


FAIR2024

FAIR2024 <fair2024@easychair.org>

Wed 7/17/2024 6:28 AM

To: Le Huu Binh <lhbhinh@hueuni.edu.vn>

 1 attachments (18 KB)

Response-Template.docx;

Kính gửi Quý tác giả Le Huu Binh,

Ban tổ chức Hội nghị Khoa học công nghệ Quốc gia lần thứ XVII về Nghiên cứu Cơ bản và Ứng dụng Công nghệ thông tin (FAIR2024) xin trân trọng thông báo:

Bài viết có mã số: 1565

- Với tựa đề: MỘT GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY BẰNG KỸ THUẬT ĐỊNH TUYẾN KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN TÔ-PÔ
- Của nhóm các tác giả: Le Huu Binh, Vo Thanh Tu, Nguyen Hoang Ha, Tran Thi Phuong Chi

Đã được chấp nhận để trình bày tại Hội nghị FAIR2024.

Như đã thông báo trên website của FAIR (<https://fair.conf.vn>) Hội nghị diễn ra vào 2 ngày 08, 09 tháng 8 năm 2024 tại Học viện Công nghệ Bưu chính - Viễn thông. Địa chỉ: 96A Đường Trần Phú, P. Mộ Lao, Hà Đông, Hà Nội, Việt Nam (<https://maps.app.goo.gl/K9woXK3k65MUx8VP6>)

Để chuẩn bị tốt cho việc tổ chức hội nghị vào 2 ngày nói trên, Ban Chương trình (BCT) có một vài thông báo như sau:

1. Về bài báo:

Cần nhắc để hiệu chỉnh những góp ý của các phản biện sao cho xứng đáng là một bài báo đăng trên Kỷ yếu của FAIR mà đã được Hội đồng Chức danh giáo sư ngành CNTT đánh giá cao. Sau đó upload lại toàn văn lên hệ thống gồm 2 file:

- File toàn văn dưới dạng Microsoft Word (có cả tựa đề và phần tóm tắt bằng tiếng Anh - nếu bài viết sử dụng tiếng Việt)
- Kiểm tra sự trùng lặp qua hệ thống Turnitin để bảo đảm tỷ lệ trùng lặp không quá 30% với bộ lọc là chỉ kiểm tra sự trùng lặp của các câu dài từ 30 từ trở lên.
- File giải trình được lưu lại dưới dạng PDF (được viết theo mẫu đính kèm) nhằm giải trình những yêu cầu cần sửa chữa của phản biện.

Hạn cuối nộp lên hệ thống là ngày 24/8/2024.

Quý tác giả cũng cần cập nhật lại trên hệ thống:

- Tựa đề bài viết phải giống với tựa đề có trong file toàn văn.
- Họ và tên người Việt theo quy định của FAIR với First name là Họ và chữ lót, còn Last name là Tên gọi.
- Email của cộng sự mình là email sử dụng được.

2. Thông tin về việc tham dự Hội nghị:

- Về tổ chức hội nghị tại Học viện Công nghệ Bưu chính Viễn thông: Quý tác giả liên hệ trực tiếp với Ban tổ

MỘT GIẢI PHÁP NÂNG CAO HIỆU QUẢ SỬ DỤNG NĂNG LƯỢNG TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY BẰNG KỸ THUẬT ĐỊNH TUYẾN KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN TÔ-PÔ

Lê Hữu Bình^a, Võ Thanh Tú^b, Nguyễn Hoàng Hà^c, Trần Thị Phương Chi^d

Khoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Khoa học, Đại học Huế

^alhbinh@hueuni.edu.vn, ^bvytu@hueuni.edu.vn, ^cnhha@husc.edu.vn, ^dphuongchi910@husc.edu.vn

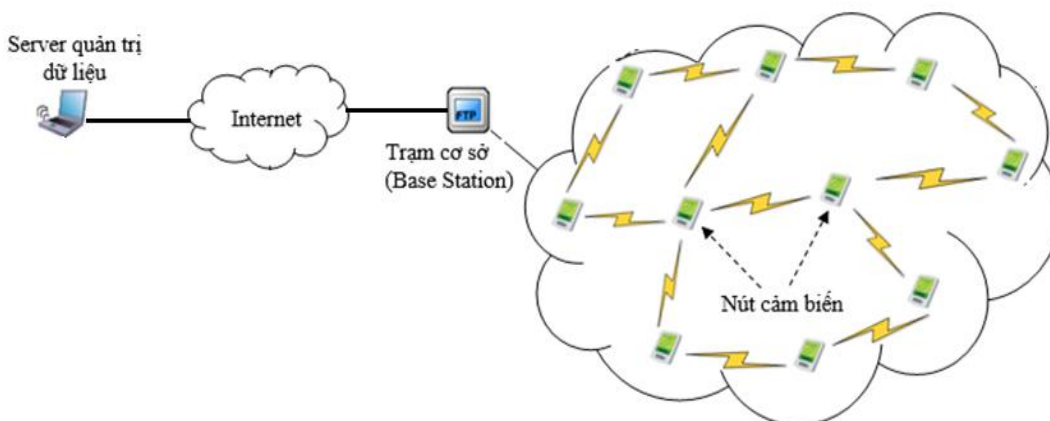
TÓM TẮT— Một trong những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến hiệu năng của mạng cảm biến không dây (WSN) là hiệu quả sử dụng năng lượng tại các nút cảm biến. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất một giải pháp kết hợp giữa định tuyến và điều khiển tô-pô nhằm giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng tại các nút cảm biến, kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống mạng. Ý tưởng của giải pháp là dựa trên bảng định tuyến, các nút cảm biến điều chỉnh công suất phát phù hợp, đủ để duy trì kết nối đến các nút láng giềng có sử dụng trong bảng định tuyến. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, giải pháp được đề xuất mang lại hiệu quả cao về mặt sử dụng năng lượng, kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống mạng.

