

NGHIÊN CỨU ỨNG DỤNG LOGIC MỜ KẾT HỢP IoT VÀO MẠNG CẢM BIẾN WSN

RESEARCH ON THE APPLICATION OF FUZZY LOGIC COMBINED WITH IoT INTO WSN SENSOR NETWORK

Ninh Văn Thọ, Bùi Thị Nhi

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

Đến Tòa soạn ngày 14/9/2025, chấp nhận đăng ngày 05/10/2025

Tóm tắt: Trong bài này đề xuất thuật toán phân cụm động PMACME thích nghi để truyền dữ liệu dựa trên giao thức MAC (Media Access Control) ưu tiên PMME (Priority MAC protocol for MultiEvent Wireless Sensor Network) để giảm nguy cơ xung đột và độ trễ của các gói tin, định tuyến dữ liệu và hình thành cụm động trong mạng WSN (Wireless Sensor Network) ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs (Internet of Things). Thuật toán phân cụm động PMACME có khả năng mở rộng cụm. Xác định các trưởng cụm CH (Cluster Head) được chọn và khoảng cách các nút trong cụm được duy trì truyền dữ liệu tối đa mà không ảnh hưởng đến tham số mạng. Sự kết hợp giữa Logic mờ với IoTs tối ưu hóa lựa chọn trưởng cụm CH, xác định kích thước cụm và cải thiện hiệu suất năng lượng. Kết quả mô phỏng chứng minh được PMACME đạt hiệu quả vượt trội trong việc cân bằng mức tiêu thụ năng lượng và nâng cao tuổi thọ của mạng so với các thuật toán định tuyến hiện nay.

Từ khóa: Khả năng thích ứng với môi trường động, tính năng mở rộng WSN, ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs, định tuyến dữ liệu động PMACME.

Abstract: In this paper, we propose an adaptive dynamic clustering algorithm PMACME for data transmission based on the priority MAC (Media Access Control) protocol PMME (Priority MAC protocol for MultiEvent Wireless Sensor Network) to reduce the risk of collision and delay of packets, route data and form dynamic clusters in WSN (Wireless Sensor Network) using Fuzzy Logic combined with IoTs (Internet of Things). The dynamic clustering algorithm PMACME has the ability to expand the cluster. Determine the selected cluster heads (CH) and the distance between nodes in the cluster is maintained to transmit maximum data without affecting the network parameters. The combination of Fuzzy Logic with IoTs optimizes the selection of cluster heads (CH), determines the cluster size and improves energy efficiency. Simulation results demonstrate that PMACME is superior in balancing energy consumption and improving network lifetime compared to current routing algorithms.

Keywords: Dynamic Environment Adaptability, WSN Scalability, IoTs Hybrid Fuzzy Logic Applications, PMACME Dynamic Data Routing.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Các thuật toán định tuyến dữ liệu hiệu quả phải đảm bảo phân phối dữ liệu đáng tin cậy và kịp thời, đồng thời tối ưu hóa việc sử dụng mạng cảm biến. Định tuyến dữ liệu trong WSN ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs là một

vấn đề phức tạp. Với ứng dụng phương pháp phân cụm động [1, 2]. Các thuật toán định tuyến truyền thống không thích ứng với các điều kiện mạng thay đổi và đảm bảo được hiệu quả sử dụng năng lượng.

Các thuật toán định tuyến tiết kiệm năng

lượng hiện nay (ví dụ: CEDAR [3], FEEC [4], ERNSS-MCC [5], CL-HPWSR[6], MOTCO [7] và các biến thể) thường tối ưu hóa một hoặc hai chỉ tiêu như năng lượng còn lại hoặc khoảng cách truyền, tuy nhiên các thuật toán trên còn tồn tại ba hạn chế chính: (i) phân cụm tĩnh hoặc kém thích ứng dẫn tới tập trung tiêu thụ năng lượng ở một số nút, (ii) thiếu cơ chế phân loại ưu tiên dữ liệu khiến thông tin quan trọng gặp trễ, và (iii) thiếu cân bằng tải lâu dài làm tăng tỷ lệ nút chết cục bộ. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất PMACME một phương pháp phân cụm động và định tuyến đa hợp với các đóng góp chính: (1) cơ chế phân cụm thích ứng theo trạng thái mạng; (2) lựa chọn cluster heads (CH) bằng hàm mục tiêu đa tiêu chí (độ bậc, năng lượng, khoảng cách, mức ưu tiên dữ liệu); (3) định tuyến đa hợp tối ưu năng lượng tích hợp cân bằng tải; và (4) cơ chế làm mịn độ trễ cho QoS ổn định. Thử nghiệm so sánh cho thấy PMACME giảm đáng kể số **nút chết** so với các thuật toán đang sử dụng trên đồng thời duy trì thời gian thiết lập và xử lý dữ liệu ở mức thấp (ví dụ: 1.5 ms đề xuất, thời gian xử lý ~3 ms).

