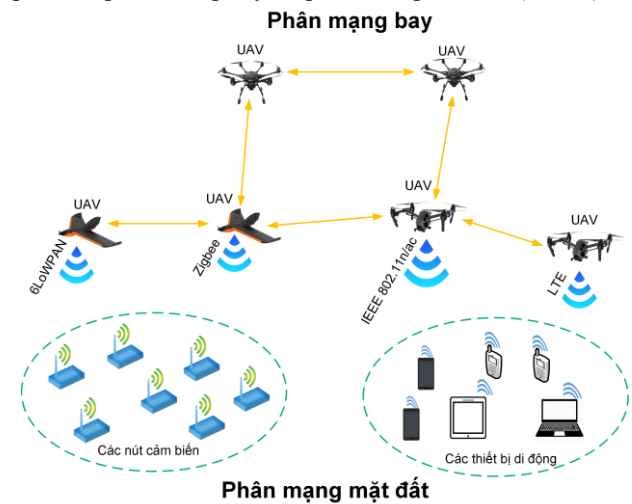
Việc tạo ra các cấu trúc mạng khác nhau của FANET cho sự giao tiếp của UAV với các trạm gốc mặt đất là tiền đề cho sự xuất hiện của một loại mạng bay mới, trong đó sự giao tiếp sẽ diễn ra không chỉ giữa các UAV mà còn với các nút trên mặt đất. Các mạng như vậy được gọi là Mạng cảm biến bay triển khai rộng (Flying Ubiquitous Sensor Network - FUSN).

C. Mạng cảm biến bay triển khai rộng FUSN

Mạng cảm biến bay triển khai rộng (FUSN) là một trong

những dạng WSN hoặc USN [3, 6]. Đây là một loại mạng tự tổ chức đặc biệt sử dụng các UAV, chúng được kết nối và liên lạc với nhau trong không gian thông qua các đường truyền không dây và được đặc trưng bởi các thông số sau: phân tán, có thể triển khai nhanh chóng, tự tổ chức và có thể phục hồi. Trong đó, các UAV được coi như các nút di động trong USN, chúng tương tác với nhau và tăng khả năng kết nối với mạng cảm biến được triển khai trên mặt đất. Ngoài ra, các UAV có thể hoạt động như cụm nút chủ tạm thời cho các cụm nút của USN trên mặt đất. Phân mạng trên mặt đất của FUSN là mạng bao gồm nhiều cảm biến có mức tiêu thụ năng lượng thấp, có khả năng tự tổ chức, chúng thường được triển khai ở những nơi có địa hình khó tiếp cận. Việc truyền dữ liệu trên phân mạng mặt đất được thực hiện bằng công nghệ và giao thức như: ZigBee, 6LoWPAN, LoRa... Hoặc là mạng gồm các thiết bị di động, được kết nối thông qua các giao thức như Wi-Fi (IEEE 802.11n, IEEE 802.11ac), 3G, LTE...

Như vậy, có thể nói mạng FUSN là sự kết hợp của mạng FANET và mạng USN. Mạng FUSN bao gồm hai thành phần là: phân mạng bay và phân mạng mặt đất (hình 2).



Hình 2. Kiến trúc của mạng cảm biến bay triển khai rộng điển hình

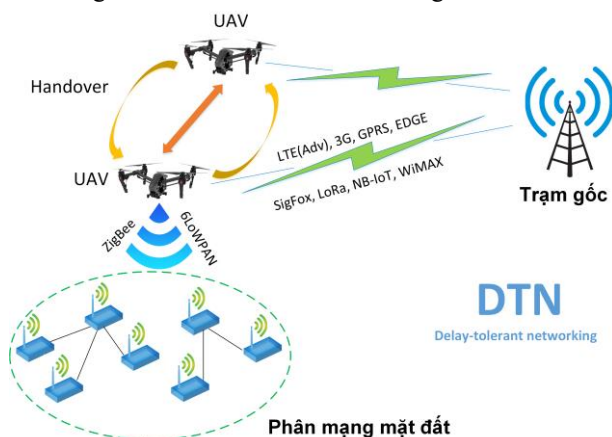
Phân mạng bay của FUSN có thể sử dụng một hoặc nhiều UAV. Tùy thuộc vào hình dạng của cánh và cấu trúc của thân máy bay, UAV có thể được phân loại là UAV có cánh cố định (hay UAV kiểu máy bay: máy bay, tàu lượn, máy bay lượn); UAV cánh quay (hay UAV kiểu trực thăng: trực thăng, trực thăng đa cánh quạt, máy bay tự lên thẳng).

UAV kiểu máy bay có thể được sử dụng trong các nhiệm vụ triển khai ngẫu nhiên các nút cảm biến không dây trên các khu vực vừa và lớn, do có lợi thế về thời gian bay, độ cao, tốc độ, khả năng mang trọng tải (có thể mang theo một số lượng lớn các nút cảm biến) và khả năng lắp đặt nút cảm biến với độ chính xác gần đúng. UAV loại trực thăng có thể được sử dụng trong nhiệm vụ triển khai các nút cảm biến không dây ở các khu vực hẹp và trung bình, vì nó có khả năng bay lơ lửng tại một vị trí, cũng như khả năng cơ động cao, rất hữu ích để lắp đặt chính xác các nút cảm biến tại các điểm mục tiêu xác định.