Từ khóa— Mạng cảm biến không dây, định tuyến hiệu quả năng lượng, điều khiển tô-pô.

I. GIỚI THIỆU

Trong các mô hình mạng không dây tùy biến (Ad-hoc Wireless Networks), mạng cảm biến không dây đã và đang được sử dụng phổ biến trong nhiều lĩnh vực, điển hình như giám sát môi trường, nông nghiệp thông minh, giao thông thông minh. Đặc biệt, khi mà công cuộc chuyển đổi số đang ngày càng được đẩy mạnh, nhu cầu ứng dụng mạng cảm biến không dây ngày một tăng cao.

Hình 1 là một ví dụ điển hình của một mạng WSN, thành phần cơ bản nhất là các nút cảm biến (sensor) với chức năng thu thập các thông tin cần thiết cho phần mềm ứng dụng. Hiện nay, các sensor có thể thu thập được hầu hết các thông tin cần thiết cho các ứng dụng thực tế, điển hình như nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng, chất lượng nước, nồng độ cồn, phát hiện chuyển động, phát hiện đối tượng. Một chức năng quan trọng khác của các nút cảm biến là hỗ trợ các giao diện truyền thông không dây. Nhờ các giao diện này mà các nút cảm biến mới có thể kết nối với nhau, cũng như kết nối về trạm cơ sở để truyền dữ liệu. Hiện nay, các nút cảm biến có thể hoạt động với các chuẩn mạng không dây cơ bản như IEEE 802.11a/b/g/n/ac. Thậm chí, một số thiết bị cảm biến sử dụng công nghệ mạng không dây mới nhất hiện nay còn có thể hỗ trợ chuẩn IEEE 802.11s của mạng không dây hình lưới. Ngoài các chuẩn 802.11, các nút cảm biến cũng có thể sử dụng các chuẩn không dây khác như Bluetooth, LORA, Z, Zigbee (IEEE 802.15.4). Thành phần quan trọng tiếp theo trong mạng WSN là các trạm cơ sở (Base Station - BS). Đây là nơi tập hợp dữ liệu từ tất cả các nút cảm biến. Phương thức kết nối giữa BS và các nút cảm biến cũng thường thông qua môi trường không dây. Tuy nhiên, vẫn có trường hợp kết nối qua môi trường có dây đối với mô hình phân cấp, một vài nút cảm biến đóng vai trò là “nhóm trưởng” sẽ kết nối bằng môi trường có dây đến BS. Thành phần còn lại của một mạng WSN là hệ thống Server để phân tích dữ liệu. Khi BS tập hợp được dữ liệu từ tất cả các nút cảm biến, dữ liệu này được đưa về Server qua môi trường Internet để phân tích, xử lý. Hiện nay, một số ứng dụng của mạng WSN đã có thể tích hợp các mô hình học máy, trí tuệ nhân tạo để xử lý dữ liệu một cách thông minh, nhanh chóng.



Hình 1. Một ví dụ của mạng cảm biến không dây (WSN) [1]

Một trong những yếu tố có ảnh hưởng lớn đến hiệu năng của mạng WSN là hiệu quả sử dụng năng lượng tại các nút cảm biến. Điều này đã nhận được sự quan tâm của nhiều nhóm nghiên cứu trong thời gian gần đây. Việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong mạng WSN có thể thực hiện bằng kỹ thuật định tuyến có xét đến năng lượng [1], [2],

hoặc kỹ thuật điều khiển tô-pô có xét đến năng lượng [4]-[7]. Với kỹ thuật định tuyến, tác giả Lê Đức Huy cùng các cộng sự đã đề xuất một thuật toán định tuyến có xét đến mức tiêu thụ năng lượng tại các nút cảm biến dựa trên kiến trúc mạng điều khiển bằng phần mềm (Software Defined Networking - SDN) [1]. Phương pháp của họ là xây dựng một hàm trọng số cho các kết nối có chứa tham số về năng lượng còn lại tại các nút. Sau đó, sử dụng kỹ thuật định tuyến tập trung dựa trên kiến trúc SDN để tìm lộ trình có trọng số tốt nhất sử dụng cho việc truyền dữ liệu. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, thuật toán được đề xuất cho phép tăng thời gian hoạt động của các nút, tăng thông lượng so với các thuật toán định tuyến truyền thống. Trong [2], các tác giả đã đề xuất một cơ chế định tuyến có xét đến năng lượng dựa trên SDN để cải thiện hiệu quả sử dụng năng lượng của WSN với hệ thống IIoT để hỗ trợ công nghiệp 4.0. Bộ điều khiển SDN ước tính mức năng lượng tại các nút quan trọng trong WSN và quyết định lộ trình tốt nhất dựa trên tình trạng sử dụng năng lượng của chúng thay vì tiêu chí đường đi ngắn nhất được sử dụng rộng rãi. Sử dụng phương pháp mô phỏng, nhóm tác giả đã cho thấy rõ phương pháp được đề nghị cho phép giảm thiểu tình trạng các nút của WSN cạn kiệt nguồn năng lượng và làm gián đoạn việc truyền dữ liệu một cách đột ngột.

