THUẬT TOÁN PHÂN CỤM MỜ ĐỂ CẢI THIỆN HIỆU NĂNG CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY ĐA SỰ KIỆN

FUZZY CLUSTERING ALGORITHM TO IMPROVE PERFORMANCE FOR MULTI- EVEN WIRELESS SENSOR NETWORKS

Ninh Văn Thọ[1,*], Bùi Thị Nhi[1]

DOI: https://doi.org/10.57001/huih5804.2026.048

TÓM TẮT

Trong tất cả các lĩnh vực của cuộc sống hiện nay nhu cầu của mạng cảm biến không dây (WSN - Wireless Sensor network) được ứng dụng phổ biến trong thực tế bao gồm cả cảm biến cố định và di động. Các nút cảm biến thực hiện các nhiệm vụ quan trọng và tương tác với các nút khác. Giải pháp tối ưu hóa định tuyến phân cụm LEACH-FM sử dụng logic mờ để lọc ra các nút đủ điều kiện làm trưởng cụm CH dùng phương pháp phân cụm K-means để giảm thiểu năng lượng tiêu thụ của cảm biến, sau khi thực hiện tối ưu hóa năng lượng tiêu hao để tăng thời gian tồn tại của mạng. Thuật toán LEACH-FM có kết quả tốt nhất đã tăng tuổi thọ mạng với trung bình 55% số nút vẫn hoạt động, đồng thời giảm 28% mức tiêu thụ năng lượng trung bình so với các thuật toán được đề cập trước đó như LEACH, LEACH-C và LEACH-CD.

***Từ khóa**: Trạm gốc (BS), đầu cụm (CH), LEACH-Fuzzy k-Mean (LEACH-FM), mạng cảm biến không dây (WSN).*

ABSTRACT

In all areas of life today, the need for wireless sensor networks (WSN - Wireless Sensor network) is widely used in practice, including both fixed and mobile sensors. Sensor nodes perform important tasks and interact with other nodes. LEACH-FM clustering routing optimization solution uses fuzzy logic to filter out nodes qualified to be CH cluster heads using K-means clustering method to minimize sensor energy consumption, after implementation. Now optimizes energy consumption to increase network lifetime. The best performing LEACH-FM algorithm increased network lifetime with an average of 55% of nodes remaining active, while reducing average energy consumption by 28% compared to previously mentioned algorithms such as LEACH, LEACH-C and LEACH-CD.

***Keywords**: Base station (BS), cluster head (CH), LEACH-Fuzzy k-Mean (LEACH-FM), wireless sensor network (WSN).*

[1]Khoa Điện tử và Kỹ thuật máy tính, Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

[*]Email: nvtho@uneti.edu.vn

Ngày nhận bài: 21/8/2025

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/11/2025

Ngày chấp nhận đăng: 30/3/2026

1. GIỚI THIỆU

WSN bao gồm các thiết bị cảm biến có khả năng lưu trữ và khả năng xử lý, các nút cảm biến lưu trữ dữ liệu trong một thời gian và sau đó truyền dữ liệu đến trạm gốc BS [1, 2]. Các nút cảm biến ở khoảng cách xa trạm gốc sẽ tiêu thụ năng lượng nhiều hơn các nút gần trạm gốc.

Thuật toán định tuyến phân cụm LEACH-FM đề xuất thực hiện tối ưu hóa năng lượng tiêu hao trong quá trình phân cụm bằng cách điều chỉnh vị trí các trưởng cụm CH [2] trong mạng WSN thông qua sự kết hợp giữa logic mờ và phương pháp phân cụm k-Means gồm các bước sau [3].

Bước 1: Lọc ra các nút có khả năng làm trưởng cụm bằng logic mờ

Trước hết mô hình sử dụng tập mờ để lọc và xác định các nút cảm biến đủ điều kiện trở thành trưởng cụm CH. Tập mờ được thiết lập dựa trên các thông số như mức năng lượng hiện tại của nút, dữ liệu truyền qua các nút [3,

5]. Những nút dược xác định từ bước này sẽ tham gia vào quá trình hình thành các cụm.

Bước 2: Tối ưu hóa vị trí của các trưởng cụm

Sau khi đã xác định được các trưởng cụm từ bước trước, mô hình tiến hành tìm khoảng cách tối thiểu giữa các trưởng cụm để dảm bảo rằng chúng được phân bổ đều trong toàn mạng Mục đích của bước này là giúp tối ưu hóa sử dụng năng lượng và cân bằng tải trong mạng [5].

Bước 3: Phân cụm bằng k-Means

Sử dụng tập các nút đã được lựa chọn từ bước 1, mô hình áp dụng thuật toán phân cụm k-Means để tạo ra các cụm dữ liệu. Các nút sẽ được phân cụm dựa trên đặc tính như năng lượng, khoảng cách, mật độ và các thông số liên quan khác [5, 6]. Quá trình này giúp tạo ra các cụm cảm biến hiệu quả trong việc truyền thông và thu thập dữ liệu.

Bước 4: Tối ưu hóa việc thu thập dữ liệu và truyền thông

Cuối cùng, các nút cảm biến còn lại, không được chọn làm trưởng cụm trong bước 1, sẽ được gán vào các cụm tương ứng. Việc này giúp tối ưu hóa việc tham gia của các nút trong quá trình thu thập dữ liệu và truyền thông [7, 8].

Bài báo có cấu trúc gồm sau phần mở đầu là phương pháp nghiên cứu sau đó là phần thuật toán định tuyến phân cụm LEACH-FM sử dụng Logic mờ được đề xuất, tiếp theo là phần phân tích kết quả thuật toán đề xuất và mô phỏng bằng thực nghiệm cuối cùng là kết luận và hướng nghiên cứu tiếp theo mở rộng tiếp theo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Thuật toán này dựa theo mô hình năng lượng sóng vô tuyến được đề xuất bởi Heinzelman trong giao thức LEACH [5]. Để truyền tải một thông tin *k-bit* trong một khoảng cách d, thì mức năng lượng tiêu hao sẽ được tính theo công thức.

$$E_{Tx}(k,d)=\begin{cases} k*E_{elec}+k*E_{elec}*d^2, d<d_0 \\ k*E_{elec}+k*E_{elec}*d^4, d\geq d_0 \end{cases} \quad (1)$$