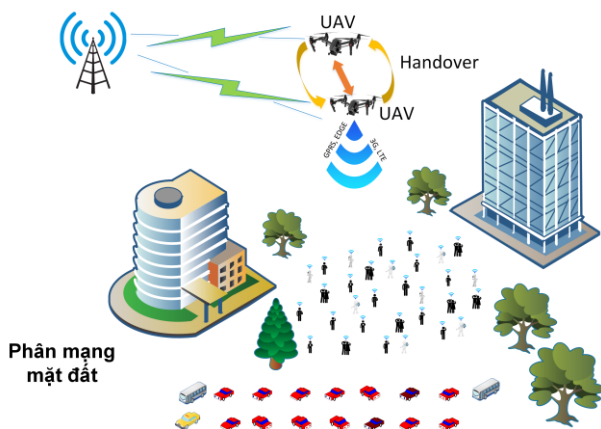
Trong mạng IoT, nút cảm biến là một thiết bị có khả năng giao tiếp với nhau, thu thập, lưu trữ, xử lý và truyền

dữ liệu. Gateway (cổng) là một thiết bị trong IoT kết nối các thiết bị với mạng truyền thông, thực hiện giao tiếp cần thiết giữa các giao thức được sử dụng trong mạng truyền thông và giao thức được sử dụng bởi các thiết bị IoT. Dịch vụ của mạng IoT là một tập hợp các chức năng và khả năng do nhà cung cấp dành cho người dùng.

Với nhiệm vụ triển khai FSUN để thu thập dữ liệu, UAV được trang bị thêm các gateway không đồng nhất để thực hiện. Có hai cách tiếp cận đó là: cách tiếp cận dành cho mạng mặt đất với các nút cảm biến và cách tiếp cận dành cho mạng mặt đất với các thiết bị di động.



Hình 3. Phương pháp tiếp cận mạng mặt đất với các nút cảm biến



Hình 4. Phương pháp tiếp cận mạng mặt đất với thiết bị di động

Cách tiếp cận đối với mạng mặt đất với các nút cảm biến được sử dụng khi UAV thu thập dữ liệu từ mạng mặt đất ở xa các trạm gốc và cung cấp giao tiếp với mạng truyền thông công cộng (hình 3). Tuy nhiên, trong cách tiếp cận này có thể gặp những vấn đề sau đây. Đầu tiên, cần phải tính toán xem các công nghệ và giao thức truyền dẫn sẽ được lựa chọn như thế nào, tùy thuộc thời gian hoạt động của UAV. Thứ hai, UAV sau khi thu thập dữ liệu sẽ quay trở lại trạm gốc sạc (đối với UAV dùng pin) và chuyển dữ liệu về mạng truyền thông công cộng. Một UAV mới đến vị trí của nó và tại thời điểm thay đổi cần phải tính toán chuyển giao (handover) [9]. Trong cách tiếp cận này, hầu hết các UAV chỉ thu thập dữ liệu nên thời gian chuyển giao không quá nghiêm ngặt, do đó có thể sử dụng cấu trúc

mạng như mạng DTN (Delay Tolerant Networking) - mạng chịu trễ [16].

Giả sử tại một triển lãm công nghệ, có một lượng lớn người ở một khu vực nhất định và mọi người đều có các thiết bị di động như điện thoại thông minh, máy tính bảng, máy tính xách tay... cần truy cập Internet tốc độ cao. Để nâng cao khả năng phục vụ tất cả các thuê bao khi mà các trạm gốc gần đó không thể phục vụ hết, thì có thể sử dụng cách tiếp cận cho mạng di động mặt đất với các thiết bị di động trong đó UAV được sử dụng như một trạm gốc tạm thời (hình 4). Trong trường hợp này, các thuê bao sử dụng một lượng lớn lưu lượng mạng, do đó, cần phải tối ưu việc cung cấp chất lượng dịch vụ.

Như đã lưu ý trước đó, FUSN là một trong những dạng của WSN, do đó, chúng có thể được phân chia về mặt cấu trúc thành các mạng ngang hàng và phân cấp (cụm). Xét rằng FUSN bao gồm hai phân mạng (bay và mặt đất), mỗi phân mạng có thể được biểu diễn bằng cả hai loại cấu trúc. Mạng ngang hàng là mạng có khả năng tự hình thành cấu trúc mạng mới nhờ khả năng tự tổ chức của các nút, cho phép đảm bảo tính toàn vẹn của mạng trong trường hợp có nút không thể hoạt động. Mạng ngang hàng có cấu trúc lưới. Tất cả các nút của mạng này đều giống nhau về khả năng và chức năng của chúng, nhưng cần phải chọn một nút trung tâm có thể nhận, xử lý tất cả dữ liệu và truyền về trạm gốc để xử lý. Thông thường mạng phân cấp được gọi là mạng được chia thành các cụm. Mỗi cụm có nút định tuyến hoạt động như nút chủ và các cảm biến là nút thành viên.

D. Sử dụng hệ thống tUAV trong mạng bay triển khai rộng

Hệ thống UAV có dây buộc (tethered UAV – tUAV) được thiết kế để nâng và giữ lâu dài các thiết bị viễn thông ở độ cao lên đến 500 m [11]. Hệ thống tUAV có thể hoạt động lâu dài ở trên không nhờ được đảm bảo bằng nguồn năng lượng điện được truyền từ mặt đất tới mô-đun bay thông qua cáp đường kính nhỏ để cung cấp năng lượng cho hệ thống đẩy và thiết bị trên UAV. Do đó, hệ thống tUAV nằm ở giữa các hệ thống vệ tinh và hệ thống trạm mặt đất (ví dụ như: trạm cellular di động, trạm chuyển tiếp vô tuyến, thiết bị radar...). So với các hệ thống vệ tinh đắt tiền, các hệ thống tUAV có hiệu quả kinh tế cao, trong khi các hệ thống viễn thông trên mặt đất không thể bao phủ được.

