

MỘT LƯỢC ĐỒ ĐỊNH TUYẾN HIỆU QUẢ NĂNG LƯỢNG TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA BƯỚC

Nguyễn Thi¹, Phạm Như Việt Anh², Trần Như Đức², Nguyễn Quốc Uy³, Hoàng Trọng Minh²

¹Trung tâm Nghiên cứu công nghệ truyền thông, Đài tiếng nói Việt Nam

²Khoa viễn thông, Học viện Công nghệ bưu chính viễn thông

³Khoa kỹ thuật điện tử, Học viện Công nghệ bưu chính viễn thông

nguyenthi@vov.vn, anhpnv.B16VT016@stu.ptit.edu.vn, ductn.B16VT072@stu.ptit.edu.vn,

hoangtrongminh@ptit.edu.vn, uynq@ptit.edu.vn

TÓM TẮT: Vấn đề tối ưu hiệu suất năng lượng trong các nút cảm biến nhằm kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây là một trong những nhiệm vụ quan trọng đối với các nhà nghiên cứu và triển khai. Vấn đề này đặc biệt quan trọng đối với các mạng cảm biến không dây đa bước. Do hạn chế của các phương tiện truyền dẫn, giải pháp phân cụm để tối ưu năng lượng là một giải pháp hữu hiệu trong vấn đề cải thiện hiệu năng mạng. Tuy nhiên, hiệu quả truyền tin giữa các chủ cụm sau quá trình phân cụm cũng là một yếu tố ảnh hưởng lớn tới hiệu năng mạng. Bài báo này đề xuất một tiếp cận lai ghép bằng cách sử dụng logic mờ trong phân cụm không đều nhằm tránh lỗ hổng năng lượng và sử dụng lược đồ định tuyến hiệu quả giữa các chủ cụm để kéo dài thời gian sống của mạng. Đề xuất được chứng minh đối sánh qua mô phỏng số cho thấy hiệu quả rõ rệt so với các đề xuất gần đây.

Từ khóa: Mạng cảm biến không dây đa bước, kỹ thuật phân cụm, logic mờ, thuật toán định tuyến, thời gian sống.

I. GIỚI THIỆU

Mạng cảm biến không dây WSN (Wireless Sensor Network) đóng vai trò là hạ tầng truyền thông quan trọng trong nhiều lĩnh vực như quân sự, nông nghiệp, điều khiển thông minh và Big Data,... WSN thường gồm số lượng lớn các cảm biến có kích thước nhỏ để thu thập thông tin sự kiện hoặc tham số môi trường dựa trên truyền thông không dây đơn bước hoặc đa bước. Mạng cảm biến không chỉ thu thập thông tin mà còn sử dụng để điều khiển các thiết bị chấp hành theo các quyết định tính toán thông minh. Tuy nhiên, các nút cảm biến không dây thường sử dụng nguồn năng lượng hữu hạn nhằm tăng tính linh động và kéo theo đó là nhu cầu tiết kiệm năng lượng hay kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây. Vì vậy, một trong các vấn đề thách thức về mặt hiệu năng mạng cảm biến liên quan tới các cơ chế hoạt động tiết kiệm năng lượng [1] [2] [3] [4].

Một tiếp cận hiệu quả để bảo toàn năng lượng các thiết bị cảm biến trong mạng là thông qua quá trình phân cụm. Một số cảm biến có mối quan hệ gần về khoảng cách được tổ chức thành cụm và bầu chọn một nút làm chủ cụm CH (Cluster Head). Quá trình truyền thông được thực hiện từ các cảm biến tới chủ cụm và từ đó chuyển tiếp tới trạm gốc BS (Base Station). Do các kết nối truyền thông có khoảng cách nhỏ và dữ liệu được tập trung tại nút chủ cụm truwocs khi chuyển tới trạm gốc nên thời gian sống tổng thể của mạng tăng lên. Từ giao thức phân cụm hiệu quả năng lượng điển hình có tên là LEACH (Low Energy Clustering Hierachy) [5], một loạt biến thể dựa trên nguyên tắc phân cụm đã được phát triển theo nhiều tiêu chí lựa chọn chủ cụm khác nhau như xác suất, năng lượng dư của nút, mật độ,... [6]. Để tích hợp nhiều tiêu chí với độ phức tạp tính toán hợp lý, một số thuật toán phân cụm dựa trên logic mờ cũng được phát triển gần đây [7] [8] [9]. Các giao thức này hoạt động trong cả môi trường truyền thông đơn bước và truyền thông đa bước. Đối với truyền thông đa bước, việc xuất hiện các lỗ hổng năng lượng gần trạm gốc đã tạo ra thách thức mới cho các giải pháp phân cụm. Bên cạnh đó là hiệu suất quá trình truyền tin đa bước giữa các chủ cụm cũng đặt ra nhu cầu phát triển các thuật toán mới nhằm cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây.