Với phương pháp nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng bằng kỹ thuật điều khiển tô-pô, nhóm tác giả trong [4] đã đề xuất một thuật toán điều khiển tô-pô hiệu quả năng lượng có tên RL-CRC (Reinforcement Learning-based Communication Range Control). Phương pháp của nhóm tác giả là sử dụng thuật toán học tăng cường để điều chỉnh vùng truyền thông của mỗi nút nhằm thu được một tô-pô tối ưu. Thông qua kết quả mô phỏng, nhóm tác giả cho thấy được thuật toán RL-CRC mang lại năng lượng tiêu thụ tại các nút nhỏ hơn so với các thuật toán điều khiển tô-pô phổ biến. Trong [5], một thuật toán điều khiển tô-pô có tên FLSS (Fault-tolerant Local Spanning Subgraph) đã được đề xuất cho mạng không dây tùy biến. Thuật toán FLSS cực tiểu hóa công suất truyền dẫn lớn nhất được sử dụng trong mạng. Bằng phương pháp mô phỏng, các tác giả đã chứng minh rằng thuật toán FLSS mang lại hiệu quả cao trong việc sử dụng nguồn năng lượng và tài nguyên mạng. Điều khiển tô-pô sử dụng logic mờ cũng đã được thực hiện trong [6]. Trong công trình này, các tác giả đã đưa ra một thuật toán điều khiển tô-pô mới được đặt tên là FTC (Fuzzy logic-based Topology Control) với mục tiêu cải thiện độ kết nối mạng. Để đạt được mục tiêu này, thuật toán FTC điều chỉnh vùng truyền thông của mỗi nút để bậc trung bình của các nút tiến gần đến bậc mong đợi. Hiệu quả thực thi của thuật toán FTC được so sánh với các thuật toán điều khiển tô-pô phổ biến bằng kỹ thuật mô phỏng. Trong [7], các tác giả đã đề xuất một thuật toán điều khiển tô-pô hiệu quả năng lượng cho mạng WSN. Trong công trình này, các tác giả đã phát biểu bài toán điều khiển tô-pô bằng một bài toán quy hoạch phi tuyến, sau đó sử dụng giải thuật di truyền (Genetic algorithm - GA) để giải bài toán này. Kết quả mô phỏng trên MATLAB đã cho thấy rằng thuật toán được đề xuất mang lại hiệu quả sử dụng năng lượng tốt hơn so với trường hợp sử dụng tô-pô với công suất cực đại trong mạng WSN.

Các công trình đã công bố được đề cập ở trên cho thấy rằng, việc tối ưu hóa năng lượng trong mạng WSN có thể thực hiện bằng kỹ thuật định tuyến hoặc điều khiển tô-pô. Trong công trình này, chúng tôi đề xuất một giải pháp mới bằng cách kết hợp cả thuật toán định tuyến và điều khiển tô-pô nhằm cải thiện hơn nữa hiệu quả sử dụng năng lượng tại các nút cảm biến trong mạng WSN. Các kết quả chính được trình bày trong các phần tiếp theo của bài báo với bố cục như sau: Phần II trình bày phương pháp định tuyến kết hợp điều khiển tô-pô trong mạng WSN. Phần III trình bày các kết quả mô phỏng được thực hiện trên OMNeT++. Cuối cùng là các kết luận và đề xuất hướng phát triển tiếp theo, được trình bày chi tiết trong phần V.

II. ĐỊNH TUYẾN KẾT HỢP ĐIỀU KHIỂN TÔ-PÔ TRONG MẠNG WSN

Trong phần này, chúng tôi trình bày thuật toán định tuyến kết hợp điều khiển tô-pô cho mạng WSN được đặt tên là TCRA (Topology Control and Routing Algorithm). Trước tiên, chúng tôi mô hình hóa bài toán định tuyến thành một bài toán quy hoạch tuyến tính nguyên (Integer Linear Programming - ILP), sau đó giải bài toán này để tìm tập lộ trình truyền dữ liệu, cập nhật vào bảng định tuyến của mỗi nút cảm biến. Dựa trên bảng định tuyến, các nút cảm biến điều chỉnh công suất phát phù hợp để thu được một tô-pô tối ưu về mặt sử dụng năng lượng.

A. Mô hình hóa bài toán định tuyến trong mạng WSN thành bài toán ILP

Xét một mạng WSN như mô tả ở Hình 1, gọi $P = [\rho_{sb}]_{n \times 1}$ là ma trận lưu lượng từ tất cả các nút cảm biến (s) đến trạm cơ sở (b). Để xác định tất cả các lộ trình truyền dữ liệu trong mạng, chúng tôi định nghĩa một tập $X = \{x_{ij}^{sb} \mid i, j, s = \overline{1..n}\}$ biểu thị các kết nối được chọn cho mỗi lộ trình r_{sd} , là lộ trình từ nút cảm biến (s) đến trạm cơ sở (b), trong đó mỗi biến x_{ij}^{sb} được xác định bởi:

$$x_{ij}^{sb} = \begin{cases} 1 & \text{nếu lộ trình } r_{sb} \text{ đi qua kết nối } l_{ij} \\ 0 & \text{trong trường hợp ngược lại} \end{cases} \quad (1)$$