Cấu trúc của hệ thống tUAV bao gồm các thành phần chính sau đây (Hình 5):

- 1) Một UAV nhiều cánh quạt có khả năng chuyên chở lớn và thời gian hoạt động dài, được thiết kế để bay lên đến 500 m và giữ thiết bị viễn thông, thiết bị giám sát video...
- 2) Hệ thống truyền tải năng lượng công suất lớn cung cấp năng lượng cho các hệ thống đẩy của mô-đun bay không người lái nhiều cánh quạt và các thiết bị phụ tải đi kèm.
- 3) Hệ thống điều khiển và kiểm soát ổn định cho hệ thống tUAV, bao gồm một hệ thống dẫn đường cục bộ phụ với các beacon vô tuyến mặt đất, giúp tăng độ định vị chính xác và khả năng chống nhiễu trong trường hợp không có tín hiệu từ hệ thống định vị vệ tinh.
- 4) Thiết bị được gắn trên mô-đun bay bao gồm: Trạm di động của mạng di động thế hệ thứ tư (LTE); thiết bị tiếp

sóng ra đa và vô tuyến điện; thiết bị giám sát video và giám sát môi trường.

5) Cáp có lớp bọc poly (paraphenylene terephthalamide), bao gồm các dây đồng có tiết diện nhỏ ($0,5 \text{ mm}^2$) để truyền tín hiệu điện áp cao (lên đến 2000 V), tần số cao (lên đến 200 kHz) và cáp quang để truyền thông tin kỹ thuật số với tốc độ lên đến 10 Gbit/s.

6) Tổ hợp điều khiển mặt đất, bao gồm bộ chuyển đổi điện áp 380/2000 V, hệ thống chẩn đoán các thông số cho hệ thống tUAV và hệ thống điều chỉnh thông minh với bộ vi xử lý để kiểm soát độ căng của cáp trong quá trình nâng, hạ và tải gió. Trong trường hợp di động, trung tâm điều khiển mặt đất được đặt trên một hệ thống di động, trên đó có lắp đặt máy phát điện, công suất đầu ra của nó không nhỏ hơn 20 kW.

Khả năng nâng phần cứng viễn thông và các tải trọng khác lên độ cao lên đến 500 m và hoạt động lâu dài của hệ thống tUAV mở ra nhiều khả năng ứng dụng thực tế của các hệ thống robot loại này. Các nền tảng không người lái ở độ cao kết nối cung cấp giải pháp cho những thách thức sau:

- triển khai nhanh chóng cơ sở hạ tầng viễn thông hiện đại trên một lãnh thổ rộng lớn trong điều kiện khẩn cấp khi các phương tiện thông tin liên lạc bị phá hủy (trạm phát sóng LTE được lắp đặt trên tUAV trong trường hợp này);



Hình 5. Cấu trúc của hệ thống tUAV

- Triển khai kết nối không dây tốc độ cao trên khoảng cách xa trong khoảng tầm nhìn thấy được (các thiết bị phát hoặc thiết bị chuyển tiếp vô tuyến được lắp trên tUAV);

- thực hiện các chức năng điều khiển và giám sát của một nhóm UAV, cũng như điều phối công việc của FUSN như thực hiện duy trì liên lạc và truyền dữ liệu;

- thực hiện các chức năng giám sát môi trường, kiểm soát cháy rừng, giám sát các sự kiện...;

- điều khiển rô bốt di động không người lái trên mặt đất trong các hoạt động tìm kiếm và cứu nạn, đồng thời đảm bảo hoạt động của các UAV khác...;

- phát hiện các chuyển bay trái phép của UAV để đảm bảo an toàn cho các VIP.

III. ỨNG DỤNG MẠNG CẢM BIẾN BAY TRIỂN KHAI RỘNG VÀO NHIỆM VỤ CỨU HỘ KHẨN CẤP TRONG TRƯỜNG HỢP THIÊN TAI

Trong những năm gần đây, sự thay đổi khí hậu toàn cầu đã dẫn đến sự gia tăng số lượng và quy mô của thiên tai như động đất, cháy rừng, sóng thần... ở nhiều quốc gia khác nhau trên thế giới cũng như tại Việt Nam, gây ra thiệt hại lớn về người và của. Sau các thảm họa tự nhiên này, cơ sở hạ tầng viễn thông sẽ bị phá hủy một phần hoặc hoàn toàn. Do đó, để thực hiện được công tác cứu hộ cần triển khai

một mạng liên lạc tạm thời trong điều kiện cơ sở vật chất mạng truyền thống đã bị phá hủy. Thực tế đã cho thấy, càng nhanh chóng triển khai mạng liên lạc tạm thời này thì việc giảm thiểu hậu quả cũng như cứu người bị nạn càng trở nên hiệu quả. Hơn nữa, bằng cách sử dụng mạng cảm biến bay triển khai nhanh trong công tác tìm kiếm cứu hộ sẽ giải quyết được các vấn đề như: thu thập thông tin về tình trạng của khu vực sau thiên tai giúp đội cứu hộ đánh giá tình hình thực địa trước khi triển khai cứu hộ, tạo mạng liên lạc tạm thời để công tác cứu hộ có thể nhanh chóng triển khai, giúp đỡ tìm kiếm xác định vị trí của người bị nạn một cách nhanh nhất. Bài báo này tập trung vào bài toán thu thập thông tin về tình trạng của khu vực sau thiên tai từ các nút cảm biến sau khi chúng đã được triển khai trên mặt đất.

A. Mạng cảm biến bay có thể triển khai nhanh

Hiện tại, các hệ thống thông tin liên lạc khẩn cấp được sử dụng trong các thảm họa thiên nhiên đều dựa trên liên lạc vệ tinh, ví dụ, Iridium, Globalstar, Gonets... Tuy nhiên, trong bối cảnh chuyển đổi sang mạng truyền thông thế hệ thứ năm 5G/IMT-2020, có một số công nghệ có thể đóng vai trò quan trọng trong việc hỗ trợ các dịch vụ khẩn cấp có thể kể đến như công nghệ được sử dụng để tổ chức mạng WSN, các công nghệ truy cập băng thông rộng và các công nghệ cho các mạng tầm xa tiết kiệm năng lượng...