Trong bài báo này, cùng với tiếp cận phân cụm mờ như đã được đề xuất trong [9], giải pháp chuyển tiếp thông tin giữa các chủ cụm tới đích được xây dựng bằng thuật toán mới nhằm cải thiện thời gian sống của mạng cảm biến không dây. Đề xuất được chứng minh bằng phương pháp đối sánh qua mô phỏng số, các kết quả cho thấy hiệu quả vượt trội của đề xuất khi cho kết quả cân bằng tải tốt hơn và kéo dài thời gian sống của mạng so với các đề xuất trước đây. Bài báo được trình bày như sau. Phần II trình bày các nghiên cứu gần đây về kỹ thuật phân cụm và định tuyến liên quan tới nghiên cứu. Đề xuất phương pháp phân cụm dựa trên logic mờ và lược đồ định tuyến giữa các nút chủ cụm được đưa ra trong Phần III. Kết quả mô phỏng và đối sánh với nghiên cứu trước được đưa ra trong Phần IV, cuối cùng là kết luận về nghiên cứu cũng như hướng phát triển tiếp theo.

II. CÁC NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

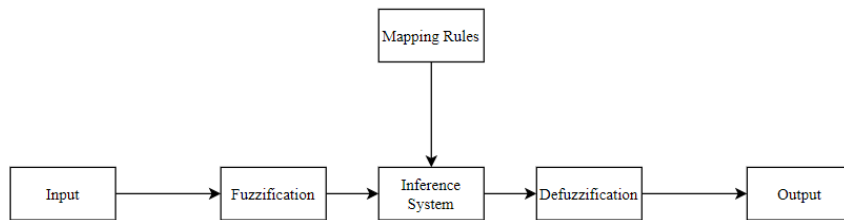
Trong những năm gần đây, nhiều thuật toán phân cụm dựa trên ý tưởng của giao thức LEACH đã được phát triển nhằm cải thiện hiệu năng của mạng WSN. Hoạt động trong mạng đơn bước, LEACH sử dụng phân bố xác suất ngẫu nhiên của các nút cảm biến trong mạng để bầu nút chủ cụm CH. Mặc dù LEACH đã cải thiện thời gian sống của mạng, nhưng việc lựa chọn ngẫu nhiên có thể chọn CH có năng lượng thấp và kéo theo mức suy hao năng lượng lớn và hình thành thành lỗ trống năng lượng. Các biến thể của LEACH nhằm hướng tới giải quyết hạn chế này bằng các tham số hiệu quả hơn như chọn CH dựa trên mức năng lượng dư, mật độ hoặc khoảng cách đến BS [10] [11] [12]. Phối hợp các tham biến đầu vào để đưa ra quyết định nhờ suy luận mờ đem lại kết quả rất khả quan khi có hiệu suất tốt và độ phức tạp hợp lý [13]. Tuy nhiên, các nghiên cứu trên đều thực hiện cho mạng WSN đơn bước nên không phù hợp cho mạng quy mô lớn.

Trong mạng WSN quy mô lớn, truyền thông đa bước yêu cầu không những chỉ quá trình phân cụm hợp lý mà còn liên quan tới quá trình định tuyến. Các giải pháp định tuyến trong mạng truyền thông đa bước tính toán tới nhiều tham số phụ nhằm tránh lỗi hồng năng lượng. Trong [8] đề xuất thuật toán định tuyến sử dụng năng lượng còn lại của CH và năng lượng trung bình của các CH xung quanh. Cây định tuyến dựa trên năng lượng CH còn lại và số lượng các nút thành viên được đề xuất trong [14]. Tỷ lệ năng lượng còn lại của các CHs sau khi truyền lên CH tiếp theo là tham số định tuyến được đề xuất trong [15]. Ngoài trừ đề xuất trong [9] tính toán tới yếu tố phân cụm không dây để tránh lỗi hồng năng lượng, các thuật toán trên đây chưa hướng tới giải quyết vấn đề này. Tuy nhiên, các giải pháp định tuyến trên chưa có sự kết hợp chặt chẽ phân cụm và định tuyến để tránh lỗi hồng năng lượng một cách hợp lý nên cần phải tiếp tục cải thiện để kéo dài thời gian sống. Vì vậy, trong nghiên cứu này sẽ trình bày đề xuất phân cụm không đều kết hợp lược đồ định tuyến hiệu quả giữa các nút CH tới BS để kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây đa bước. Các kết quả mô phỏng số cho thấy ưu điểm rõ rệt của đề xuất so với các nghiên cứu gần đây.