Thuật toán (PMACME) đề xuất này liên quan đến việc hình thành cụm cứng và cụm mềm được tạo ra bằng cách sử dụng thuật toán K-mean đã sửa đổi. Cách chọn CH sau đó tính toán sử dụng năng lượng hiệu quả liên quan đến từng nút, tính toán khoảng cách giữa nút nguồn đến BS. Theo hướng phân cụm động PMACME sử dụng định tuyến dữ liệu ưu tiên là rất cần thiết để giảm các vấn đề về độ trễ và nâng cao tốc độ truyền dữ liệu [3]. Các mạng WSN trong tương lai dự kiến sẽ đáp ứng được sự gia tăng số lượng thiết bị. Đóng góp chính của thuật toán PMACME cho lĩnh vực định tuyến dữ liệu WSN là:

- Định tuyến dữ liệu hiệu quả với khả năng truyền dữ liệu tối đa trong các cụm phân bố

nút CH. Do đó, các cụm có khả năng mở rộng sẽ được hình thành hiệu quả với môi trường động.

- Nó bao gồm một quy trình ba giai đoạn gồm tính toán tham số liên quan đến năng lượng, điều chỉnh đảm bảo định tuyến hiệu quả và lựa chọn nút CH trong cụm.
- Các cụm được quản lý và điều khiển ở một số cấp độ nhất định. Mô hình năng lượng được tính toán nút CH được phân biệt với các nút bình thường và đảm bảo các cụm thích hợp được hình thành.

Phần còn lại của nghiên cứu này được tổ chức như sau: Phần 2 đã đưa ra các phương pháp nghiên cứu để xây dựng thuật toán định tuyến dữ liệu phân cụm động để truyền dữ liệu dựa trên giao thức ưu tiên. Phần 3 trình bày mô tả chi tiết về thuật toán PMACME đề xuất. Phần 4 trình bày thiết lập mô phỏng để phân tích PMACME so sánh với các thuật toán hiện có. Cuối cùng, phần 5 kết luận bài báo.

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Thuật toán định tuyến dữ liệu dựa trên phân cụm động

Trong phần này, chúng tôi mô tả thuật toán định tuyến dữ liệu dựa trên phân cụm động (PMACME) được đề xuất, nhằm mục đích duy trì khả năng truyền dữ liệu tối đa ngay cả trong điều kiện môi trường thay đổi. Sau khi xác định các nút phù hợp, quá trình lựa chọn các nút CH được chọn. Hơn nữa, nó có thể ứng dụng hệ số sử dụng năng lượng trong quá trình truyền dữ liệu tiếp theo cũng như chỉ định khả năng cấp dữ liệu bổ sung cho các nút trong cụm. Thuật toán PMACME đảm bảo hình thành cụm và tiết kiệm năng lượng trong các mạng cảm biến không dây ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs. So sánh mức năng lượng của nút trước và sau khi đánh giá sẽ xác định quá trình hình thành cụm [8]. Theo thuật

toán PMACME được đề xuất các nút cụm được phân loại thành hai loại: nút bình thường và nút CH. Nút CH phân bổ sử dụng năng lượng luôn lớn hơn so với nút bình thường. Hiệu suất của thuật toán PMACME được đánh giá dựa trên các số liệu như phương sai năng lượng, năng lượng còn lại và độ trễ từ đầu đến cuối. Nó ưu tiên các mô hình điều khiển năng lượng và các tính năng mở rộng trong mạng WSN ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs.