Trong công tác tìm kiếm cứu nạn nhiệm vụ ưu tiên hàng đầu đó là triển khai đường truyền không dây giữa các đội cứu trợ cũng như việc trợ giúp liên lạc được với cá nạn nhân. Việc triển khai mạng này cần được thực hiện trong thời gian tính bằng phút. Để giải quyết vấn đề này, khái niệm mạng cảm biến bay có thể triển khai nhanh chóng cho các việc cứu trợ khẩn cấp đã được đề xuất [12, 13]. Có rất nhiều nghiên cứu về mạng này đã được xem xét trong một loạt các bài báo dành cho mạng FUSN [6, 8, 12-14].

Theo khái niệm được đề xuất, rõ ràng là để các UAV tương tác với nhau nhằm đảm bảo phạm vi liên lạc tối đa trong khu vực bị thiên tai phá hủy, cần phải tổ chức một mạng bay có cấu trúc liên kết (Mạng lưới - MESH). Trong mạng MESH, mỗi UAV sẽ là một gateway không đồng nhất di động [15]. Theo định nghĩa, gateway không đồng nhất là một thiết bị mạng hoặc một hệ thống chuyển tiếp được thiết kế để đảm bảo sự tương tác của hai mạng thông tin có các đặc tính khác nhau, sử dụng các bộ giao thức khác nhau và hỗ trợ các công nghệ truyền dữ liệu khác nhau. Gateway như vậy có thể hỗ trợ nhiều công nghệ truyền dữ liệu khác nhau như ZigBee, BLE, 6LoWPAN, LoRa, NB-IoT... Nó hoạt động như phần tử liên kết giữa các thiết bị và mạng truyền thông công cộng.

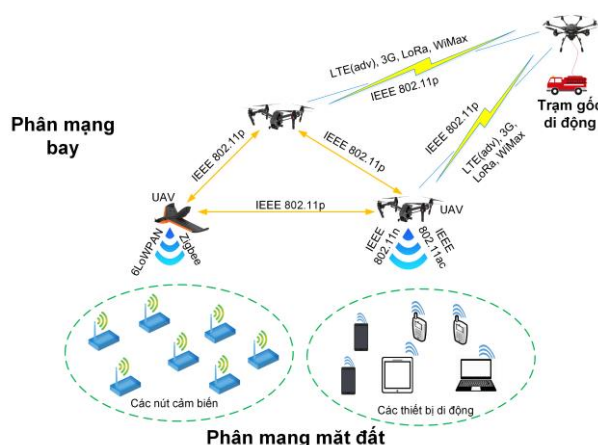
Hiện nay mạng Wi-Fi là một công nghệ rất phổ biến và được trang bị trên hầu hết các thiết bị cầm tay. Do vậy, UAV được trang bị thiết bị cho phép xử lý dữ liệu từ/đến thiết bị của người dùng của mạng có hỗ trợ công nghệ Wi-Fi (ví dụ: IEEE 802.11n/ac) thành dữ liệu được truyền giữa các UAV (ví dụ: IEEE 802.11s, IEEE 802.11p). Từ đó, có thể thiết lập liên lạc giữa các thiết bị trong một mạng.

Một giao thức MAC mới dựa trên giao thức IEEE 802.11p và IEEE 1609.4 để liên lạc giữa các UAV, cũng như giữa các nhóm UAV đã được chúng tôi đề xuất trong bài báo [13], được gọi là IEEE 802.11p sử dụng cơ chế CMMpP. Nhờ có giao thức mới này mà các UAV có

khả năng giao tiếp với nhau và hoạt động thành các nhóm. Đó là nền tảng cho việc giải quyết các bài toán khác ví dụ như tìm kiếm vị trí của người bị nạn sử dụng mạng cảm biến bay triển khai nhanh, trong đó sử dụng tín hiệu sóng Wi-Fi để xác định vị trí nạn nhân sau thiên tai, được chúng tôi đề xuất trong bài báo [16] hay sử dụng mạng cảm biến bay triển khai nhanh để phủ sóng Wi-Fi toàn bộ khu vực chịu ảnh hưởng thiên tai giúp cho việc thực hiện cuộc gọi VoWi-Fi (Voice over Wi-Fi) trong mạng này là khả thi, được chúng tôi giới thiệu trong bài báo [12]. Đây là các ứng dụng, hoạt động cần thiết phải triển khai nhằm khắc phục hậu quả của thiên tai, tuy nhiên công việc đầu tiên cần phải thực hiện sau khi xảy ra thiên tai đó là đánh giá hậu quả của thiên tai gây ra.

B. Sử dụng mạng cảm biến bay có thể triển khai nhanh thu thập dữ liệu từ phân mạng mặt đất

Sau khi thiên tai xảy ra, do phần lớn cơ sở hạ tầng viễn thông đã bị phá hủy nên việc đánh giá hậu quả và quy mô tàn phá là công việc cấp thiết. Để làm được điều này, cần phải thu thập dữ liệu từ các nút cảm biến được triển khai trong khu vực chịu hậu quả thiên tai. Thực tế là các nút cảm biến có thể giao tiếp bằng các công nghệ khác nhau, do đó có thể sử dụng gateway di động không đồng nhất để thu thập dữ liệu. Gateway này được gắn vào UAV sẽ cho phép thu thập dữ liệu từ các nút cảm biến và truyền chúng đến mạng truyền thông công cộng. Trong quá trình nghiên cứu chúng tôi thấy rằng việc sử dụng hệ thống tUAV làm trạm gốc di động, giúp tăng tính linh hoạt của mạng cảm biến bay triển khai nhanh cũng như giúp cho việc truyền dữ liệu từ các UAV về trạm gốc cũng hiệu quả hơn khi nó truyền theo đường thẳng (không chịu ảnh hưởng của địa hình, vật cản trên đường truyền). Hình 6 mô tả kiến trúc của tổ chức mạng cảm biến bay có thể triển khai nhanh, trong đó một hoặc nhiều UAV được sử dụng trên phân mạng bay và hệ thống tUAV được sử dụng làm trạm gốc di động (trạm gốc di động này có khả năng kết nối với mạng công cộng). Như trong hình, giao tiếp giữa các UAV có thể được thực hiện dựa trên công nghệ IEEE 802.11p sử dụng cơ chế CMMpP.