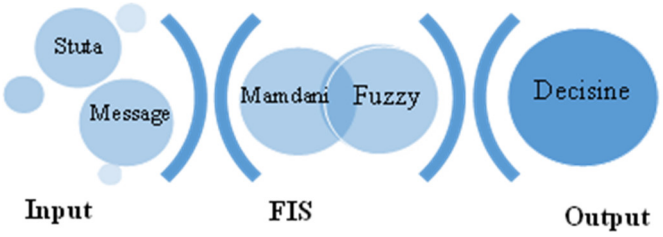
Và để nhận thông điệp này thì mức năng lượng tiêu hao sẽ được tính theo công thức:

$$E_{Rx}(k)=E_{elec}*k \quad (2)$$

E_{elec} là năng lượng tiêu thụ khi truyền hay nhận 1 bit thông điệp. E_{fs} (free space) và E_{mp} (multipath) là hai thông số của bộ khuếch đại để duy trì tín hiệu và độ nhiễu chấp nhận được. d_0 là khoảng cách tham chiếu giữa máy phát và máy thu sẽ được tính theo công thức.

$$d_0=\sqrt{E_{fs}/E_{mp}} \quad (3)$$

Trong thuật toán đề xuất, chúng tôi sử dụng Fuzzy Logic để lọc ra các nút có khả năng trở thành CH, thông qua các tập mờ định nghĩa sẵn dựa vào các yếu tố ảnh hưởng đến việc tiêu hao năng lượng trong WSN [3, 6]. Do đó, thuật toán này sử dụng Fuzzier để giảm đi kích thước tập các nút ứng tuyển thành CH, với tập ứng tuyển này làm đầu vào cho k-Means để phân cụm tạo ra tập các CH tương ứng. FIS là một cơ chế hiệu quả và nhanh chóng tối đa từ logic mờ để tạo ra tập tuyển CH, sử dụng các tham số hiệu quả để đo lường và xây dựng một mô hình mờ. Mô hình FIS đề xuất đã chọn ra các nút ứng tuyển cho CH hiệu quả trong WSN như hình 1.



Hình 1. Mô hình mờ hóa thuật toán đề xuất

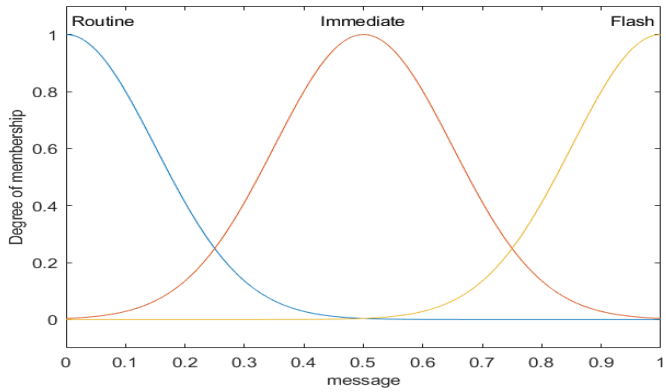
Phương pháp này sử dụng hệ thống suy luận mờ (FIS) các hàm thành viên cho hai biến đầu vào được sử dụng là ***status*** và ***message*** và đầu ra là ***decision***. Vì mỗi tham số đầu vào sẽ ảnh hưởng đến năng lượng tiêu thụ và tuổi thọ của WSN một cách khác nhau, các quy tắc của mô hình suy luận mờ (FIS) được xây dựng để phản ánh tính chất quan hệ này.

3. THUẬT TOÁN ĐỀ XUẤT PHÂN CỤM MỜ CHO MẠNG WSN ĐA SỰ KIỆN

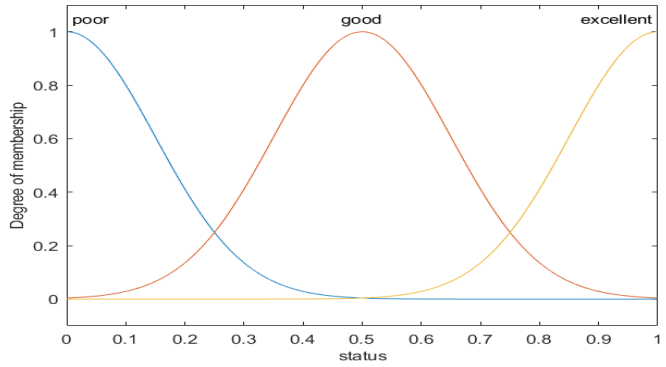
Thuật toán phân cụm mờ LEACH-FM trong đó sử dụng Fuzzy Logic để lọc ra các nút đủ điều kiện làm trưởng cụm CH sử dụng phương pháp phân cụm k-Means để giảm năng lượng tiêu thụ và tối ưu hóa mức năng lượng tiêu thụ trong mạng [5, 7]. Các nút cảm biến được triển khai ngẫu nhiên trong khu vực, cảm biến được tổ chức thành các cụm theo k-Means và các CH được chọn dựa trên thứ tự xử lý của thuật toán LEACH-FM. Mỗi nút gửi thông tin về vị trí hiện tại của nó (có thể được xác định bằng GPS) và mức năng lượng còn lại cho trạm gốc BS, nhưng thuật toán đề xuất sẽ tính toán trạng thái của các nút thông qua Fuzzy Logic và kết hợp với khoảng cách ngắn nhất giữa các CH làm ngưỡng tham số đầu vào cho k-Means để phân cụm. Các trưởng cụm có vai trò thu thập thông tin từ các nút trong cụm của nó, lưu dữ liệu vào một bộ đệm, và sau đó truyền dữ liệu tới trạm gốc BS [3]. Sự kết hợp của các quy tắc được hiển thị trong bảng 1.