III. MÔ HÌNH BÀI TOÁN

A. Giới thiệu chung

Logic mờ là một tiếp cận hữu ích đối với các hệ thống có các điều kiện không chắc chắn. Với bài toán hình thành cụm và lựa chọn chủ cụm, các tham biến đầu vào như mức năng lượng dư, khoảng cách hay mật độ trong một mạng động là những yếu tố không có độ chắc chắn. Vì vậy, như đã được chứng minh qua các nghiên cứu trước đây [8] [9], logic mờ phù hợp để giải quyết việc phân cụm cho mạng WSN bằng cách tính toán lựa chọn trong nhiều tham số phụ thuộc khác nhau. Hình 1 dưới đây chỉ ra mô hình hệ thống suy luận mờ tổng quát. Các khối chức năng chính được biểu diễn trực tiếp theo mục tiêu phân cụm cho các nút cảm biến.



Hình 1. Mô hình hệ thống suy luận mờ FIS tổng quát

Fuzzification: Bộ làm mờ có tác dụng ánh xạ từng điểm trong dữ liệu đầu vào sang các giá trị trong khoảng [0, 1] hoặc giữ lại các giá trị mờ tại đầu vào.

Mapping Rules: Biểu diễn mối quan hệ giữa các tham số đầu vào và tham số đầu ra dựa trên các quy tắc nhất định.

Inference System: Hệ thống suy luận ánh xạ giữa đầu vào và đầu ra theo quy tắc mờ.

Defuzzification: Các giá trị thu được tại đầu ra sẽ được ánh xạ ngược lại để xác định chính xác.

Trong bài báo này, mô hình năng lượng được tính dựa trên khoảng cách $Dist_{(i,j)}$ giữa nguồn và đích và kênh không gian tự do f_s và kênh đa đường m_p . Năng lượng tiêu thụ khi truyền dữ liệu của l bit giữa nút S_i và S_j với khoảng cách $Dist_{(i,j)}$ được xác định bởi công thức sau:

$$E_{TX}(S_i, S_j) = \begin{cases} (E_{elec} + \epsilon_{f_s} Dist_{(i,j)}^2) \times l & \text{với } Dist_{(i,j)} < d_0 \\ (E_{elec} + \epsilon_{m_p} Dist_{(i,j)}^4) \times l & \text{với } Dist_{(i,j)} \geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

trong đó, d_0 là ngưỡng giá trị khoảng cách được tính:

$$d_0 = \sqrt{\frac{\epsilon_{f_s}}{\epsilon_{m_p}}} \quad (2)$$

Năng lượng nhận trong quá trình nhận dữ liệu của l bit được tính:

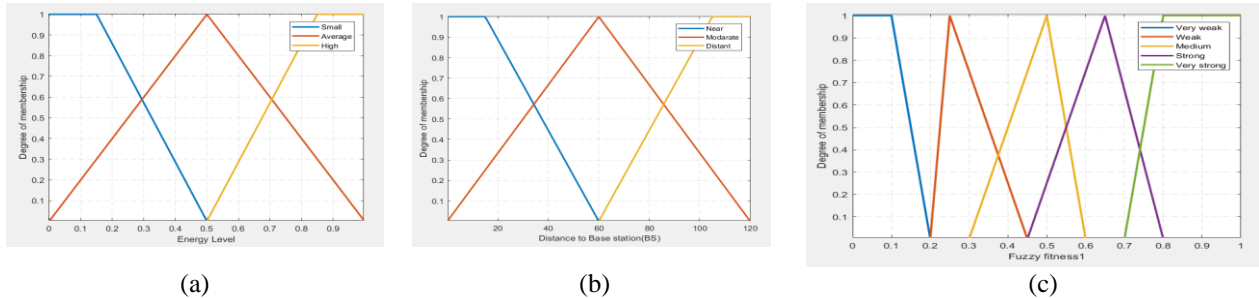
$$E_r(S_i, S_j) = E_{elec} \times l \quad (3)$$

B. Phân cụm và lựa chọn chủ cụm

Để thực hiện phân cụm và lựa chọn chủ cụm, nghiên cứu này thực hiện phân cụm không đều theo tiếp cận trình bày trong [8]. Trong đó, để thực hiện phân cụm không đều dựa theo logic mờ, các nút có khả năng ứng cử làm chủ cụm

được lựa chọn lần thứ nhất thông qua hàm fitness 1, các nút chủ cụm thực tế sẽ được lựa chọn thông qua hệ thống suy luận mờ với đầu ra fitness 2. Các biến và hàm thành viên của hai hệ thống suy luận mờ được trình bày dưới đây.