Hình 6. Kiến trúc của tổ chức mạng cảm biến bay có thể triển khai nhanh

UAV có hai loại: UAV kiểu trực thăng và UAV kiểu máy bay. Bài báo lựa chọn UAV kiểu máy bay, vì chúng có thời gian bay, tốc độ cao và mang trọng tải lớn. Gateway

không đồng nhất sẽ hỗ trợ công nghệ 6LoWPAN và LoRa. Công nghệ LoRa [10, 25] là từ viết tắt của cụm từ long-range. Đây là công nghệ được điều chế tần số vô tuyến dành cho mạng diện rộng ở công suất thấp (LPWAN). Công nghệ LoRa có đặc điểm là yêu cầu điện năng cực thấp, do đó thiết bị sử dụng LoRa có thể thời lượng pin hoạt động lên tới 10 năm, đồng thời công nghệ này cho phép truyền dữ liệu mạng IoT với khoảng cách rất xa lên đến 10 km. LoRa sử dụng nền tảng là kỹ thuật điều chế Chirp Spread Spectrum (CSS – là kỹ thuật sử dụng các xung chirp để mã hóa các thông tin) giúp tín hiệu công nghệ LoRa có thể truyền được đi xa với công suất thấp và dù cả tín hiệu không mạnh bằng tín hiệu nhiều bên ngoài môi trường. LoRa hoạt động trên các dải tần miễn phí, ví dụ: 868 MHz cho Châu Âu; 915 MHz cho Bắc Mỹ; 433 MHz cho châu Á.

Bài báo tập trung đánh giá cách tổ chức của phân mạng mặt đất của mạng FUSN sao cho có hiệu quả cao nhất cho nên để đơn giản phân mạng bay sử dụng một UAV thu thập dữ liệu và truyền trực tiếp về trạm gốc di động (sử dụng hệ thống tUAV). đồng thời giả định rằng UAV và các nút cảm biến, các nút định tuyến trong mạng luôn hoạt động bình thường.

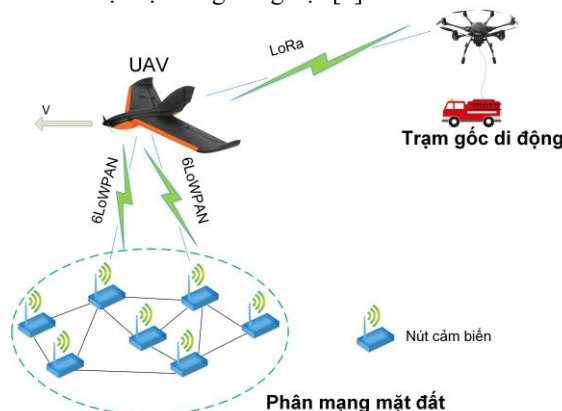
Từ đó, bài báo xem xét hai model:

- Mạng ngang hàng – model A (hình 7): tất cả các nút cảm biến là giống nhau, UAV khi bay vào vùng hoạt động của các nút cảm biến sẽ gửi các bản tin quảng bá để chuyển các nút cảm biến từ chế độ “ngủ” sang chế độ hoạt động. Sau đó, các nút cảm biến bắt đầu gửi dữ liệu đến nút điều phối mạng là UAV.

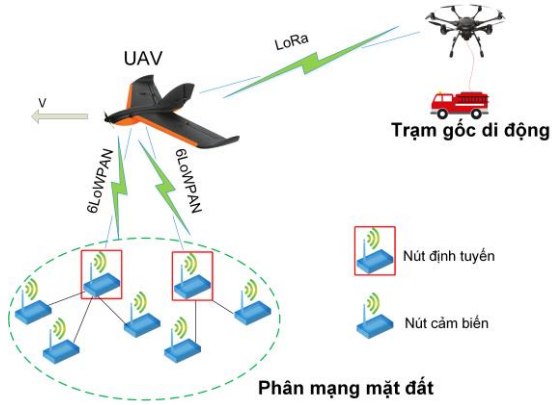
- Mạng phân cấp – model B (hình 8): mạng mặt đất được tổ chức là một mạng phân cấp, bao gồm các nút cảm biến và các nút định tuyến. Các nút cảm biến gửi dữ liệu đến các nút định tuyến, nút định tuyến này sẽ tổng hợp chúng lại và sau đó gửi chúng đến nút điều phối là UAV.

Sau khi thu thập dữ liệu trong một gateway không đồng nhất, tiền xử lý và đóng gói dữ liệu được thực hiện để gửi về trạm gốc bằng cách sử dụng công nghệ LoRa. Việc truyền có thể không được thực hiện trong thời gian thực, do đó phân mạng này được coi là DTN.