Với định nghĩa này, việc tìm tất cả các lộ trình có trọng số nhỏ nhất từ mỗi nút cảm biến đến trạm cơ sở, đồng thời cân bằng tải lưu lượng trên tất cả các kết nối không dây tương đương với việc giải bài toán ILP sau:

$$\text{Minimize } \sum_{\forall x_{ij}^{sb} \in X} (x_{ij}^{sb} w_{ij}) \quad (2)$$

Trong đó w_{ij} là trọng số của kết nối không dây l_{ij} . Các điều kiện ràng buộc của hàm mục tiêu (2) được xác định như sau:

$$\sum_{i \in N} x_{ij}^{sb} - \sum_{k \in N} x_{jk}^{sb} = \begin{cases} -1 & \text{if } j=s \\ 1 & \text{if } j=b \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3)$$

$$\sum_{\forall s \in N} (x_{ij}^{sb} \rho_{sb}) \leq C \quad (4)$$

$$x_{ij}^{sb} \in \{0, 1\} \quad (5)$$

Phương trình (3) là ràng buộc luồng dữ liệu [8], với mỗi nút j trong mạng, nếu j là nút nguồn (ký hiệu là s) thì chỉ có luồng đi ra từ nút này. Nếu j là nút đích (ký hiệu là b , chính là trạm cơ sở của mạng WSN) thì chỉ có luồng đi vào nút j . Ngược lại, j là một nút trung gian thì tổng số luồng đi vào nút j phải bằng tổng số luồng đi ra khỏi nút này. Phương trình (4) là ràng buộc về tải lưu lượng trên các kết nối không dây nhằm giúp cho tải lưu lượng phân bố đồng đều hơn qua các kết nối trong mạng. Hằng số C trong ràng buộc này là tải lưu lượng lớn nhất trên mỗi kết nối, được xác định bằng Erlang. Bằng cách giải bài toán ILP với hàm mục tiêu (2) và các điều kiện ràng buộc từ (3) đến (5), ta tìm được tập $X = \{x_{ij}^{(sb)} \mid i, j, s = 1..n\}$, nghĩa là tìm được tập lộ trình truyền dữ liệu trong toàn mạng.

B. Thuật toán định tuyến kết hợp điều khiển tô-pô (TCRA)

Thuật toán 1 cho thấy mã giả lập của thuật toán định tuyến kết hợp điều khiển tô-pô trong mạng WSN. Với mỗi cấu hình mạng WSN cho trước, chúng tôi mô hình hóa bài toán định tuyến thành bài toán ILP, sau đó giải bài toán này để tìm tập nghiệm, tức là tập lộ trình truyền dữ liệu từ mỗi nút cảm biến về trạm cơ sở (BS). Việc giải bài toán ILP ở bước (3) của Thuật toán 1 có thể có nghiệm hoặc không có nghiệm. Sở dĩ trường hợp không có nghiệm có thể xảy ra là vì chúng tôi có xét đến ràng buộc ở phương trình (4), là ràng buộc về tải lưu lượng trên các kết nối không dây để cân bằng tải trong mạng. Trong trường hợp này, cần phải tăng giá trị C trong ràng buộc này để bài toán ILP có nghiệm. Bằng phương pháp chia đôi (bisection) [9] được sử dụng để tìm một giá trị ΔC nhỏ nhất với sai số ε cần tăng thêm cho ràng buộc ở phương trình (4) để bài toán ILP có nghiệm (các bước từ (19) đến (22) và (25) trong Thuật toán 1).

Thuật toán 1: Thuật toán định tuyến kết hợp điều khiển tô-pô (TCRA)

Input: Một mạng WSN với các thông số kỹ thuật của nó.

Output: Bảng định tuyến và công suất phát của mỗi nút cảm biến.

Method:

- (1) Xây dựng bài toán ILP với hàm mục tiêu (2) và các điều kiện ràng buộc từ (3) đến (5);
 - (2) $\Delta C \leftarrow 0$; $C^- \leftarrow 0$; $C^+ \leftarrow C_{max}$; $\varepsilon \leftarrow 1e-3$;
 - (3) Giải bài toán ILP ở bước (1);
 - (4) **if** (tìm được tập nghiệm X)
 - (5) **if** ($|C^- - \Delta C| \leq \varepsilon$)
 - (6) **for** (mỗi nút cảm biến i trong mạng)
 - (7) Cập nhật bảng định tuyến của i dựa trên tập nghiệm X ;
 - (8) $R_i \leftarrow 0$;
 - (9) **for** (mỗi nút láng giềng j của i)
 - (10) **if** (tồn tại $x_{ij}^{sb} = 1, \forall s \in N$)
 - (11) Tính khoảng cách từ i đến j , ký hiệu là d ;
 - (12) **if** ($R_i < d$)
 - (13) $R_i \leftarrow d$;
 - (14) **endif**;
 - (15) **endif**;
 - (16) **endfor**;
 - (17) **endfor**;
 - (18) **else**
 - (19) $C^+ \leftarrow \Delta C$;
 - (20) $\Delta C \leftarrow (C^- + C^+)/2$;
 - (21) $C \leftarrow C + \Delta C$;
 - (22) Trở lại bước (3);
 - (23) **endif**;
 - (24) **else**
 - (25) $C^- \leftarrow \Delta C$;
 - (26) Trở lại bước (20);
 - (27) **endif**;
-

III. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

A. Kích bản mô phỏng

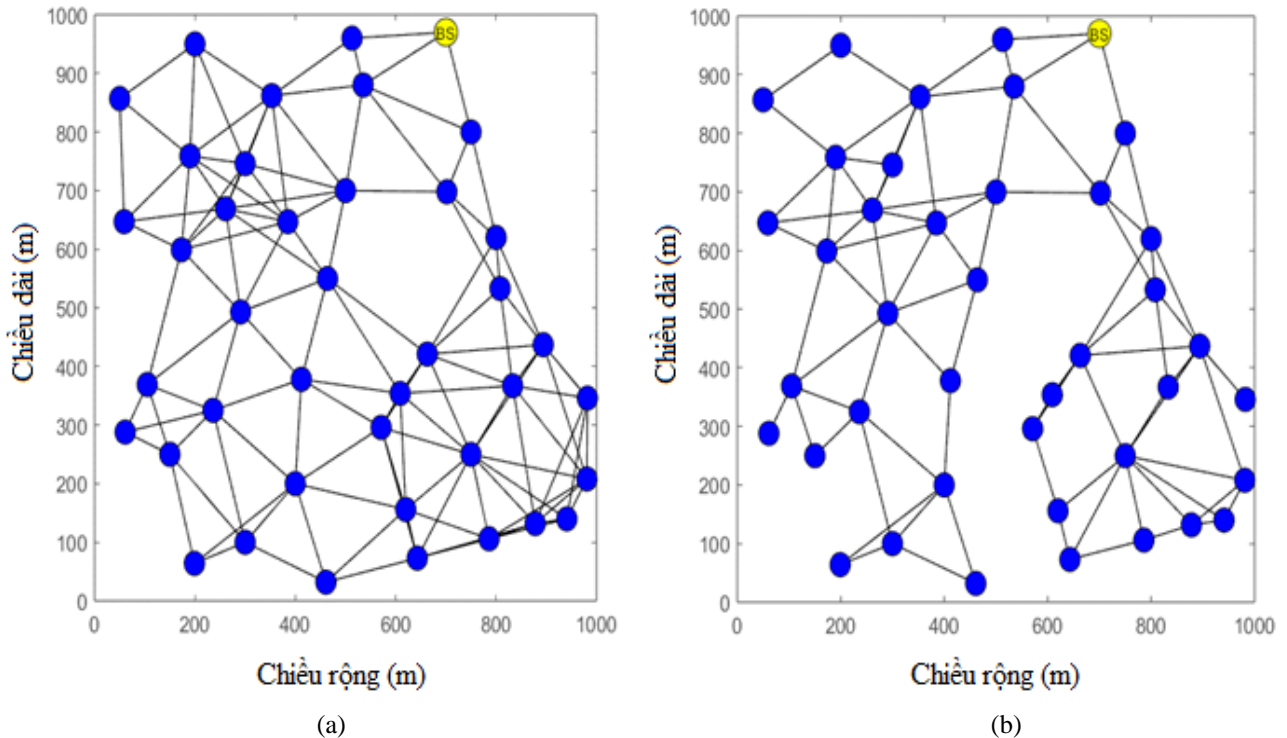
Trong phần này, chúng tôi sử dụng phương pháp mô phỏng để đánh giá hiệu quả thực thi của thuật toán TCRA. Mô phỏng được cài đặt trên MATLAB, bài toán quy hoạch tuyến tính nguyên trình bày ở phần II.A được giải bằng công cụ tối ưu (Optimization Toolbox) của MATLAB. Thuật toán TCRA được so sánh với trường hợp tô-pô mạng sử dụng công suất cực đại, được đặt tên là MaxPower. Đây là trường hợp mặc định trong mạng WSN. Trong trường hợp này, các nút cảm biến luôn hoạt động với vùng truyền thông lớn nhất. Các độ đo dùng để đánh giá bao gồm bậc nút trung bình và tỷ lệ tiêu thụ năng lượng. Các kịch bản mô phỏng được thiết lập như ở Bảng 1.

Bảng 1. Tham số kỹ thuật của các kịch bản mô phỏng

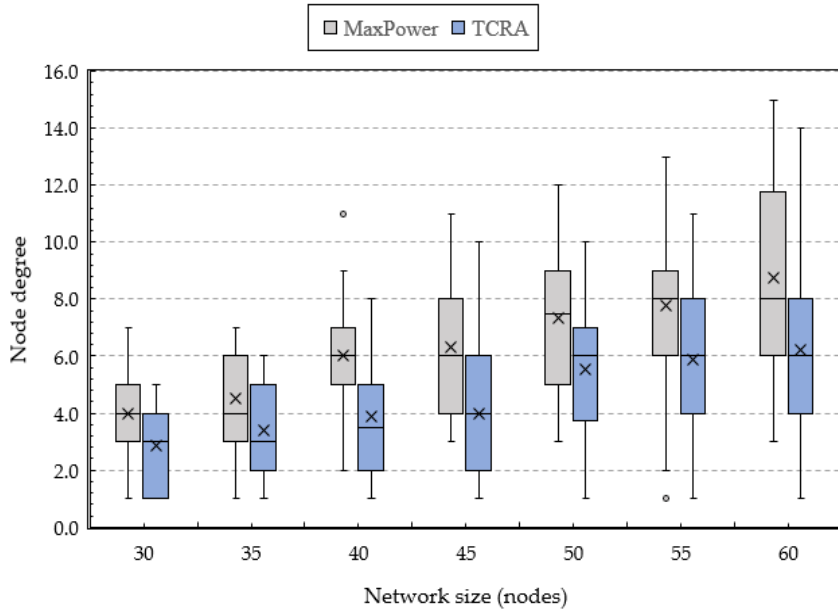
Tham số	Giá trị
Vùng diện tích mạng WSN	Từ 1000×1000 [m ²] đến 1500×1500 [m ²]
Vùng truyền thông lớn nhất của các nút cảm biến	250 [m]
Tổng số nút cảm biến	Từ 30 đến 60
Thuật toán giải bài toán ILP	Intlinprog trong Optimization Toolbox của MATLAB
Ràng buộc cân bằng tải (C trong phương trình (4))	1 Erlang
Tổng số kịch bản mô phỏng	28
Mô hình suy hao công suất tín hiệu	Không gian tự do (Free space)