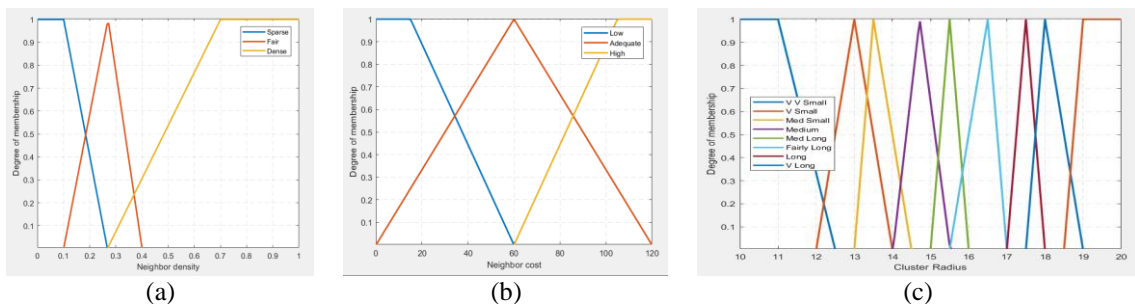
Trên Hình 2 thể hiện các biến lựa chọn nút ứng cử chủ cụm thông qua hai giá trị khoảng cách và năng lượng. Giá trị đầu ra fitness1 thể hiện khả năng được lựa chọn làm ứng cử nút chủ cụm.



Hình 2. Các tham số đầu vào (a) Mức năng lượng; (b) Khoảng cách đến nút gốc; (c) Fuzzy fitness 1

Để tính toán phân cụm không đều, bán kính cụm được xác định thông qua biến mật độ và chi phí kết nối tới nút lân cận. Ý nghĩa các tham số đầu vào mô tả như sau:

1. **Mức năng lượng:** Mức năng lượng của một nút S_i là tỷ lệ năng lượng còn lại với năng lượng ban đầu. Các nút có mức năng lượng cao hơn sẽ được chọn là nút ứng viên. Hơn nữa, khi mức năng lượng giảm theo thời gian, bán kính cụm được điều chỉnh để bảo tồn năng lượng của nó.
2. **Khoảng cách:** Độ dài đường đi từ một nút S_i đến nút gốc BS được ký hiệu: $Dist_{BS}(S_i)$, tránh được vấn đề có quá nhiều nút CH nằm gần BS mà có $Dist_{BS}(S_i)$ nhỏ hơn bán kính cụm.
3. **Mật độ lân cận:** Tỷ lệ số lượng các nút lân cận của S_i với tổng số nút trong mạng. Xem xét việc không thể dự đoán được việc triển khai ngẫu nhiên các nút cảm biến, mặc dù bán kính cụm nhỏ hơn của CH gần BS hơn, nhưng lại có nhiều nút thành viên hơn các CH ở xa BS có bán kính cụm lớn hơn. Đó có thể là lý do làm giảm các kết quả tốt của phân cụm không đều.
4. **Chi phí lân cận:** Khi bán kính cụm tăng, chi phí truyền thông giữa các nút trong cụm tăng theo. Vì năng lượng tiêu thụ trong truyền dữ liệu tỷ lệ thuận với bình phương khoảng cách giữa máy phát và máy thu.



Hình 3. Các tham số đầu vào (a) Mật độ lân cận; (b) Chi phí lân cận; (c) Tham số đầu ra fuzzy fitness 2

Sau khi tính toán thông qua fitness1, mỗi nút S_i sẽ đưa ra một giá trị là thời gian trễ T_d trước khi tự chọn nút CH, T_d được xác định theo công thức sau:

$$T_d(S_i) = \alpha \times (1 - Fuzzyfitness1) \times T_c \quad (4)$$

Trong đó, biến ngẫu nhiên α nằm trong khoảng $[0.9, 1]$ được thêm vào để giảm thiểu khả năng trễ của hai nút và T_c là thời gian chờ tối đa khi bầu CH. Khi hết thời gian trễ, nó sẽ tự chọn mình là nút CH và tính bán kính cụm. Sau đó, kết quả đầu ra của fitness1 sẽ được đưa vào fitness 2 để tính toán lại bán kính cụm. Nếu một CH gần BS hơn sẽ có năng lượng dư rất thấp do phải nhận và truyền dữ liệu của nhiều nút ở xa hơn, thì nó sẽ có bán kính cụm nhỏ nhất và ngược lại các nút ở xa sẽ ít ảnh hưởng do truyền nhận dữ liệu nên năng lượng còn lại cao hơn nên bán kính cụm sẽ lớn hơn. Hơn nữa, khi năng lượng còn lại của CH giảm, các tham số thứ cấp đảm bảo rằng bán kính cụm được điều chỉnh sao cho CH không bị rút hết năng lượng một cách nhanh chóng. Do đó, phương pháp này có thể rất tối ưu để xử lý được quá trình này.

Sau khi tính toán bán kính cụm, một CH sẽ quảng bá bản tin CH_ADVERTISE trong bán kính cụm của nó. CH_ADVERTISE chứa mức năng lượng của CH, vị trí và khoảng cách của nó tới BS. Nếu một nút S_j nhận được thông báo, thì nó sẽ không bầu CH và coi đó là nút không phải CH cho vòng đó. Nếu một nút không phải CH nhận được bản tin CH_ADVERTISE từ nhiều CH, thì nó sẽ chọn một CH trong số chúng dựa trên chi phí. Hàm chi phí $CH_Cost(S_j, CH_i)$ được xác định như sau:

$$CH_Cost(S_j, CH_i) = \frac{Dist(S_j, CH_i) \times Dist_{BS}(CH_i)}{Energy_{res}(CH_i)} \quad (5)$$

Nút S_j sẽ tính toán chi phí cho mỗi nút CH_candidate và chọn ra nút có $\min\{CH_Cost(S_j, CH_i)\}$ để làm CH. Như vậy, quá trình tạo cụm trong mạng WSN đã hoàn thành.