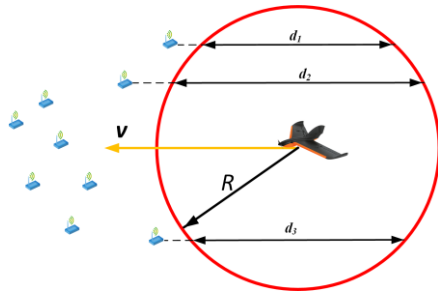
Các mô hình mạng bay xem xét đã được phát triển và thực hiện các mô phỏng trên máy tính. Để giải quyết vấn đề thu thập dữ liệu, chúng tôi xem việc UAV nhận dữ liệu như là một hệ thống hàng đợi [8].



Hình 7. UAV thu thập dữ liệu từ mô hình mạng ngang hàng



Hình 8. UAV thu thập dữ liệu từ mô hình mạng phân cấp


 Hình 9 - Biểu diễn vùng trao đổi dữ liệu (d_i)

Tọa độ của các nút cảm biến là không xác định, do đó, có thể coi đầu vào của hệ thống hàng đợi là một luồng các yêu cầu ngẫu nhiên, các thuộc tính của luồng này được xác định bởi các thuộc tính của mạng cảm biến, bán kính hoạt động của UAV và tốc độ di chuyển của nó.

Giả thiết rằng UAV di chuyển theo đường thẳng với tốc độ không đổi (v), bán kính hoạt động của UAV (R) - là phạm vi hoạt động của công nghệ truyền 6LoWPAN và số lượng luồng các yêu cầu từ mạng cảm biến bị giới hạn. Số lượng các yêu cầu từ mạng cảm biến mà UAV có thể nhận được phụ thuộc vào thời gian trao đổi dữ liệu, được tính theo công thức (1):

$$t_s = \frac{d}{v}, \quad (1)$$

t_s – thời gian trao đổi dữ liệu của một nút với UAV (s);
 d ($d \leq 2R$) – phạm vi hoạt động: khoảng cách mà UAV có thể nhận dữ liệu từ một nút (m);
 v – tốc độ bay của UAV (m/s).

Để tính toán thời gian trao đổi dữ liệu khi biết vận tốc UAV, cần tính được khoảng cách d . Khoảng cách này có thể tính bằng phương pháp circle line picking [17] (hình 9).

Hàm mật độ xác suất của vòng tròn đơn vị được tính theo công thức (2):

$$P_s = \frac{1}{\pi} \cdot \frac{1}{\sqrt{1 - \left(\frac{1}{2} \cdot s\right)^2}}, \quad (2)$$

s – khoảng cách giữa hai điểm bất kỳ trong đường tròn.

Hàm phân phối của vòng tròn đơn vị được tính trong công thức (3):

$$F(s) = \int P_s \cdot ds = \frac{2}{\pi} \cdot \arcsin\left(\frac{s}{2}\right) + c, \quad (3)$$

$c = \text{const}$

Để tính hàm phân phối nghịch của đường tròn đơn vị, chúng ta tìm khoảng cách d , được tính theo công thức (4):

$$d = 2R \cdot \left(\frac{\pi}{2} \cdot F(s)\right), \quad (4)$$

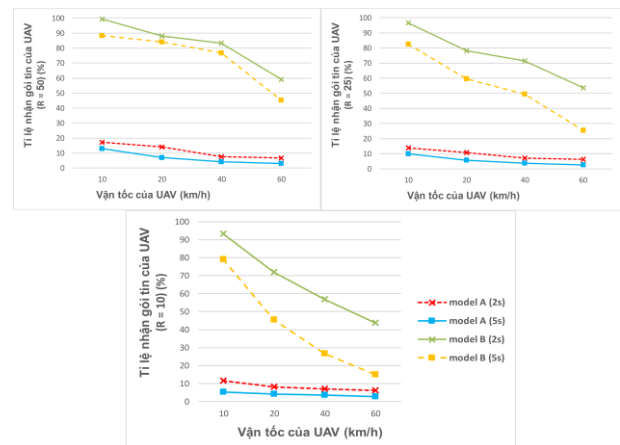
R – bán kính hoạt động của UAV.

Hai kịch bản được xem xét:

Trong kịch bản đầu tiên (model A), giả sử rằng UAV di chuyển theo đường thẳng với tốc độ không đổi ở độ cao 100 m và thu thập dữ liệu từ các nút cảm biến. Tất cả các nút cảm biến ban đầu ở chế độ “ngủ” và chỉ bắt đầu gửi dữ liệu đến UAV khi chúng nhận được tin nhắn Multicast từ UAV.

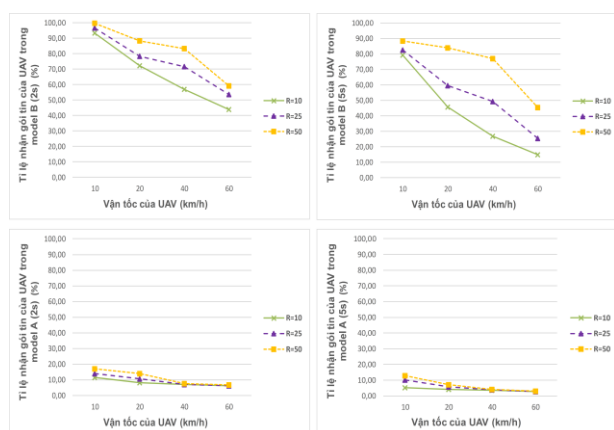
Kịch bản thứ hai (model B) giả định rằng tất cả các nút cảm biến trên phân mạng mặt đất đã gửi dữ liệu đến các nút định tuyến gần chúng. UAV di chuyển theo đường thẳng với tốc độ không đổi ở độ cao 100 m. Ban đầu, tất cả các bộ định tuyến đều ở chế độ “ngủ” và chỉ bắt đầu gửi dữ liệu đến UAV khi chúng nhận được tin nhắn Multicast từ UAV.