B. Kết quả mô phỏng

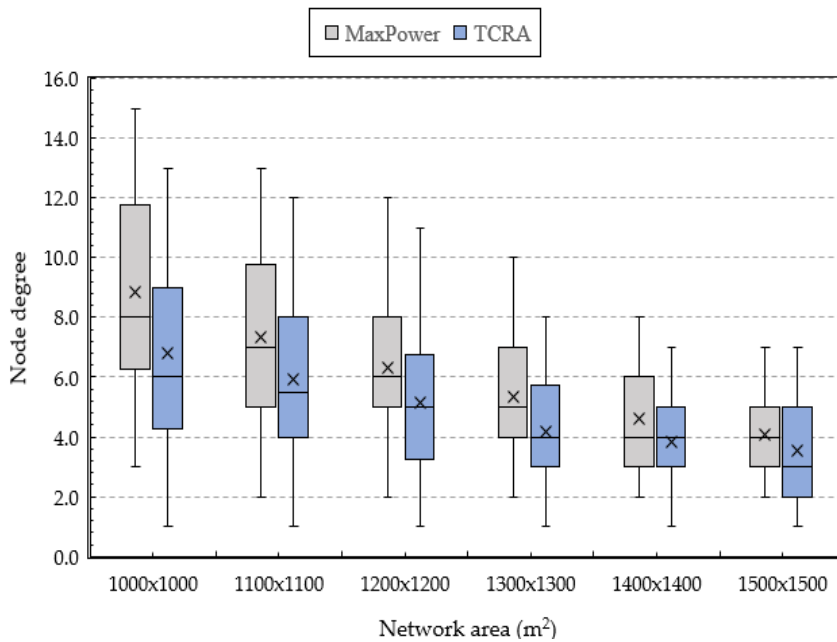
Trước tiên, chúng tôi phân tích tô-pô mạng khi sử dụng thuật toán được đề xuất. Kết quả thu được ở Hình 2 là tô-pô mạng khi sử dụng thuật toán TCRA và MaxPower. Trong trường hợp này, tổng số nút cảm biến là 40 và vùng diện tích mạng WSN là 1000×1000 [m²]. Ta thấy rằng, với trường hợp MaxPower (kết quả ở Hình 2a), tô-pô bao gồm nhiều kết nối giữa các nút. Tô-pô này sẽ không tối ưu vì trong tổng số kết nối đó có nhiều kết nối không được dùng đến, trong lúc để duy trì những kết nối này, các nút cảm biến phải thường xuyên truyền các gói điều khiển như gói hello, gói beacon để cảm nhận tín hiệu sóng mang, điều này sẽ làm tiêu tốn một phần không nhỏ nguồn năng lượng của các nút cảm biến. Với trường hợp của thuật toán TCRA, tô-pô thu được tối ưu hơn do công suất phát của các nút cảm biến đã được điều chỉnh để loại bỏ các kết nối không cần thiết (kết quả ở Hình 2b), các kết nối còn lại là đủ để các nút cảm biến truyền dữ liệu về trạm cơ sở.



Hình 2. Tô-pô mạng thu được khi sử dụng thuật toán (a) MaxPower và (b) TCRA



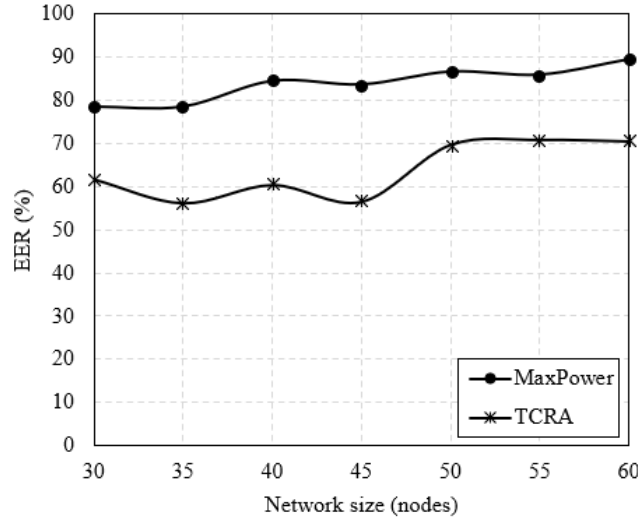
Hình 3. So sánh bậc của các nút cảm biến theo sự thay đổi của kích thước mạng