Bảng 1. Tập mờ đề xuất

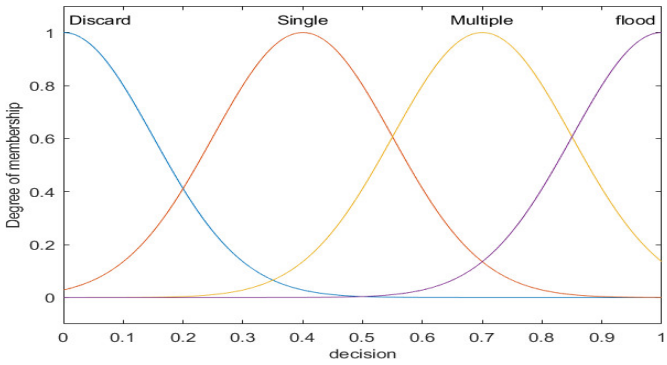
	Biến đầu vào		Biến đầu ra
	Status	*Message*	*Decision*
1	Poor	Routine	Discard
2	Poor	Immediate	Multiple
3	Poor	Flash	Flood
4	Good	Routine	Single
5	Good	Immediate	Multiple
6	Good	Flash	Multiple
7	Excellent	Routine	Single
8	Excellent	Immediate	Single
9	Excellent	Flash	Multiple



Hình 2. Biến message với 3 trạng thái Routine, Immediate, Flash

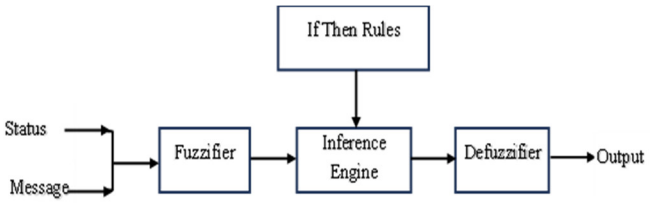


Hình 3. Biến Status với 3 trạng thái: poor, good và excellenct



Hình 4. Biến đầu ra decision với 4 trạng thái discard, single, multiple và flood

Thuật toán 1: Hàm mờ thuật toán dựa vào tập mờ xác định trạng thái của các nút qua các vòng:



Hình 5. Hệ thống suy luận mờ

FIND_NODES_FUZZY(Nodes, N, type)

1. Gán *arr= []* // mảng rỗng
2. Gán *i = l*
3. Trong khi i < *N* thì
4. *outStat= Mandani(Nodes[i].status, Nodes[i].message)//Fuzzy*
5. nếu *outStat=type thì*

a. *arr.append(Nodes[i])*

6. kết thúc nếu
7. kết thúc trong khi
8. Trả về *arr*

Trong đó ta có: ***N*** là tổng số nút

Nodes là tập các nút được chọn ra

Type: loại output muốn lấy ra discard, single, multiple và flood

arr: danh sách các nút có trạng thái cần lấy ra sau khi mờ hóa thuật toán đề xuất sử dụng logic mờ tính toán ra trạng thái của các nút, với kết quả trạng thái này để tìm ra các CH. Từ đó, điều khiển việc phân bố các CH dựa trên việc xác định và thực thi một khoảng cách tách biệt tối thiểu cụ thể giữa các CH để đảm bảo việc phân bố công bằng của chúng. Mỗi CH phải cách xa CH gần nhất ít nhất một khoảng cách d. Khoảng cách d thay đổi tùy thuộc vào các kích thước của WSN, số lượng nút và tỷ lệ trở thành CH mong muốn [5, 6].

Thuật toán 2: Tính toán ra khoảng cách tối thiểu của các CH qua mỗi vòng.

CALC_MIN_DIST(N, p, dimX, dim Y)

1. Gán cc = ***ceiling(p count(N))***

2. Gán ***c = 1***

3. Gán ***r = 1***

4. Gán ***df*** *= cc - 1*

5. Gán *i = 1*

6. Trong khi *i< ceiling(sqrt(cc) thì*

7. Gán *j = i*

8. Trong khi *j<i+1* thì

9. Nếu *df >= abs(cc – (i * j)* thì

10. *cc = abs(cc-(i*j))*

11. c = i

12. r = j

13. Kết thúc nếu

14. j=j+1

15. kết thúc trong khi

16. i = i +1

17. Kết thúc trong khi

18. rx = dimX

19. ry = dimY

20. d = sqrt(rx^2+ry^2)/2

21. trả về d

Trong đó ta có: ***N*** là tổng số nút còn sống

p: phần trăm mong muốn trở thành CH trong mạng

cc: số lượng cụm mong muốn

dimX: kích thước chiều X của hình chữ nhật con

dimY: kích thước chiều Y của hình chữ nhật con

c: số cột chia ra trong toàn mạng WSN, ban đầu là 1

r: số dòng chia ra trong toàn mạng WSN, ban đầu là 1

df: sự khác biết giữa số lượng hình chữ nhật được tạo và số lượng cụm mong muốn ***d:*** khoảng cách tối thiểu giữa các CH

Thuật toán 3: Phân cụm k-Means dựa trên khoảng cách tối thiểu giữa các CH và tập ứng tuyển CH.

K_MEANS_CLUSTERING (N, p)

Đầu vào: N = {n1, n2, ..., nk} // N: tập hợp các nút còn sống

p: Phần trăm mong muốn trở thành CH

Gán *dc = Ceiling(p × count(N))*

Trong đó *dc* là số lượng CH mong muốn

Đầu ra:

CH= {CH1, CH2, ..., CHdc} // Tập các CH

C = {C1, C2, ..., Cdc} // Tập các cụm

Các bước thực hiện:

1) Nếu số lượng nút còn sống *N* lớn hơn 50% thì

Nodes FIND NODES FUZZY(Nodes, N, "Single ") //Lấy ra tập nút có output là "Single"

Ngược lại:

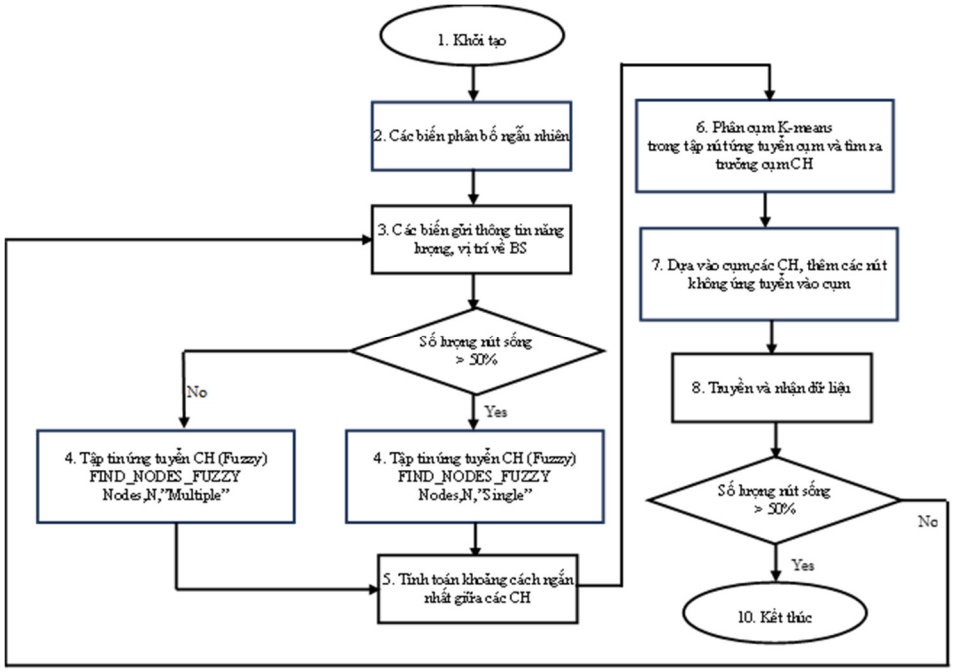
Nodes = FIND NODES FUZZY(Nodes, N, "Multiple") //Lấy ra tập nút có output là "Multiple"