UAV có phạm vi nhận dữ liệu hạn chế, do đó, nếu các nút nằm ngoài khu vực nhận dữ liệu (nói cách khác, thời gian truyền từ nút đến UAV lâu hơn thời gian nhận dữ liệu ($t > t_s$), khi đó dữ liệu sẽ bị mất). Gateway có thể được xem như là hệ thống hàng đợi có mất mát. Bộ nhớ đệm trên gateway được coi là không giới hạn. Giả sử rằng UAV di chuyển với các tốc độ khác nhau: 10, 20, 40 và 60 km/h; khoảng thời gian truyền gói tin Multicast là: 2s và 5s; bán kính nhận gói tin UAV, $R = 10, 25, 50$ m; số lượng gói tin đầu vào 450; kích thước gói tin của 6LoWPAN: 1024 bit; kích thước gói tin của LoRa: 720 bit; Tốc độ truyền dữ liệu của 6LoWPAN: 250 kbit/s; Tốc độ truyền dữ liệu của LoRa: 50 kbit/s. Do sử dụng hệ thống tUAV làm trạm gốc nên việc truyền dữ liệu theo đường thẳng từ UAV có thể bỏ qua mất mát dữ liệu. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi UAV di chuyển ở các tốc độ khác nhau và bán kính hoạt động của các nút cảm biến (R) là: 50m, 25m và 10m thì tỷ lệ gói tin nhận được trên UAV đối với model B lớn hơn đối với model A (hình 10).


 Hình 10. So sánh số lượng gói tin nhận được trên UAV khi $R = 50\text{m}, 25\text{m}, 10\text{m}$

Do đó, có thể kết luận rằng việc sử dụng mô hình phân cấp, khi nút định tuyến được sử dụng để thu thập dữ liệu từ các nút cảm biến, là tốt hơn so với mô hình ngang hàng, khi mỗi nút gửi dữ liệu đến một gateway không đồng nhất (nút điều phối). Ngoài ra, khi tốc độ bay của UAV tăng lên 6 lần từ 10km/h đến 60 km/h, thì số lượng gói tin nhận được sẽ giảm. Model B sẽ có số lượng gói tin giảm nhiều hơn so với model A. Trong model B khi gói tin Multicast gửi sau 5s thì số lượng tin nhận được giảm rất nhanh so với khi gói tin gửi sau 2s. Còn model A thì không có sự chênh lệch nhiều giữa 2 trường hợp. Điều này là do thời gian phục vụ của các nút cảm biến hoặc nút định tuyến giảm khi vận tốc UAV tăng và model B nhận được nhiều gói tin hơn nên sẽ bị ảnh hưởng nhiều hơn khi thay đổi bán kính hoạt động UAV, vì theo logic của mô hình, các nút cảm biến chỉ gửi dữ liệu đến UAV khi chúng nhận được các tin nhắn Multicast trước đó.

Hình 11 cho thấy kết quả so sánh số lượng gói tin nhận được trên UAV của các model theo bán kính khác nhau. Từ hình vẽ có thể thấy rằng nếu bán kính hoạt động của UAV tăng lên, thì số lượng gói tin nhận được cũng tăng lên. Sự chênh lệch nhất giữa gói tin nhận được giữa các bán kính khác nhau là của model B cụ thể là khi gói tin Multicast gửi đi với chu kỳ 5s. Đối với model A thì tỉ lệ chênh lệch không đáng kể cho cả hai trường hợp. Như vậy, chu kỳ gửi tin càng ngắn thì khả năng thu thập gói tin càng tăng, nguyên nhân có thể thấy là do logic hoạt động của mô hình trong thời gian hoạt động giới hạn của UAV là như nhau cho các trường hợp tỉ lệ nhận tin nhắn ở model A là khá thấp nên sẽ không thấy được sự chênh lệch như ở model B, tuy nhiên khi bán kính tăng thì tỉ lệ nhận tin nhắn cũng tăng trong cả hai model.



Hình 11. So sánh số lượng gói tin nhận được trên UAV của các mô hình mạng theo bán kính khác nhau

IV. KẾT LUẬN

Bài báo nghiên cứu một mạng mới - mạng cảm biến bay triển khai rộng (FUSN) là một ứng dụng của mạng IoT cũng như mạng WSN. Bài báo đã phân tích nguyên tắc tổ chức của mạng WSN, mạng USN, mạng FANET đây là các tiền đề quan trọng cho sự xuất hiện của mạng FUSN. Bài báo đề xuất các phương pháp xây dựng và tổ chức hoạt động của mạng FUSN, lấy ví dụ ứng dụng vào trường hợp tìm kiếm cứu nạn trong khu vực chịu thiên tai. Kết quả của