2.2. Thuật toán phân cụm động tiết kiệm năng lượng WSN

Thuật toán định tuyến dữ liệu dựa trên phân cụm động PMACME được đề xuất cung cấp các tính năng giúp tăng cường khả năng mở rộng của các cụm. Với mỗi lần lặp, hệ thống sẽ kiểm tra sự xuất hiện lặp lại của các nút hoạt động như nút chủ, do đó xác định đường dẫn định tuyến gói dữ liệu [8]. Tính toán năng lượng các tham số liên quan, tối ưu hóa mạng WSN cùng với các điều chỉnh hàm mục tiêu và cập nhật các quy tắc mờ, đảm bảo định tuyến có thể mở rộng, mức tiêu thụ năng lượng hiệu quả của các nút cụm và lựa chọn CH tối ưu. Ngoài ra các phương pháp mờ hóa được sử dụng để đánh giá các tham số cơ bản của các nút trong cụm [9]. Với vị trí của nút trưởng cụm là $CH(x_{ch}, y_{ch})$ và vị trí của trạm gốc là $BS(x_{bs}, y_{bs})$, khoảng cách giữa các nút có thể được biểu diễn như sau:

$$d(CH, BS) = \sqrt{(x_{ch} - x_{bs})^2 + (y_{ch} - y_{bs})^2} \quad (1)$$

Ví dụ: Tính $d(CH, BS)$ với các giá trị sau:

Giả sử: CH nằm tại tọa độ $(x_{ch}, y_{ch}) = (50, 45)$ mét, BS nằm tại tọa độ $(x_{bs}, y_{bs}) = (34, 12)$ mét.

Áp dụng công thức tính

$$d(CH, BS) = \sqrt{(x_{ch} - x_{bs})^2 + (y_{ch} - y_{bs})^2}$$

Thay số ta có:

$$d(CH, BS) = \sqrt{(50 - 34)^2 + (45 - 12)^2}$$

$$d(CH, BS) = \sqrt{(16)^2 + (33)^2} = \sqrt{256 + 1089} \\ = \sqrt{1345} \approx 36,67 \text{ (met)}$$

Hãy xét vị trí của một nút cụm là $N(x_m, y_m)$. Khoảng cách giữa CH và nút trưởng được biểu diễn như sau:

$$d(CH, N) = \sqrt{(x_{ch} - x_m)^2 + (y_{ch} - y_m)^2} \quad (2)$$

Bậc của cụm đầu, $deg(CH)$, có thể được định nghĩa là số lượng các nút mà cụm đầu được kết nối trực tiếp. Nó có thể được biểu diễn như một số lượng các nút trong một bán kính nhất định từ cụm đầu:

$$deg(CH) = \sum_{i=1}^N I(d(CH, N_i) \leq r) \quad (3)$$

Trong đó: r là ngưỡng khoảng cách giữa nút tới CH, I bằng 1 nếu điều kiện bên trong là đúng và bằng 0 nếu điều kiện bên trong là sai và N_i biểu diễn cho từng nút trong mạng.

Hãy xét với các nút di động M trong một môi trường động. Mỗi nút có năng lượng ban đầu tối đa và tìm kiếm kết nối mạng để truyền dữ liệu có kích thước gói m -bit. Thông thường, mô hình liên kết vô tuyến đối xứng [ref] tính toán năng lượng cần thiết để truyền dữ liệu thành công giữa các nút lân cận như sau:

$$E_{Tx}(p, d_i) = \begin{cases} p * E_c + p * \epsilon_{fsp} * d^2 & (\text{if } d_i < d_0) \\ p * E_c + p * \epsilon_{mpf} * d^4 & (\text{if } d_i \geq d_0) \end{cases} \quad (4)$$

Để truy xuất thành công kích thước gói dữ liệu p -bit đã truyền ở đầu thu, có mức năng lượng là:

$$E_{Rx}(p) = p * E_{elect} \quad (5)$$

Trong đó, d_i biểu thị khoảng cách tức thời của một nút cụm trong mỗi lần lặp. Các biến khác như E_c , ϵ_{fsp} và ϵ_{mpf} biểu thị tương ứng các tham số tiêu thụ năng lượng.

Giá trị ngưỡng của khoảng cách, được ký hiệu là d_{th} , được thiết lập trước khi phân bổ năng

lượng cho từng nút $d_{th} = \sqrt{\epsilon_{fsp}/\epsilon_{msf}}$ nếu hai

nút lân cận được định vị ở cùng một khoảng cách hoặc lớn hơn thì $d_{th} > d_i \sim d_0$. Ngược lại, nếu khoảng cách nhỏ hơn thì $d_{th} < d_i \sim d_0$.