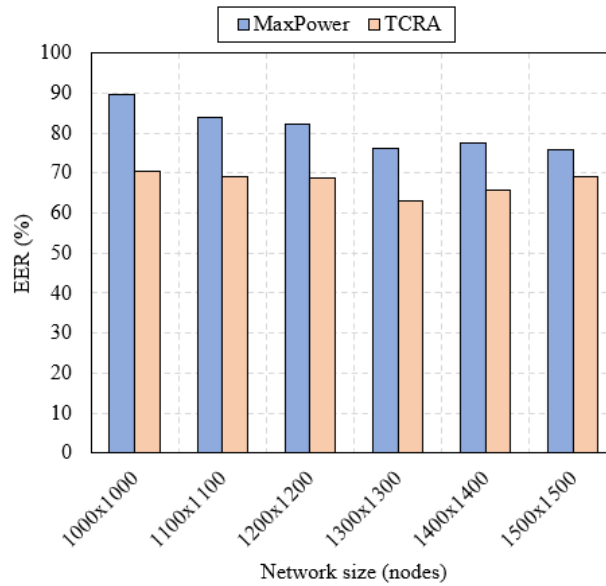
Hình 4. So sánh bậc của các nút cảm biến theo sự thay đổi của diện tích mạng

Tiếp theo, chúng tôi khảo sát bậc của các nút cảm biến (node degree), đây là một độ đo quan trọng trong bài toán thiết kế tô-pô mạng, có ảnh hưởng lớn đến hiệu quả sử dụng năng lượng và việc truyền dữ liệu trong mạng. Trong một hệ thống mạng không dây nói chung, mạng WSN nói riêng, bậc của một nút được định nghĩa như là tổng số nút láng giềng của nút đó [3], [11]. Kết quả thu được ở Hình 3 cho thấy sự khác biệt về bậc của các nút cảm biến khi sử dụng hai thuật toán MaxPower và TCRA. Chúng ta dễ dàng quan sát rằng, khi tổng số nút cảm biến càng lớn thì bậc của các nút càng tăng, điều này là hiển nhiên vì trong cùng một diện tích mạng, nếu mật độ nút càng cao thì xác suất các nút nằm trong vùng phủ sóng của nhau càng cao, dẫn đến bậc của các nút tăng. Tuy nhiên, khi so sánh giữa thuật toán MaxPower và TCRA ta thấy rằng, thuật toán TCRA luôn mang lại bậc nút nhỏ hơn so với thuật toán MaxPower, điều này giúp cho hệ thống mạng hoạt động hiệu quả hơn về mặt năng lượng vì các nút tiêu thụ ít năng lượng để duy trì các kết nối, trong khi vẫn đảm bảo duy trì các lộ trình truyền dữ liệu về trạm cơ sở (do công suất phát của mỗi nút được điều chỉnh phù hợp dựa trên bảng định tuyến như mô tả ở Thuật toán 1).

Khi diện tích mạng thay đổi, kết quả thu được như ở Hình 4. Kết quả này được thực thi trên hệ thống mạng WSN với 60 nút cảm biến, vùng diện tích mạng biến đổi từ 1000×1000 [m²] đến 1500×1500 [m²]. Các kết quả trên Hình 4 cho thấy rằng, diện tích mạng càng lớn thì bậc của các nút cảm biến càng giảm. Nguyên nhân là do với cùng tổng số nút cảm biến, diện tích mạng càng lớn thì mật độ nút càng thưa, kéo theo tổng số nút láng giềng của mỗi nút cũng giảm, hay nói cách khác là giảm bậc của mỗi nút. So sánh giữa thuật toán MaxPower và TCRA, thuật toán TCRA mang lại giá trị bậc của các nút tối ưu hơn.



Hình 5. So sánh tỷ lệ tiêu thụ năng lượng trong mạng theo sự thay đổi của kích thước mạng



Hình 6. So sánh tỷ lệ tiêu thụ năng lượng trong mạng theo sự thay đổi của diện tích mạng

Cuối cùng, chúng tôi phân tích tỷ lệ tiêu thụ năng lượng (Energy Expended Ratio - EER) trong mạng. Trong mạng không dây, EER được xác định bởi [4], [7], [10]:

$$EER = \frac{E_{ave}}{E_{max}} \times 100 [\%] \tag{6}$$

trong đó E_{ave} là công suất truyền dẫn trung bình của tất cả các nút và E_{max} là công suất truyền dẫn lớn nhất để đạt đến vùng truyền thông lớn nhất (250 [m] trong các kịch bản mô phỏng). Các kết quả thu được trong Hình 5 và Hình 6 cho thấy rằng, EER trong trường hợp sử dụng thuật toán TCRA là thấp hơn nhiều so với trường hợp MaxPower. Xét kịch bản mô phỏng với diện tích mạng 1000×1000 [m²], tổng số nút cảm biến thay đổi từ 30 đến 60 (kết quả ở Hình 5), EER khi sử dụng thuật toán MaxPower từ 78.42% đến 89.54%, trong khi đó nếu sử dụng thuật toán TCRA thì giá trị này từ 56.27% đến 70.95%. Như vậy, so với thuật toán MaxPower, EER giảm từ 14.97% đến 27.03%. Kết quả cũng hoàn toàn tương tự cho kịch bản mô phỏng mà diện tích mạng biến đổi từ 1000×1000 [m²] đến 1500×1500 [m²] và tổng số nút cảm biến là 60 (kết quả ở Hình 6), EER giảm trung bình từ 10.01% đến 18.94% nếu sử dụng thuật toán TCRA. Đây là một kết quả có ý nghĩa trong việc nâng cao hiệu quả sử dụng năng lượng trong toàn mạng.