C. Lược đồ chuyển tin giữa các chủ cụm

Mục tiêu của tính toán định tuyến cho các nút chủ cụm sẽ dựa trên hàm chi phí thấp nhất. Mục tiêu của đề xuất này là tránh được các lỗi hỏng năng lượng khi truyền thông đa bước giữa các nút chủ cụm. Để giải quyết vấn đề này, bài báo đề xuất hai thuật toán định tuyến để cải thiện hiệu năng mạng cảm biến không dây đa bước.

1. Đề xuất lược đồ chuyển tin theo thuật toán Dijkstra

Sau khi được phân cụm, các nút cảm biến truyền dữ liệu về cho nút chủ cụm CH thì các nút chủ cụm sẽ có nhiệm vụ chuyển tất cả các bản tin tới nút gốc thông qua một đường đi ngắn nhất theo giải thuật Dijkstra. Tuyến đường của các nút CH_{S_i} sẽ được tính toán thông qua các nút CH khác dựa vào bán kính cụm. Với mỗi khoảng cách $Dist_{(i,j)}$ sẽ được so sánh với R_{max} , nếu đường đi có giá trị nhỏ hơn hoặc bằng thì sẽ lưu lại các giá trị:

$$Dist(S_i, S_j) \leq R_{max} \tag{6}$$

Sau khi lưu lại toàn bộ vết đường đi giữa nút CH cần định tuyến thông qua các nút CH còn lại để tới nút gốc, nút CH đây sẽ tìm ra tuyến đường có giá trị nhỏ nhất:

$$cost(path) = \min\{Dist(S_{CH_i}, N_{BS})\} \tag{7}$$

Thuật toán Dijkstra được mô tả như sau.

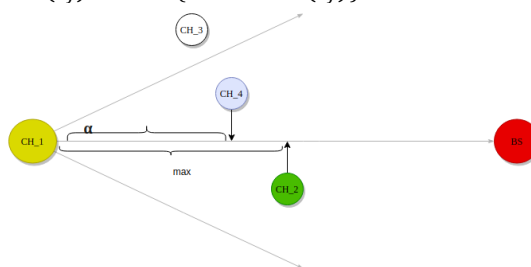
Thuật toán Dijkstra

1. **Function Dijkstra**(Nodes, segments, start_id, finish_id)
2. Nodes = [Id x y] (id and coordinate of each Node)
3. **For each** Nodes N_i
4. **If** distance of $(N_i, N_j) \leq R_{max}$
5. update $[N_i, N_j]$ to segments
6. **End If**
7. **End For**
8. path = [start_id to finish_id using segments]
9. **If** cost(path) == min(distance(start_id to finish_id))
10. return path
11. **End If**
12. **End Function**

2. Đề xuất lược đồ chuyển tin theo thuật toán Greedy

Khác với giải thuật Dijkstra ở trên, thuật toán Greedy dựa trên các khái niệm về vector dùng để xây dựng lên cách tính toán đường đi. Tại nút CH_{S_i} bất kỳ, khi định tuyến đến nút BS, nó sẽ mở một góc quét với bán kính R_{max} sao cho vector $[CH_{S_i}, BS]$ là tia phân giác của góc đó. Trong quá trình quét, nút CH_{S_i} sẽ tìm các nút CH_{S_j} thuộc góc quét đó và xác định độ dài hình chiếu $R(S)$ của nút đó xuống đường nối nút CH_{S_i} và nút BS. Sau khi xác định được hết tất cả độ dài hình chiếu của các nút CH trong góc đó, CH_{S_i} sẽ chọn nút CH mà có $R(S)$ là lớn nhất để truyền dữ liệu,

$$R(S_j) = \max\{\cos(\alpha) \times l(S_j)\} \tag{8}$$



Hình 4. Thuật toán định tuyến Greedy

trong đó α là góc quét, l là độ dài tia quét. Sau đó, mạng tiếp tục được định tuyến đến nút BS cho tới khi khoảng cách từ nút CH_{S_i} tới BS nhỏ hơn R_{max} .

Thuật toán Greedy được mô tả như sau.