Năng lượng được phân bổ cho một siêu nút luôn lớn hơn năng lượng của một nút bình thường. Hệ số năng lượng dư ϕ chính là phần năng lượng tăng thêm của nút CH so với nút thường:

$$E_{CH} = E_0 * (1 + \phi) * p * \theta_{d_{th}} \quad (6)$$

$$E_{norm} = E_0 * (1 - \theta_{d_{th}}) * p \quad (7)$$

Trong đó E_0 biểu thị năng lượng ban đầu được truyền trước khi truyền dữ liệu. Hệ số năng lượng dư ϕ là giá trị được thêm vào do sự xuất hiện của nó trong mỗi lần lặp lại. $\theta_{d_{th}} = \frac{\pi r^2}{M}$ biểu thị chuyển động tức thời của siêu nút trong khoảng cách được xác định trước khu vực M. Tổng phân phối năng lượng trong thuật toán PMACME là:

$$E_{Total} = E_{CH} + E_{norm} \quad (8)$$

Theo cách này, mô hình điều khiển năng lượng thực sự chỉ định và phân biệt các nút cụm E_{CH} và E_{norm} . Hơn nữa, nó đảm bảo nhận dạng chính xác các nút cụm để hình thành cụm.

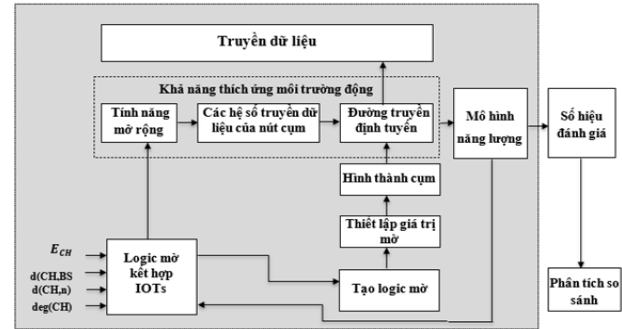
Đảm bảo các nút trong cụm đáp ứng các số liệu cần thiết như mức độ của siêu nút, năng lượng dự kiến trên mỗi cụm [8, 9]. Các nút không đáp ứng mức năng lượng sẽ bị loại khỏi quá trình hình thành cụm cho đến khi đạt được.

3. THUẬT TOÁN ĐỀ XUẤT PMACME TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG CHO WSN

3.1. Ứng dụng Logic mờ kết hợp IOT để định tuyến truyền dữ liệu

Sử dụng quy tắc mờ kết hợp IOTs là quá trình thực hiện nhúng hệ thống suy luận mờ (Fuzzy

Logic) vào nền tảng IOTs để giúp các thiết bị tự động ra quyết định thông minh, thích nghi và tối ưu năng lượng dựa trên dữ liệu cảm biến. Các tham số luôn thay đổi này ảnh hưởng đến việc lựa chọn các nút cụm và các nút CH.



Hình 1. Sơ đồ hoạt động của định tuyến dữ liệu phân cụm động

Thuật toán 1: Update Fuzzy Rules

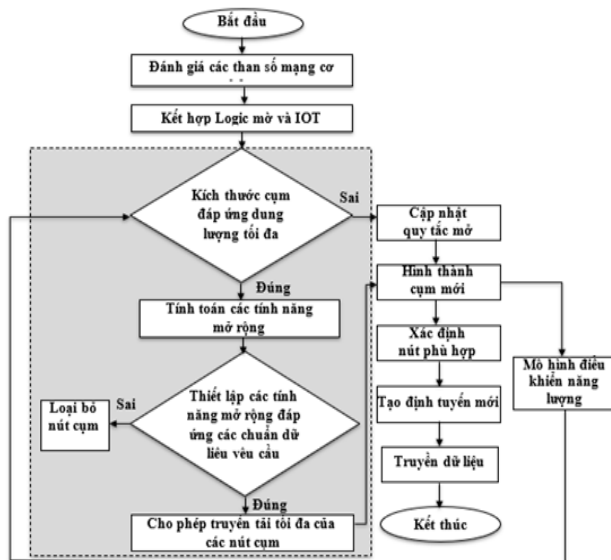
Input: Fuzzy_Rules, Objective_Function
Output: Updated_Fuzzy_Rules

- (1) Initialize Updated_Fuzzy_Rules = [];
- (2) For each rule in current_Fuzzy_Rules
- (3) Get Fuzzy_Rules_Output = Fuzzy_Rules.evaluate(rule) on
- (4) Modified_Objective_Value = Objective_Function (Fuzzy_Rules_Output)
- (5) If Modified_Objective_Value > threshold
- then**
- (6) rule = modify_Rule(rule)
- (7) Updated_Fuzzy_Rules.append(rule)
- (8) **End If**
- (9) **End For**
- (10) For each new_Situation IN unaccounted Situations
- (11) New Rule = Fuzzy_Rules.generateRule (new situation)
- (12) Updated_Fuzzy_Rules.append(new rule)
- (13) **End For**
- (14) Return Updated_Fuzzy_Rules
- (15) **End**

Khả năng thích ứng của thuật toán PMACME

được duy trì thông qua các bản cập nhật dựa trên Logic mờ liên tục, đảm bảo hệ thống phù hợp với bối cảnh WSN ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs động. Các quy tắc này, đôi khi là mới hoặc đã sửa đổi. Sau khi cập nhật quy tắc, quá trình thử nghiệm nghiêm ngặt đảm bảo tính ổn định và nâng cao hiệu quả hệ thống.