IV. KẾT LUẬN

Để nâng cao hiệu năng mạng cảm biến không dây, việc nghiên cứu để tìm ra giải pháp sử dụng năng lượng tối ưu là điều cần thiết. Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một giải pháp kết hợp giữa định tuyến và điều khiển tô-pô nhằm giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng tại các nút cảm biến, kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống mạng. Ý tưởng của

giải pháp là dựa trên bảng định tuyến, các nút cảm biến điều chỉnh công suất phát phù hợp, đủ để duy trì kết nối đến các nút láng giềng có sử dụng trong bảng định tuyến. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng, giải pháp được đề xuất mang lại hiệu quả cao về mặt sử dụng năng lượng, giảm tỷ lệ tiêu thụ năng lượng, kéo dài thời gian hoạt động của hệ thống mạng.

Trong hướng nghiên cứu tiếp theo, chúng tôi tiếp tục cải tiến thuật toán TCRA để có thể áp dụng trong các hệ thống mạng cảm biến không dây thế hệ mới, như mạng cảm biến không dây dựa trên kiến trúc SDN, mạng cảm biến không dây trên nền tảng 5G.

V. TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Lê Đức Huy, Lê Hữu Bình, Đỗ Thành Công, Nguyễn Đỗ Hoàng Giang, “Một thuật toán định tuyến cân bằng năng lượng trong mạng cảm biến không dây dựa trên SDN”, *Tạp chí Công nghệ thông tin và Truyền thông, chuyên san các công trình nghiên cứu, phát triển và ứng dụng Công nghệ thông tin và Truyền thông*, Tập 2023, Số 2, trang 93-100.
- [2] M. Alenazi and S. Monti, “Software-defined network-based energy-aware routing method for wireless sensor networks in industry 4.0,” *Applied Sciences*, vol. 12, p. 10073, 10 2022.
- [3] L. H. Binh, T. -V. T. Duong and V. M. Ngo, “TFACR: A Novel Topology Control Algorithm for Improving 5G-Based MANET Performance by Flexibly Adjusting the Coverage Radius”, *IEEE Access*, vol. 11, 2023, pp. 105734-105748.
- [4] Le, Thien Moh, Sangman. (2017), “An Energy-Efficient Topology Control Algorithm Based on Reinforcement Learning for Wireless Sensor Networks”, *International Journal of Control and Automation*, 10. 233-244. 10.14257/ijca.2017.10.5.22.
- [5] N. Li and J. C. Hou, “Localized fault-tolerant topology control in wireless ad hoc networks”, *IEEE Transactions on Parallel and Distributed Systems*, vol. 17, no. pp. 307-320, April 2006, doi: 10.1109/TPDS.2006.51.
- [6] Huang, Yuanjiang Mart’inez, Jos’e-Fern’andez, Vicente Sendra, Juana, “A Novel Topology Control Approach to Maintain the Node Degree in Dynamic Wireless Sensor Networks”, *Sensors (Basel, Switzerland)*, vol. 14. 4672-4688.10.3390/s140304672.
- [7] Hong Thi Chu Hai, Le Huu Binh, Le Duc Huy, “A topology control algorithm taking into account energy and quality of transmission for software-defined wireless sensor network”, *International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC)*, Vol.16, No.2, 2024, pp. 107-116.
- [8] G. B., D. Mukund, and N. Thapa, *Linear Programming*, Springer-Verlag New York LLC, 1997.
- [9] Lê Hữu Bình, Nguyễn Đăng Khoa, Nguyễn Đình Hoàng Phương, “Thiết kế tập mô mạng không dây hình lưới: Một phương pháp mới sử dụng bài toán quy hoạch tuyến tính nguyên”, *Tạp chí Công nghệ thông tin và Truyền thông, chuyên san các công trình nghiên cứu, phát triển và ứng dụng Công nghệ thông tin và Truyền thông*, Tập V-3, Số 18 (38), 2017, trang 58-66.
- [10] Bao, Xuecai Deng, Chengzhi, “FICTC: fault-tolerance-and-interference-aware topology control for wireless multi-hop networks”, *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2016. 190. 10.1186/s13638-016-0690-5.
- [11] Devika, B., P N, Sudha, “Power optimization in MANET using topology management”, *Engineering Science and Technology, an International Journal*, vol. 23, 2020, pp.565-575.

A METHOD OF IMPROVING THE EFFICIENCY OF ENERGY USE IN WIRELESS SENSOR NETWORK USING ROUTING TECHNIQUE IN COMBINATION WITH TOPOLOGY CONTROL

Le Huu Binh^a, Vo Thanh Tu^b, Nguyen Hoang Ha^c, Tran Thi Phuong Chi^d

Faculty of Information Technology, University of Sciences, Hue University

^alhbinh@hueuni.edu.vn, ^byttu@hueuni.edu.vn, ^cnhha@husc.edu.vn, ^dphuongchi910@husc.edu.vn

ABSTRACT— One of the factors that significantly affects the performance of wireless sensor networks (WSN) is the efficiency of energy use at sensor nodes. In this paper, we propose a solution that combines routing and topology control to minimize the energy consumption at sensor nodes and extend the operating time of the network system. The idea of the solution is that based on the routing table, the sensor nodes adjust the appropriate transmit power, enough to maintain the wireless connections to neighboring nodes used in the routing table. The simulation results show that the proposed solution is highly efficient in terms of energy use, extending the operating time of the network system.

chức địa phương qua TS. Đỗ Trung Anh (0913869328, anhdt@ptit.edu.vn).
- Ban Tổ chức địa phương sẽ có thư mời và thông báo để Quý tác giả thuận lợi.

Hẹn gặp Quý tác giả Le Huu Binh tại Hà Nội vào thời gian nói trên.

Trân trọng,
TM. BAN CHƯƠNG TRÌNH
Trưởng ban: PGS.TS.Trần Văn Lăng