Kết thúc nếu

2) Tính toán d = CALC_MIN_DIST(N, p, dimX, dimY)

3) Sử dụng *k-Means* để phân cụm tập Nodes với trạng thái hiện có: Energy, BS_Distance, Density, Compaction AVG _ Energy, ta được tập CH và C, trong đó CH là trọng tâm [5, 7].

4) Sau đó, duyệt lại các nút không thuộc tập Nodes, và đưa vào các cụm tương ứng bằng cách tính toán khoảng cách với các CH.



Hình 6. Lưu đồ hoạt động của thuật toán đề xuất

Thuật toán đề xuất LEACH-FM với hướng tiếp cận phân cụm, kết hợp Fuzzy Logic để chọn ra tập ứng tuyển cho các CH, từ đó có thể cải thiện hiệu suất phân cụm. Bên cạnh đó, còn sử dụng khoảng cách tối thiểu giữa các CH giúp việc tiêu thụ năng lượng được cân bằng hơn trong mạng. Ngoài ra, sử dụng k-Means để phân cụm. Kết hợp giữa logic mờ và k-Means với khoảng cách tối thiểu giữa các CH đảm bảo việc phân bố trưởng cụm (CH) [8, 9] một cách công bằng trên toàn bộ mạng, đồng thời cũng tối ưu hóa hiệu quả truyền dữ liệu. Điều này giúp LEACH-FM

có thể thích ứng với nhiều mô hình mạng với kích thước khác nhau.

4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

4.1. Tham số sử dụng mô phỏng

Mạng cảm biến không dây bao gồm các nút cảm biến có năng lượng giới hạn và sử dụng kết nối không dây để thu thập thông tin hữu ích từ môi trường cảm biến. Việc thu thập dữ liệu cảm biến đảm bảo hiệu quả năng lượng là vấn đề then chốt trong việc kéo dài tuổi thọ mạng. Trong quá trình thu thập dữ liệu, trong mỗi chu kỳ truyền nhận, mỗi nút cảm biến sẽ có một gói dữ liệu cần truyền đến trạm gốc BS [3, 8]. Nếu mỗi nút truyền dữ liệu trực tiếp đến trạm gốc, năng lượng của nút sẽ nhanh chóng bị tiêu hao.

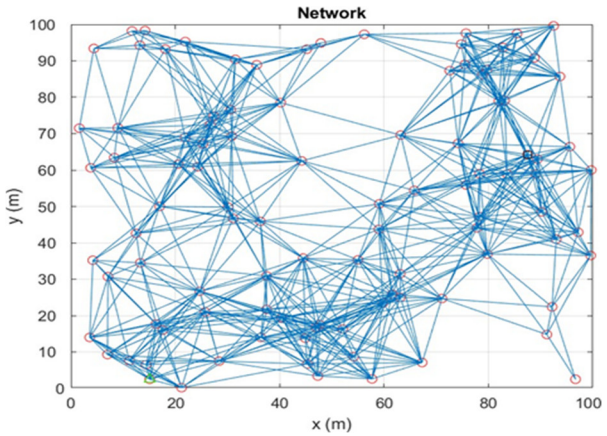
Tiến hành kiểm tra và phân tích giải pháp đề xuất, một số mô phỏng được thực hiện thông qua phần mềm mô phỏng Matlab R2023a. Môi trường mô phỏng được thiết lập với các tham số được liệt kê trong bảng 2. Giả định rằng tất cả các nút cảm biến được phân bố một cách ngẫu nhiên trong một khu vực 100m ×100m, các nút thông thường có năng lượng giới hạn. Và đề xuất có tên gọi LEACH FM được đánh giá so sánh với các chỉ số hiệu suất khác nhau của thuật toán LEACH, LEACH-C, LEACH-CD [5, 8].