3.2. Lưu đồ thuật toán PMACME đề xuất



Hình 2. Lưu đồ thuật toán PMACME được đề xuất

Trong phần này, chúng tôi trình bày đánh giá toàn diện về thuật toán PMACME đã đề xuất, đi vào phân tích chủ yếu về việc tiết kiệm và sử dụng năng lượng hiệu quả, các tính năng để mở rộng cụm được tạo bởi sự kết hợp giữa Logic mờ kết hợp IoTs được lựa chọn vì khả năng thích ứng với các thay đổi động trong thuật toán.

Đồng thời chúng tôi đã chứng minh được quá trình hình thành cụm và khả năng mở rộng trong định tuyến dữ liệu do thuật toán PMACME đề xuất tạo ra. Cách lựa chọn các nút cụm. Phần này có thể cho thấy sự khác biệt giữa các nút thông thường và đầu cụm có thể được thực hiện. Quá trình lựa chọn rất quan trọng vì đầu cụm thường quản lý việc tổng hợp và truyền dữ liệu, dẫn đến việc sử dụng năng lượng hiệu quả.

Thuật toán 2: Energy driven model

Input: Cluster Nodes

Output: Energy per cluster group

// Năng lượng sử dụng trên mỗi nhóm cụm

(1) **Initialize** E_{Total} , E_{R_x} , E_{T_x}

(2) **For** $i = 1$ to N // mỗi nút trong cụm

(3) Compute distance d (CH, node)

// Khoảng cách giữa nút CH và nút thường

(4) **If** d (CH, node) < threshold then

(5) E_{T_x} = energy model for a short distance // năng lượng truyền cho khoảng cách gần nhất

(6) **Else**

(7) E_{T_x} = energy model for long distance // năng lượng truyền cho khoảng cách xa nhất

(1) **End If**

(8) E_{R_x} = energy required to receive data // năng lượng cần thiết để thu dữ liệu

(9) $E_{Total} = E_{T_x} + E_{R_x}$

(10) **End For**

(11) **Return** E_{Total}

(12) **End**

4. PHÂN TÍCH KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM VÀ MÔ PHỎNG

4.1. Tham số sử dụng để mô phỏng

Chúng tôi giả định diện tích mạng là $300 \times 300 \text{ m}^2$. Trong không gian này, 200 nút cụm được phân bố ngẫu nhiên. Mỗi nút trong cụm được chỉ định năng lượng ban đầu là 2 joule. Chúng tôi đã đặt các giá trị tiêu thụ năng lượng (E_C) là 10 (nJ/bit) và mất đường truyền (ϵ_{fsp}) và 20 (pJ/bit/m²). Các gói dữ liệu mỗi gói có kích thước 100 bit, lưu thông giữa các nút cụm theo khoảng thời gian 50 micro giây. Các gói này được truyền với tốc độ 200 gói/giây, với phạm vi truyền thay đổi từ 10 đến 20 m. Kết quả của chúng tôi được lấy từ mức trung bình của 10 lần chạy trên mỗi lần lập mô phỏng. Mô hình tiết kiệm năng lượng ứng dụng thuật toán PMACME cho thấy các

nút cảm biến trong mạng WSN luôn duy trì mức năng lượng ổn định khi sử dụng Logic mờ kết hợp IOTs cho kết quả tốt nhất.