nghiên cứu cho thấy: hệ thống UAV có dây buộc giúp tăng thời gian hoạt động của mạng FUSN từ đó tăng hiệu quả hoạt động; mạng cảm biến có thể triển khai nhanh giúp tăng hiệu quả của nhiệm vụ tìm kiếm cứu nạn trong trường hợp khẩn cấp; khả năng thu thập dữ liệu của mạng cảm biến bay triển khai nhanh sử dụng hệ thống tUAV làm trạm gốc phụ thuộc nhiều vào vận tốc, bán kính hoạt động của UAV và sẽ hiệu quả nếu phân mạng mặt đất sử dụng cấu trúc mạng phân cấp và chu kỳ gói tin Multicast được gửi. Hướng nghiên cứu tiếp theo xem xét các vấn đề bảo mật trong mạng FUSN để đảm bảo việc thu thập và truyền dữ liệu trong mạng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] F. Xia, L. T. Yang, L. Wang, and A. Vinel, "Internet of things," International journal of communication systems, 25(9), pp. 1101, 2012.
- [2] F. Wortmann, and K. Flüchter, "Internet of things," Business & Information Systems Engineering, 57(3), pp. 221-224, 2015.
- [3] A. Yastrebova, R. Kirichek, Y. Koucheryavy, A. Borodin, A. Koucheryavy, "Future Networks 2030: Architecture and Requirements," In 2018 10th International Congress on Ultra Modern Telecommunications and Control Systems and Workshops (ICUMT), IEEE, pp. 1-8, 2018.
- [4] L. Mainetti, L. Patrono, and A. Vilei, "Evolution of wireless sensor networks towards the internet of things: A survey," In SoftCOM 2011, 19th international conference on software, telecommunications and computer networks, IEEE, pp. 1-6, 2011.
- [5] A. Koucheryavy, and A. Prokopiev, "Ubiquitous sensor networks traffic models for telemetry applications," In Smart Spaces and Next Generation Wired/Wireless Networking, Springer, Berlin, Heidelberg, pp. 287-294, 2011.
- [6] A. Koucheryavy, A. Vladyko, and R. Kirichek, "State of the art and research challenges for public flying ubiquitous sensor networks," In Internet of Things, Smart Spaces, and Next Generation Networks and Systems Springer, Cham, pp. 299-308, 2015.
- [7] I. Bekmezci, K. S. Ozgur, T. Şamil, "Flying ad-hoc networks (FANETs): A survey," Ad Hoc Networks, 11(3), pp. 1254-1270, 2013.
- [8] R. Kirichek, A. Paramonov, A. Koucheryavy, "Flying ubiquitous sensor networks as a queueing system," In 2015 17th International Conference on Advanced Communication Technology (ICACT), IEEE, pp. 127-132, 2015.
- [9] L. Gupta, R. Jain, G. Vaszkun, "Survey of important issues in UAV communication networks," IEEE Communications Surveys & Tutorials, Vol. 18(2), pp. 1123-1152, 2016.
- [10] W. B. Pöttner, F. Büsching, G. Von Zengen, L. Wolf, "Data elevators: Applying the bundle protocol in delay tolerant wireless sensor networks," In Mobile Adhoc and Sensor Systems (MASS), IEEE 9th International Conference on, pp. 218-226, 2012.
- [11] V. Vishnevsky, and R. Meshcheryakov, "Experience of developing a multifunctional tethered high-altitude unmanned platform of long-term operation," In International Conference on Interactive Collaborative Robotics, Springer, Cham, pp. 236-244, 2019.
- [12] T. D. Dinh, V. D. Pham, R. Kirichek, A. Koucheryavy, "Flying network for emergencies," In International

- Conference on Distributed Computer and Communication Networks, Springer, Cham. pp. 58–70, 2018.
- [13] T. D. Dinh, D. T. Le, T. T. T. Tran, R. Kirichek, “Flying Ad-Hoc Network for Emergency Based on IEEE 802.11 p Multichannel MAC Protocol,” In International Conference on Distributed Computer and Communication Networks, Springer, Cham, pp. 479–494, 2019.
- [14] R. Kirichek, V. Kulik, “Long-range data transmission on flying ubiquitous sensor networks (FUSN) by using LPWAN protocols,” Communications in Computer and Information Science (CCIS). Vol. 678, pp. 442–453, 2016.
- [15] R. Ramankutty, R. Velandy, S. K. Puthiyandyil, “Combined gateway for network communications,” U.S. Patent No. 8,363,664. Washington, DC: U.S. Patent and Trademark Office, 2013.
- [16] T. D. Dinh, R. Pirmagomedov, V. D. Pham, A. A. Ahmed, R. Kirichek, R. Glushakov, A. Vladyko, “Unmanned aerial system-assisted wilderness search and rescue mission,” International Journal of Distributed Sensor Networks, Vol. 15(6), 1550147719850719, 2019.
- [17] W. Weisstein Eric, “Circle line picking,” From MathWorld – A Wolfram Web Resource, 2004. <http://mathworld.wolfram.com/CircleLinePicking> (2020).

METHODS FOR CONSTRUCTION AND FUNCTIONING OF A FLYING SENSOR UBIQUITOUS NETWORK

Abstract— Nowadays, new networks for IoT are attracting a great deal of attention from researchers, one of which is the FUSN (Flying Ubiquitous Sensor Network) using Unmanned Aerial Vehicles (UAVs). FUSN is a combination of Ubiquitous Sensor Networks (USN) and Flying Ad-hoc networks (FANET) to collect, process, and transmit data to the base station. The FUSN network is increasingly being used for civil purposes and especially in emergency search and rescue. The first priority work in the search and rescue mission after a disaster is to assess its consequences. To achieve this aim, the paper presents methods for building and functioning the FUSN to improve the efficiency of data collection and transmission. Specifically, a fast deployment of flying sensor network is proposed for search and rescue missions in disaster areas by using UAVs equipped with heterogeneous gateways capable of communicating with each other and using a tethered UAV system as a mobile base station. Simultaneously, a simulation is carried on and its results prove that the deployment of the hierarchical network model on a terrestrial segment of the fast deployment of flying sensor network helps the data collection process of the UAV to be more efficient than peer-to-peer network model.

Keywords—FANET, FUSN, UAV, tethered UAV system, search and rescue



TS. Đinh Trường Duy nhận bằng cử nhân năm 2014 tại Đại học Viễn thông St. Petersburg, Nga. Ông nhận bằng thạc sĩ và tiến sĩ lần lượt vào năm 2016 và 2021 tại Đại học Viễn thông St. Petersburg, Nga. Ông hiện là giảng viên tại Khoa An Toàn Thông Tin, Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông. Các hướng nghiên cứu hiện nay của ông bao gồm: phát hiện tấn công, xâm nhập, phát hiện mã độc, bảo mật và an toàn các mạng thế hệ mới WSN, FANET, VANET, 5G, IoT, blockchain.