Bảng 2. Bảng tham số sử dụng để mô phỏng

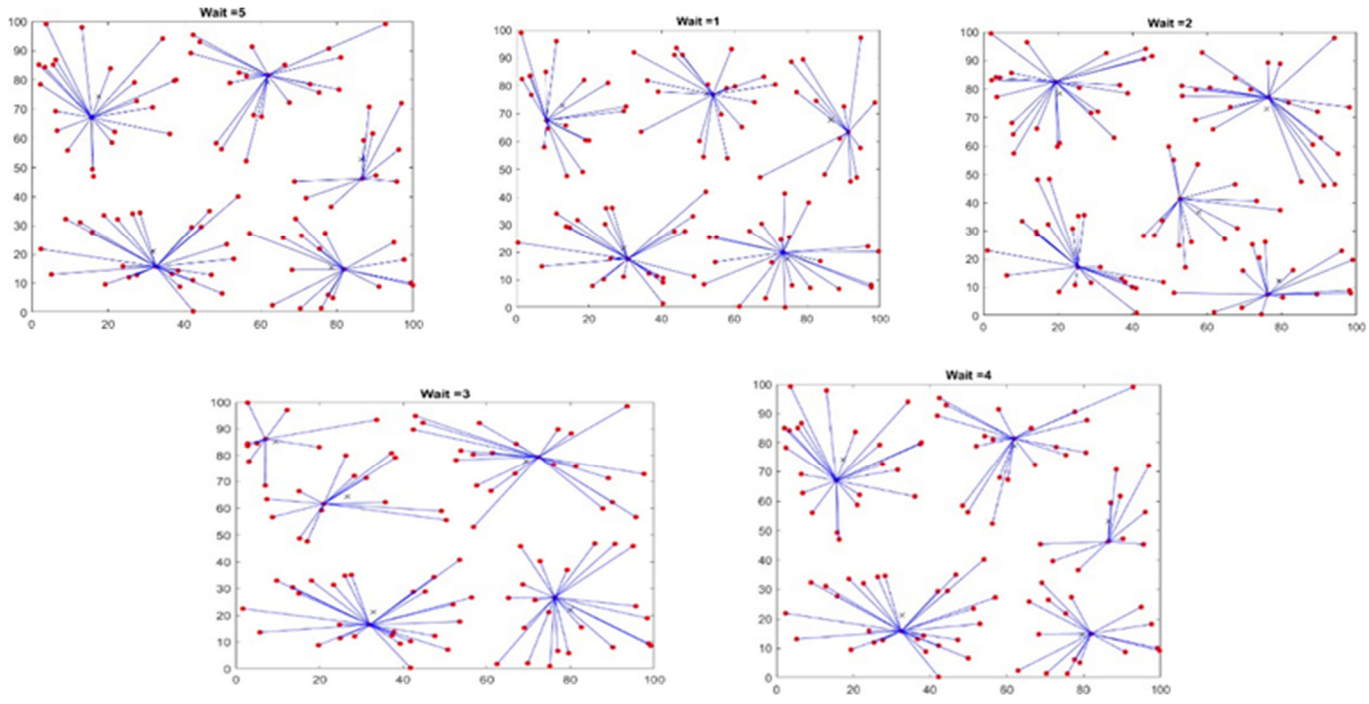
Tham số	Giá trị
Diện tích mô phỏng	100m*100m
Số nút cảm biến sử dụng (N)	100
Phần trăm mong muốn trở thành cụm chủ trong tổng số nút toàn mạng (p)	0,05
Số bít truyền (k)	4000
Năng lượng khởi tạo của các nút (E0)	0,1
Hệ số năng lượng tiêu hao của các mạch truyền và nhận (Eelec)	50nJ/bit
E_{mp}	0,0013pJ/bit/m^4
E_{fs}	10pJ/bit/m^2
Năng lượng tổng hợp dữ liệu, EDA	5nJ/bit
Hệ số năng lượng của mạch khuếch đại truyền (ETX, ERX)	50nJ/bit
Thời gian mô phỏng	1000 vòng

4.2. Kết quả thí nghiệm mô phỏng

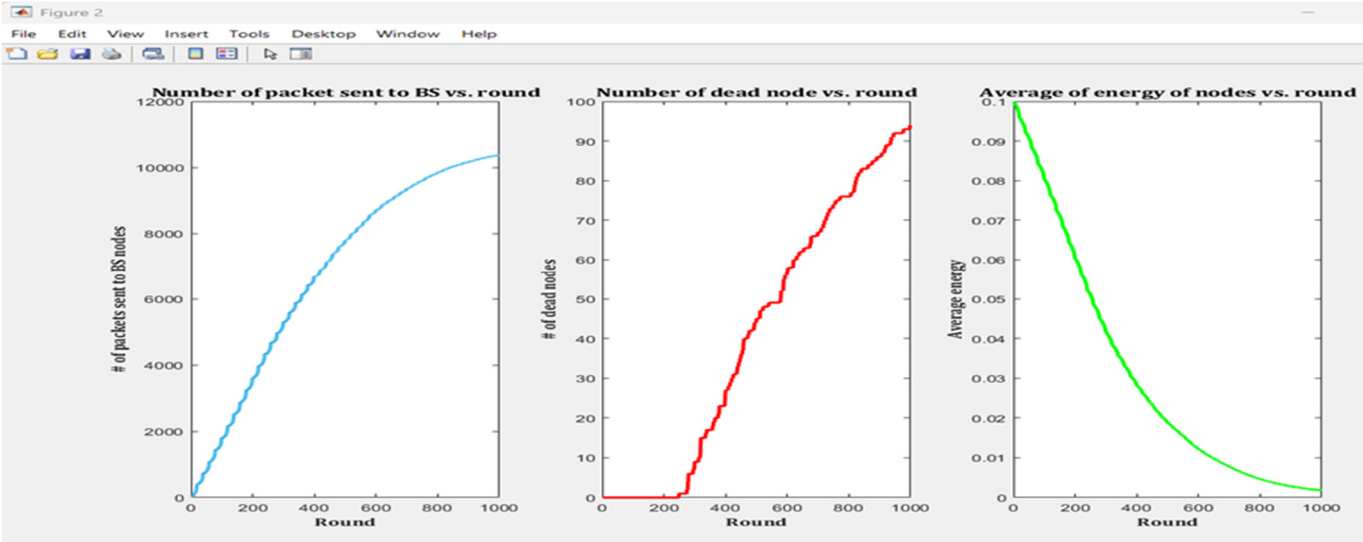
Hình 7 cho thấy khởi tạo các nút trong WSN một cách ngẫu nhiên theo các tham số được cài đặt như bảng 2.



Hình 7. Mạng khởi tạo ban đầu bởi Fuzzy Logic



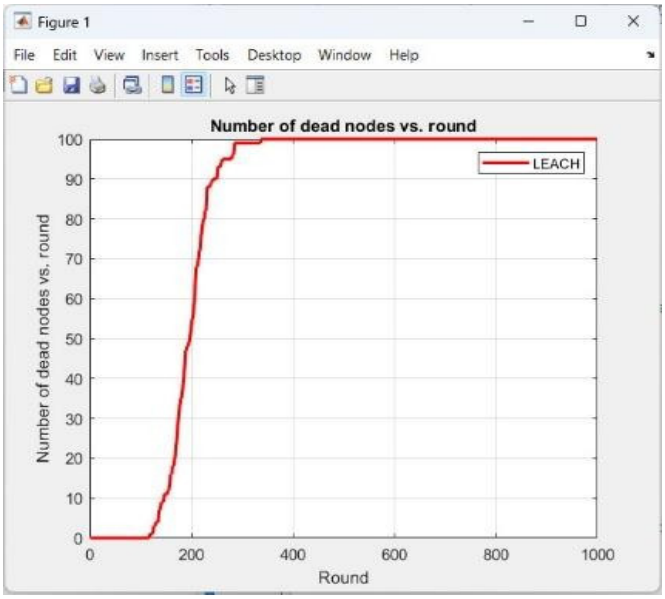
Hình 8. K-Means thay đổi các cụm và trọng tâm của cụm