Thuật toán Greedy

1. **Function Greedy**(R_{max} , angle, finish_id, start_id)
2. vector_to_finish_id = vector(start_id, finish_id)

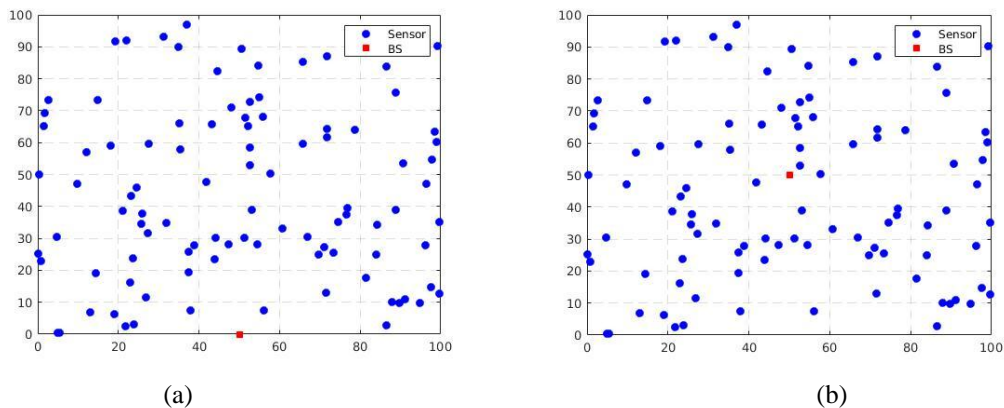
```

3.   Infr_path = []
4.   While true
5.       If length(vector_to_finish_id) ≤  $R_{max}$ 
6.           update finish_id to Infr_path
7.           break
8.       End If
9.       For each  $S_i$  in all nodes
10.          vector = vector(CH,  $S_i$ )
11.          cosine = cos(vector,vector_to_finish_id)
12.          If(length(vector) ≤  $R_{max}$  and cosine ≤ cos(angle))
13.               $R(S_i) = \max(\text{cosine} * \text{length}(S_i))$ 
14.          End If
15.       End For
16.       update  $S_i$  to Infr_path
17.       Start_id =  $S_i.id$ 
18.   End While
19.   return Infr_path
20. End Function

```

IV. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Để đánh giá hiệu quả của đề xuất, mô phỏng số được thực hiện trên Matlab với các thông số đầu vào như các đề xuất trước đây đã thực hiện [8] [9]. Trạm cơ sở BS được đặt tại hai vị trí (trung tâm và cạnh mạng), các thông số đầu vào được trình bày trên Bảng 1. Các tiêu chí đánh giá hiệu năng mạng thông quan thời gian số của mạng gồm: nút đầu tiên cạn kiệt năng lượng (FND: First Node Die), khi một nửa nút bị cạn kiệt năng lượng (HND: Half Node Die) và tất cả nút cạn kiệt năng lượng (AND: All Node Die). Ở đây, FND và HND có nghĩa là số lượng vòng khi mạng bắt đầu thay đổi cho đến khi có nút chết đầu tiên và khi có một nửa số lượng nút chết, và trên thực tế sẽ không xảy ra trường hợp AND chúng tôi đưa vào chỉ nhằm mục đích tính toán tương đối vòng đời của mạng. Một nút được coi là đã chết (cạn kiệt năng lượng) khi nó không còn năng lượng để nhận hay truyền dữ liệu.



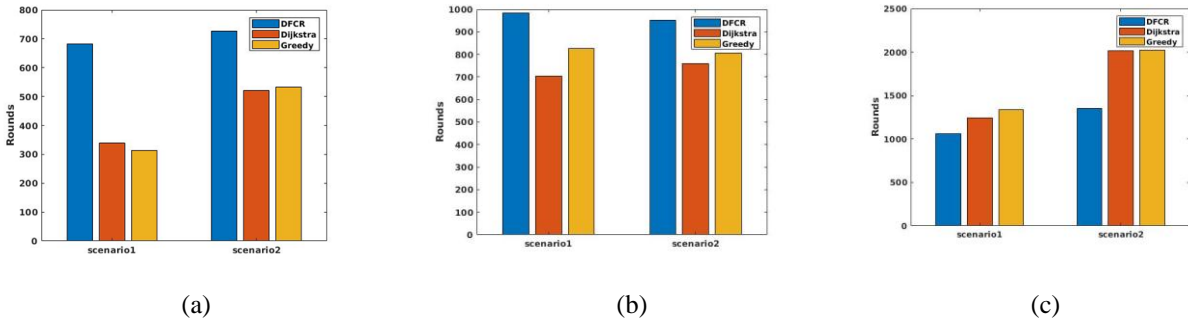
Hình 5. (a) BS nằm tại biên; (b) BS nằm ở trung tâm

Để đánh giá đối sánh khách quan bộ tham số và các giá trị chung được đưa ra trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Bảng các thông số và giá trị