Bảng 1. Bảng tham số sử dụng để mô phỏng

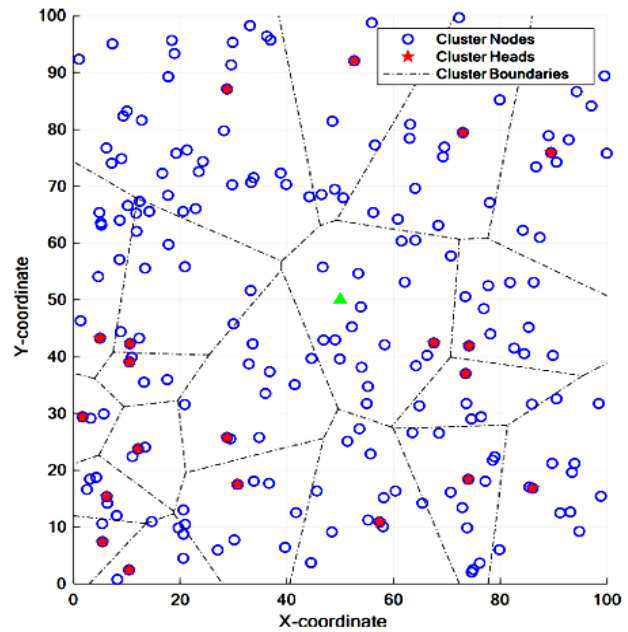
Tham số	Giá trị
Diện tích mô phỏng	$300 \times 300 \text{ m}^2$.
Số nút cảm biến sử dụng	200
Nút chìm	1
Các loại nút không đồng nhất	Nút thường, nút CH
Năng lượng: nút thường	1 Joule
Năng lượng: nút CH	2 Joules
Khoảng cách truyền	15 m
Kích thước gói dữ liệu	100 bits
Tốc độ truyền gói dữ liệu	200 gói/giây
E_c	10 nJ/bit
ϵ_{fsp}	20 pJ/bit/m ² .
ϵ_{mpf}	0.0012 pJ/bit/m ⁴ .
Số lần mô phỏng	10

4.2. Hình thành cụm có thể mở rộng

Hình 3 minh họa sự hình thành cụm do thuật toán PMACME đề xuất tạo ra để tiết kiệm năng lượng với việc tăng cường định tuyến dữ liệu có thể mở rộng. Lựa chọn các nút thường trong cụm và nút trưởng cụm trong mạng cảm biến WSN.

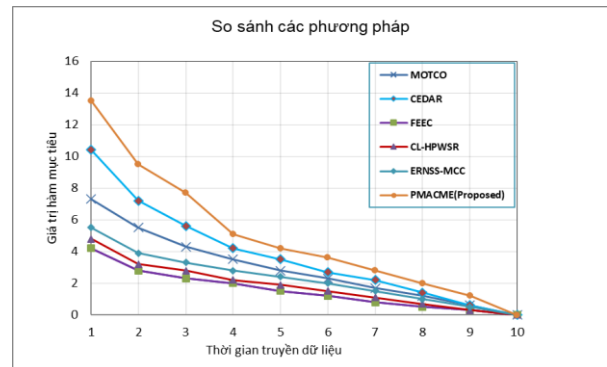
Khả năng mở rộng có thể được chứng minh bằng cách dễ dàng tích hợp các nút cụm mới vào nhóm cụm hiện có và theo đó, các cụm có thể thích ứng với các điều kiện mạng thay đổi. Hình 3 cung cấp hình ảnh trực quan mạng theo thuật toán PMACME, nhấn mạnh vào việc lựa chọn các nút then chốt và hình thành các cụm hiệu quả, có thể mở rộng. Điều này sẽ cung cấp sự hiểu biết trực quan về sự hình

thành cụm do thuật toán PMACME đề xuất tạo ra và các lợi ích của nó.



Hình 3. Hình thành cụm do thuật toán PMACME đề xuất tạo ra

4.3. Các quy tắc mờ hóa với hàm mục tiêu



Hình 4. Mức năng lượng của từng nút cụm sau một số lần lặp

Hình 4 trực quan hóa hiệu quả của các phương pháp phân cụm khác nhau bằng cách biểu diễn các biến thể hàm mục tiêu của chúng. Sự thay đổi trong hàm mục tiêu giữa các phương pháp khác nhau như CEDAR [3], ERNSS-MCC [4], FECC [5], CL-HPWSR [6] và MOTCO [7] có thể cung cấp thông tin chi tiết về hiệu quả và hiệu suất của từng phương pháp phân cụm. mỗi phương pháp cụm sẽ có một điểm dữ liệu tương ứng hoặc một loạt

các điểm dữ liệu phản ánh hiệu suất của nó liên quan đến hàm mục tiêu. Thuật toán PMACME được đề xuất cho ta kết quả tốt hơn so với các thuật toán trước đó.