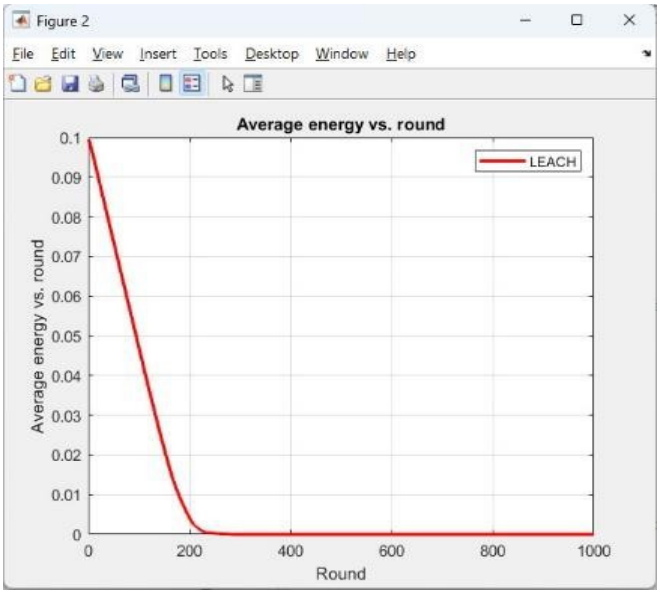


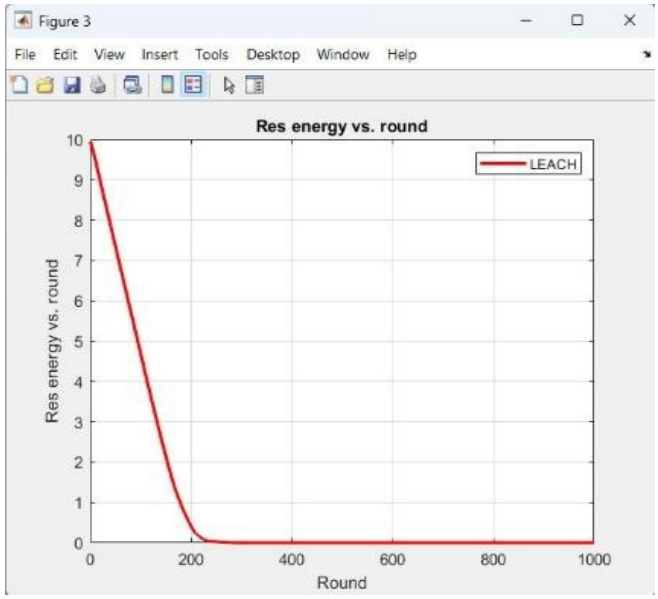
Hình 9. Kết quả chạy thuật toán đề xuất LEACH-FM

Hình 8 chụp lại các cụm do k-Means gom lại qua các vòng trong WSN. Với ý tưởng sử dụng k-Means, mạng WSN càng về sau càng ít nút tham gia do các nút chết dần và sẽ càng hiệu quả hơn về sau [8, 9]. Trong cùng cấu hình mạng, ta chạy lần lượt các thuật toán và thu được kết quả từ hình 9 đến hình 12.

Hình 9 gồm 3 biểu đồ, cho thấy sự thay đổi về tuổi thọ của các nút trong WSN khi sử dụng thuật toán đề xuất LEACH-FM. tăng theo thời gian và sau đó ổn định ở một mức độ cao. Khi mạng bắt đầu hoạt động nút đầu tiên bị hết pin sau 280 vòng, tức là sau khoảng thời gian này nút đầu tiên phải được thay thế hoặc sạc pin. Tuy nhiên, mạng vẫn tiếp tục hoạt động và nút cuối cùng mới chết sau 1000 vòng. Sự gia tăng tuổi thọ của WSN [9, 10] cho thấy rằng thuật toán Đề xuất LEACH-FM đã đạt được mục tiêu kéo dài tuổi thọ của mạng.