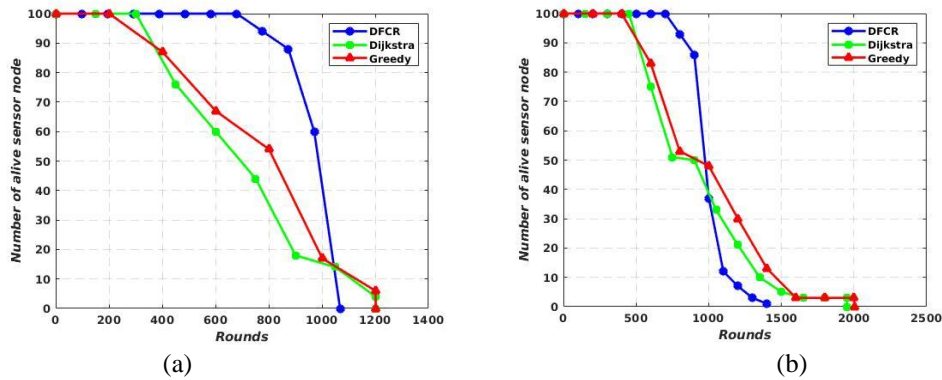
Các tham số	Ký hiệu	Giá trị
Kích thước mạng	A	$100 \times 100 \text{ m}^2$
Vị trí nút BS	BS	(50, 50); (50, 0)
Số lượng nút	N	1.. 100
Năng lượng khởi tạo	$Energy_{init}$	0.5 J
Bán kính cụm	R_{max}	30 m
Kích thước gói tin	D_p	500
Không gian tự do	ϵ_{fs}	$10 \text{ pJ/m}^2/\text{bit}$
Trễ đa đường	ϵ_{m_p}	$0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$
Tín hiệu T_x và R_x	E_{tx} or E_{rx}	$50 \text{ nJ/m}^2/\text{bit}$

Các hình vẽ là đối sánh cả ba thuật toán định tuyến bao gồm thuật toán DFCR [9], thuật toán Dijkstra và thuật toán Greedy, các thuật toán đều được chạy và đánh giá ở trên hai mô hình mạng được đề cập ở phần trên. Hình 4 (a) và 4 (b) là so sánh giữa FND và HND của ba thuật toán. Thuật toán DFCR mô phỏng hiệu quả cao và ổn định hơn so với hai thuật toán còn lại. Hình 4 (c) là so sánh AND, kết quả mô phỏng trong trường hợp này thấy được hai thuật toán Dijkstra và Greedy tốt hơn, tuổi thọ của mạng cao hơn.



Hình 5. So sánh kết quả vòng đời của mạng: (a) So sánh về FND; (b) So sánh về HND; (c) So sánh về AND

Mạng WSN được áp dụng thuật toán Dijkstra và Greedy sẽ xuất hiện nút chết và một nửa số lượng nút chết nhanh hơn do ban đầu cần thời gian để tính toán các tuyến đường. Khi các tuyến đường đã được cập nhập thì mạng lại chạy rất ổn định do không phải tính toán nhiều chi phí. Vì vậy, ta có thể nhận thấy rằng tuổi thọ của hệ thống mạng được tăng lên rất nhiều so với cách tính của thuật toán DFCR.



Hình 6. So sánh số lượng nút sống trong một vòng: (a) Mô hình khi nút BS nằm tại biên; (b) Mô hình khi nút BS nằm tại trung tâm

V. KẾT LUẬN

Thời gian sống của mạng cảm biến không dây đa bước luôn là một tiêu chí thực tiễn đánh giá hiệu năng mạng. Các tiếp cận tính toán thông minh dựa trên logic mờ đem lại giải pháp hiệu quả cho quá trình phân cụm và lựa chọn chủ cụm. Nhằm tránh các lỗ hổng năng lượng bằng các thuật toán định tuyến hiệu quả giữa các nút chủ cụm, hai thuật toán đề xuất đã được đưa ra và chứng minh thông qua mô phỏng. Các kết quả cho thấy khả năng hoạt động hiệu quả và đáp ứng tốt với các điều kiện không chắc chắn của mạng cảm biến không dây đa bước. Từ những kết quả bước đầu trên, các tính toán hợp tác giữa các chủ cụm sẽ là mục tiêu nghiên cứu tiếp theo.

LỜI CẢM ƠN

Nghiên cứu này được hỗ trợ một phần bởi đề tài khoa học “Nghiên cứu, thiết kế, chế tạo công giao tiếp căn hộ thông minh”, mã số ĐT.04/20, Bộ Thông tin và Truyền thông. Chúng tôi cũng cảm ơn các đồng nghiệp đến từ Học viện Công nghệ bưu chính viễn thông đã chia sẻ kinh nghiệm, trợ giúp nghiên cứu này cho một số thử nghiệm thực tế để đưa ra những kết luận xác đáng hơn bài báo này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO.