Bảng 2 minh họa rõ ràng kết quả đánh giá thời gian phản hồi và thời gian xử lý của thuật toán PMACME được đề xuất. Đã xác nhận như đã trình bày ở trên rằng các giá trị là thấp nhất theo các phương pháp so sánh và tiếp tục là một quỹ đạo tăng trưởng. Thời gian phản hồi và thời gian xử lý của thuật toán PMACME được đề xuất, thời gian 1,5 ms là để phát thông điệp đề xuất CH, và là thời gian truyền một gói ngắn từ các nút tới BS. Còn 3 ms thời gian nội bộ mà một CH cần để xử lý, tập hợp, tổng hợp một gói dữ liệu từ các nút. Nó được chọn về mặt logic và tuân theo xu hướng cải thiện các số liệu khác như số lượng nút chết, năng lượng còn lại và độ trễ đầu cuối.

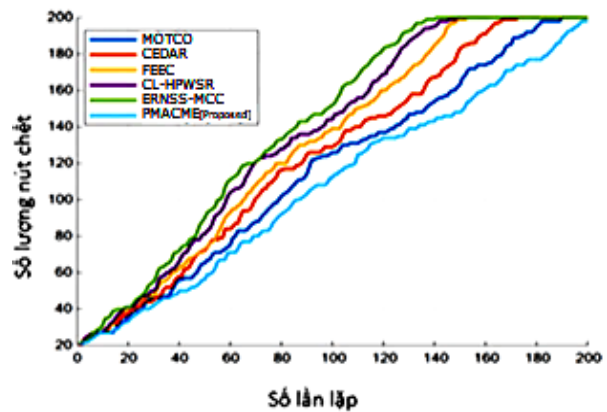
Bảng 2. Phân tích so sánh các thuật toán định tuyến dữ liệu khác nhau

Method	Number of dead nodes (%)	End-to-end delay (ms)	Remaining energy (%)	Response time (ms)	Processing time (ms)
PMACME (đề xuất)	5	2	75	1.5	3
ERNSS-MCC [4]	12	4	60	2.5	5
CL-HPWSR [6]	15	5	58	3	6
FEEC [5]	17	5.5	55	3.5	7
CEDAR [3]	20	6	50	4	8
MOTCO [7]	22	6.5	48	4.5	9

4.4. Phân tích nút chết và độ trễ đầu cuối

Quá trình kiểm tra các nút chết qua nhiều lần lặp lại được mô tả trong Hình 5. Do đó một nút chết trong WSN là một nút đã hết năng lượng và không thể tham gia vào các hoạt

động mạng, bao gồm truyền và nhận dữ liệu. trình cụm có tuổi thọ tối ưu và tốt nhất. Với thuật toán PMACME được đề xuất và tập trung vào hiệu quả năng lượng, khả năng mở rộng và truyền dữ liệu nhanh, việc phân tích nút chết có tầm quan trọng sống còn đối với hệ thống.



Hình 5. Số lượng nút chết qua các lần lặp lại cho các phương pháp khác nhau

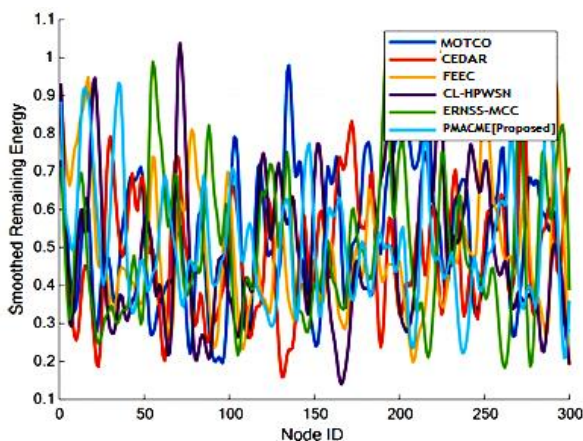
Thuật toán PMACME được đề xuất vượt trội hơn các thuật toán trước đó như CEDAR, ERNSS-MCC, FEEC, CL-HPWSR và MOTCO trong việc bảo toàn năng lượng của các nút và giảm số lượng nút chết, điều này chứng minh tính hiệu quả của nó trong việc đạt được định tuyến tiết kiệm năng lượng và có thể mở rộng trong WSN ứng dụng Logic mở kết hợp IoTs. Qua phân tích cho thấy thuật toán PMACME rất giỏi trong việc quản lý năng lượng của nút và có khả năng tiết kiệm năng lượng tiêu thụ của mạng WSN khi kết hợp giữa Logic mở với IoTs. Vấn đề này rất quan trọng đối với quá trình triển khai thiết kế mạng cảm biến để truyền dữ liệu không bị gián đoạn trong thời gian dài là cần thiết.