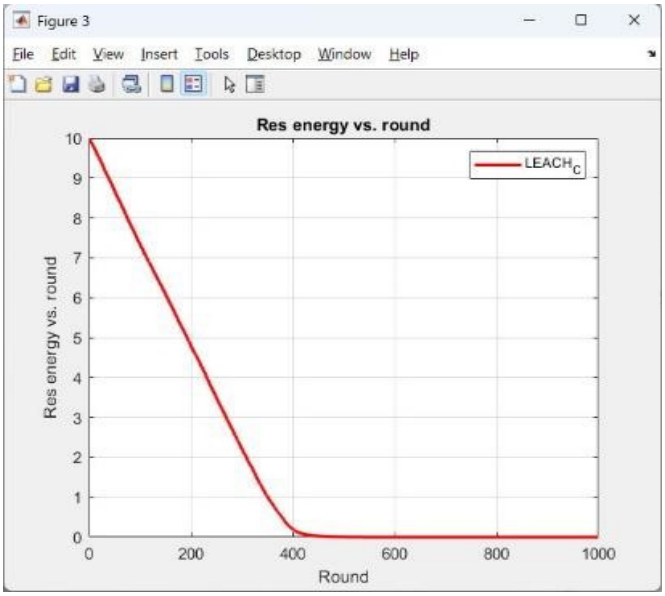




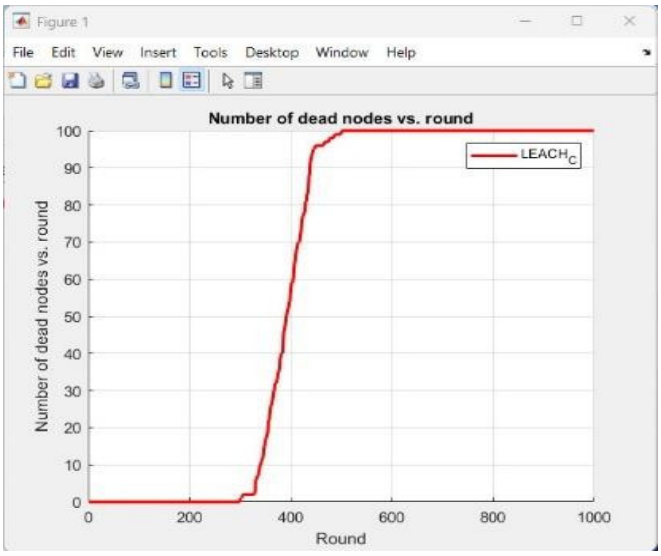
Hình 10. Kết quả chạy thuật toán LEACH

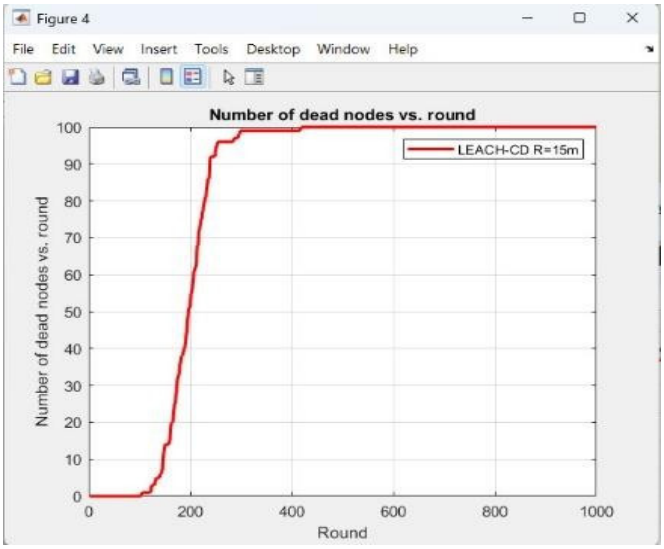
Nhìn vào biểu đồ ở hình 10 nhận thấy rằng tuổi thọ của WSN giảm theo thời gian. Nút đầu tiên bị hết pin sau 119 vòng, tức là sau khoảng thời gian này, nút đầu tiên phải được thay thế hoặc sạc pin. Trong quá trình hoạt động tiếp theo, các nút khác cũng dần chết và cuối cùng, nút cuối cùng cũng chết sau 433 vòng. Sự giảm tuổi thọ của WSN trong biểu đồ cho thấy rằng thuật toán LEACH không đạt được mục tiêu kéo dài tuổi thọ của mạng có thể do các yếu tố như tiêu thụ năng lượng không cân đối [10].

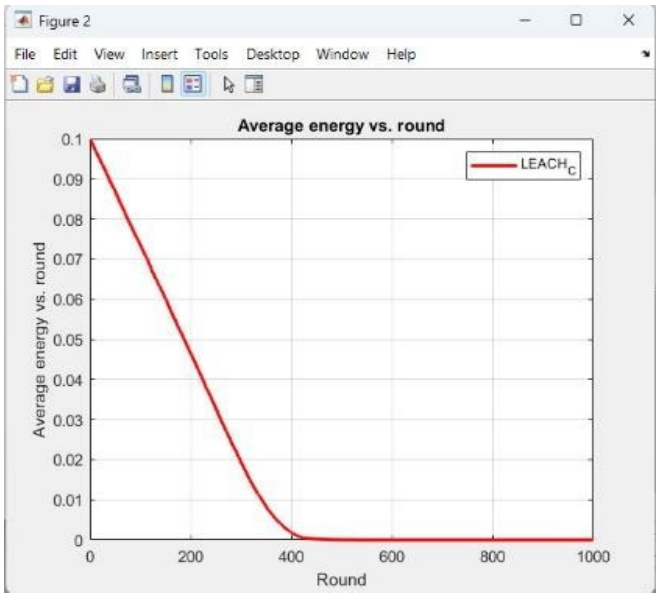
Từ biểu đồ ở hình 11 thấy rằng tuổi thọ của WSN tăng theo thời gian. Nút đầu tiên bị hết pin sau 224 vòng, tức là sau khoảng thời gian này, nút đầu tiên cần được thay thế hoặc sạc pin. Quá trình hoạt động tiếp theo, các nút khác tiếp tục hoạt động và nút cuối cùng mới chết sau 499 vòng. Sự gia tăng tuổi thọ của WSN [8, 10] trong biểu đồ cho thấy rằng thuật toán LEACH-C đạt được mục tiêu kéo dài tuổi thọ của mạng.

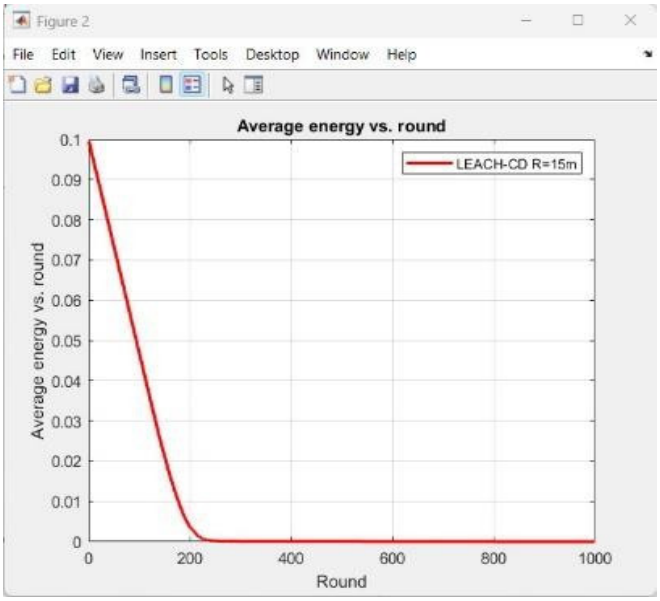


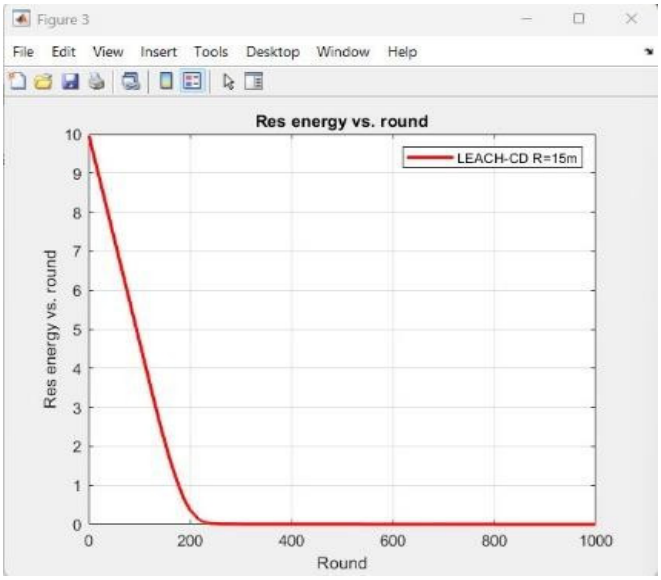
Hình 11. Kết quả chạy thuật toán LEACH-C