- [1] C. V. Mahamuni, “A military surveillance system based on wireless sensor networks with extended coverage life”, Proc. - Int. Conf. Glob. Trends Signal Process. Inf. Comput. Commun. ICGTSPICC 2016, pp. 375-381, 2017.
- [2] D. K. Rathinam, D. Surendran, A. Shilpa, A. Santhiya Grace, and J. Sherin, “Modern Agriculture Using Wireless Sensor Network (WSN)”, 2019 5th Int. Conf. Adv. Comput. Commun. Syst. ICACCS 2019, pp. 515-519, 2019.
- [3] M. G. R. Maldonado, “Wireless sensor network for smart home services using optimal communications”, Proc. - 2017 Int. Conf. Inf. Syst. Comput. Sci. INCISCOS 2017, Vol. 2017-Novem, pp. 27-32, 2018.
- [4] B. S. Kim, K. Il Kim, B. Shah, F. Chow, and K. H. Kim, “Wireless sensor networks for big data systems”, Sensors (Switzerland), Vol. 19, No. 7, pp. 1-18, 2019.
- [5] A. O. Abu Salem and N. Shudifat, “Enhanced LEACH protocol for increasing a lifetime of WSNs”, Pers. Ubiquitous Comput., Vol. 23, No. 5-6, pp. 901-907, 2019.

- [6] A. R. Khan, N. Rakesh, A. Bansal, and D. K. Chaudhary, “Comparative Study of WSN Protocols”, 2015 Third Int. Conf. Image Infonnation Process. Comp., pp. 422-427, 2015.
- [7] E. Farahmand, S. Sheikhpour, A. Mahani, and N. Taheri, “Load balanced energy-Aware genetic algorithm clustering in wireless sensor networks”, 1st Conf. Swarm Intell. Evol. Comput. CSIEC 2016 - Proc., pp. 119-124, 2016.
- [8] M. Ahmed, “Energy Efficient Distributed Clustering and Scheduling Algorithm for Wireless Sensor Networks With Non-Uniform Node Distribution”, Int. J. Adv. Res. Comput. Sci., Vol. 9, No. 2, pp. 527-532, 2018.
- [9] N. Mazumdar and H. Om, “Distributed fuzzy approach to unequal clustering and routing algorithm for wireless sensor networks”, Int. J. Commun. Syst., Vol. 31, No. 12, 2018
- [10] J. P. A. Pirishothm, “Study of Wireless Sensor Networks Using Leach, Teen and Aptein Routing Protocols”, Int. J. Sci. Res., Vol. 4, No. 5, pp. 1221-1224, 2015.
- [11] R. Priyadarshi, L. Singh, Randheer, and A. Singh, “A Novel HEED Protocol for Wireless Sensor Networks”, 2018 5th Int. Conf. Signal Process. Integr. Networks, SPIN 2018, pp. 296-300, 2018.
- [12] I. Sharma, R. Singh, and M. Khurana, “Performance evaluation of PEGASIS protocol for WSN using NS2”, Conf. Proceeding - 2015 Int. Conf. Adv. Comput. Eng. Appl. ICACEA 2015, pp. 926-929, 2015.
- [13] J. M. Kim, S. H. Park, Y. J. Han, and T. M. Chung, “CHEF: Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic in wireless sensor networks”, Int. Conf. Adv. Commun. Technol. ICACT, Vol. 1, pp. 654-659, 2008.
- [14] N. Nokhanji, Z. M. Hanapi, S. Subramaniam, and M. A. Mohamed, “An Energy Aware Distributed Clustering Algorithm Using Fuzzy Logic for Wireless Sensor Networks with Non-uniform Node Distribution”, Wirel. Pers. Commun., Vol. 84, No. 1, pp. 395-419, 2015.
- [15] N. Elsaka and N. El-shennawy, “An Energy-Aware Clustering / Routing A * Algorithm for Wireless Sensor Networks”.

AN EFFICIENT ENERGY-AWARE ROUTING SCHEME FOR MULTI-HOP SENSOR NETWORKS

Nguyen Thi, Pham Nhu Viet Anh, Tran Nhu Duc, Nguyen Quoc Uy, Hoang Trong Minh

ABSTRACT: *Optimizing the consumption energy in multi-hop sensor networks is one of the most important tasks for researchers and deployers nowadays. A typical wireless sensor network composes sensor nodes which attached by a non-replaceable battery. Hence, the network lifetime is heavily dependent on the conservation energy of its sensor nodes. This challenge is especially challenged to multi-hop wireless sensor networks because of the transmission range limitations of sensor nodes. To overcome this challenge, clustering strategies have been proposed to enhance the network lifetime in literature. However, the efficiency of the routing scheme from cluster heads to the base station can be a major factor affecting network performance due to the energy hole creating. This paper proposes a novel routing scheme for a multi-hop wireless sensor network to improve its lifetime. The scheme composes an unequal clustering method formed by using fuzzy logic and appropriate routing algorithms to avoid the energy hole problem. The numerical simulation results when compared with recent studies show the clear advantages of our proposed scheme.*

Keywords: *Multi-hop sensor networks, clustering techniques, fuzzy logic, routing schemes, network lifetime.*