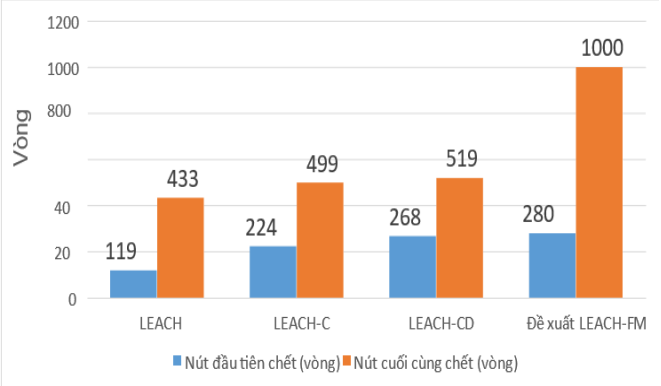


Hình 12. Kết quả chạy thuật toán LEACH-CD

Qua hình 12 có thể nhìn thấy rằng tuổi thọ của WSN tăng theo thời gian. Nút đầu tiên bị hết pin sau 268 vòng, tức là sau khoảng thời gian này, nút đầu tiên cần được thay thế hoặc sạc pin. Trong quá trình hoạt động tiếp theo, các nút khác tiếp tục hoạt động và nút cuối cùng mới chết sau 519 vòng. Sự gia tăng tuổi thọ của WSN trong biểu đồ cho thấy rằng thuật toán LEACH-CD đã đạt được mục tiêu kéo dài tuổi thọ của mạng [7, 10].

Bảng 3. Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa thuật toán đề xuất LEACH-FM và thuật toán trước đó LEACH, LEACH-C, LEACH-CD

Thuật toán	Nút đầu tiên chết (vòng)	Nút cuối cùng chết (vòng)
LEACH	119	433
LEACH-C	224	499
LEACH-CD [36]	268	519
Đề xuất LEACH-FM	280	1000



Hình 13 Kết quả so sánh các thuật toán

Biểu đồ hình 13 cho thấy thuật toán đề xuất LEACH-FM có tuổi thọ mạng cao hơn so các thuật toán LEACH, LEACH-C, LEACH-CD. Điều này cho thấy rằng các thuật toán cải tiến có khả năng kéo dài tuổi thọ mạng của hệ thống mạng cảm biến không dây. Qua đây cho thấy rằng thuật toán LEACH- FM đã đóng góp tích cực để tăng tuổi thọ mạng của hệ thống WSN[10, 12].

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã đề xuất một thuật toán LEACH-FM sử dụng Fuzzy Logic để lọc ra các nút có khả năng trở thành CH, sau đó tính toán khoảng cách tối thiểu giữa các CH nhằm phân bổ đều các cụm trong mạng để giảm tiêu hao năng lượng truyền thông, tiếp theo dựa vào tập các nút có khả năng trở thành CH và khoảng cách tối thiểu sử dụng K-means để phân cụm. Với sự kết hợp này giúp cho việc phân cụm được tối ưu hơn, giảm tính phức tạp của thuật toán, tiết kiệm thời gian tính toán và vùng nhớ. Ngoài ra, việc phân bổ đều các cụm trong mạng bằng khoảng cách tối thiểu cũng giảm năng lượng tiêu thụ khi truyền thông giữa các nút. Giúp cải thiện thời gian sống của mạng cảm biến không dây WSN.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. A. Alzubairi, B. Kada, A. Tameem, "Industrial communication networks and the future of industrial automation," in *2019 Industrial & Systems Engineering Conference* (ISEC), pp. 1-5, 2019.

[2]. T. C. Hung, et al., "A proposal to reduce energy consumption for wireless sensor network," *Cyber Journals: Multidisciplinary Journals in Science and Technology, Journal of Selected Areas in Telecommunications* (JSAT), 5, 7, 2015.

[3]. G. Indrawan, I. Putu Andika Subagya Putra, L. J. E. Dewi, I. Gede Aris Gunadi, "Application of fuzzy logic in sales inventory system: A literature review," in *Proceedings of Seventh International Congress on Information and Communication Technology*, 543-549, 2023.

[4]. G. Scott, *Fuzzy logic: Definition, meaning, examples, and history*. Investopedia,21-May-2008. Available:https://www.investopedia.com/terms/f/fuzzy-logic.asp. [Accessed: 27-Mar-2023].

[5]. P. Nayak, A. Devulapalli, "A fuzzy logic-based clustering algorithm for WSN to extend the network lifetime," *IEEE Sens. J.*, 16(1), 137-144, 2016.

[6]. N. Singh, D. Virmani, X. Z. Gao, "A fuzzy logic-based method to avert intrusions in wireless sensor networks using WSN-DS dataset," *Int. J. Comput. Intell. Appl.*, 19(3), 2050018, 2020.

[7]. L. Mao, Y. Zhang, "An energy-efficient LEACH algorithm for wireless sensor networks," in *2017 36th Chinese Control Conference* (CCC), 9005-9009, 2017.

[8]. M. Khaleel Ullah Khan, K. S. Ramesh, "A modified LEACH algorithm for WSN: MODLEACH," *Learning and Analytics in Intelligent Systems*, 632-642, 2020.

[9]. S. Radhika, P. Rangarajan, "Fuzzy based sleep scheduling algorithm with machine learning techniques to enhance energy efficiency in wireless sensor networks," *Wireless Personal Commununication,* 118(4), 3025-3044, 2021.

[10]. H. Koyuncu, D. Sharma, G. S. Tomar, "A new energy efficient Multitier Deterministic Energy-Efficient Clustering routing protocol for wireless Sensor Networks," *Symmetry* (Basel), 12(5), 837, 2020.

[11]. G. Sulakshana, G. R. Kamatam, "Data accumulation in WSNs using mobile sink : A linear programming approach," *Measur. Sens*., 27(100743), 2023.

[12]. José Henrique Brandão Neto, Antoniel da Silva Rego, André Ribeiro Cardoso, Joaquim Celestino Jr., "MH-LEACH: A Distributed Algorithm for Multi-Hop Communication in Wireless Sensor Networks," in *ICN 2014: The Thirteenth International Conference on Networks,* 55-61, 2014.

AUTHORS INFORMATION

Tho Van Ninh, Nhi Thi Bui

Faculty of Electronics and Computer Engineering Technology, University of Economics - Technology for Industries, Vietnam