Bảng 3. Phân tích so sánh độ trễ giữa các thuật toán khác với PMACME

Thuật toán	Độ trễ TB (ms)	Độ trễ giảm so với CEDAR (%)
CEDAR	250	0
ERNSS-MCC	230	8

Thuật toán	Độ trễ TB (ms)	Độ trễ giảm so với CEDAR (%)
FEEC	210	16
CL-HPWSR	190	24
MOTCO	170	32
PMACME (đề xuất)	140	44

Thông qua Bảng 3, độ trễ của thuật toán mà chúng tôi đưa ra giảm đáng kể so với các thuật toán khác. Độ trễ được làm mịn thường là giá trị trung bình lặn là giá trị trung bình có trọng số theo thời gian, giúp giảm biến động ngắn hạn và làm giảm độ trễ tín hiệu khi truyền.



Hình 6. Biến thiên năng lượng trung bình trên các nút cụm qua nhiều lần lặp lại

Hình 6 phân tích so sánh tập trung vào độ trễ từ đầu đến cuối, thể hiện cả độ trễ thực tế và quá trình được làm mịn của độ trễ này khi ứng dụng thuật toán PMACME được đề xuất.

5. KẾT LUẬN

Nghiên cứu này đã chứng minh được tính ưu việt của thuật toán PMACME đề xuất về mặt định tuyến dữ liệu tiết kiệm năng lượng với các cụm động trong WSN ứng dụng Logic mờ kết hợp IoTs. Thuật toán PMACME đã tích hợp và phát triển các dạng nhóm thích ứng các điều kiện động. Khả năng đo lường của mẫu các tham số liên quan đến năng lượng, điều chỉnh hàm mục tiêu và thực hiện cập nhật quy tắc mờ giúp tăng cường quá trình lựa chọn cụm chủ. Mô hình này đã tăng cường hiệu suất bằng cách phân bổ năng lượng cho các nút cụm dựa trên chức năng của chúng và đảm bảo rằng tất cả các nút đều có ngưỡng năng lượng phù hợp hoạt động. Các mô phỏng của chúng tôi cho thấy thuật toán PMACME đề xuất đã chứng minh tính hiệu quả sử dụng năng lượng mạng được cải thiện so với các thuật toán hiện có như CEDAR, ERNSS-MCC, FEEC, CL-HPWSR và MOTCO. Theo đó, tỷ lệ số nút chết giảm, cho thấy tuổi thọ ước tính của mạng được tăng lên đáng kể. Sự gia tăng đáng kể trong việc truyền dữ liệu cho các nút cụm riêng lẻ. Những cải tiến của PMACME rất quan trọng đối với một ứng dụng hồi theo thời gian thực. Hơn nữa việc tiếp tục công việc nghiên cứu của chúng tôi, tập trung nhiều hơn vào việc tích hợp các thuật toán tối ưu hóa để thúc đẩy khả năng mở rộng, khả năng thích ứng và hiệu quả năng lượng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Haseeb, K., Almogren, A. S., Islam, N., Ud Din, I. & Jan, Z. "An energy-efficient and secure routing protocol for intrusion avoidance in fuzzy-Based WSN". *Energies*. <https://doi.org/10.3390/en12214174> (2019).
- [2] Roberts, M.K. & Ramasamy, P. "An improved high-performance clustering-based routing protocol for wireless sensor networks in fuzzy". *Telecommunication Syst.* 82, 45-59 (2022).
- [3] Mohseni, M., Amirghafouri, F. & Pourghebleh, B. "CEDAR: A cluster-based energy-aware data aggregation

- routing protocol in the internet of things using the Capuchin search algorithm and fuzzy logic*". Peer-to- Peer Netw. Appl. 16, 189-209 (2022).
- [4] AnuMonisha, A., Reshmi, T.R. & Murugan, K. "*ERNSS-MCC: Efficient relay node selection scheme for mission-critical communication using machine learning in VANET*". Peer-to-Peer Netw. Appl. 16, 1761-1784 (2023).
- [5] Rai, A., Kumar & Daniel, A. K. "*FEEC: Logic mờ kết hợp IOT based energy efficient clustering protocol for WSN*". Int. J. Syst. Assur. Eng. Manage. 14(1), 297-307 (2023).
- [6] Kumar, A., Dhaliwal, B. S. & Singh, D. "*CL-HPWSR: Cross-layer-based energy efficient cluster head selection using hybrid particle swarm wild horse optimizer and stable routing in fuzzy-enabled smart farming applications*". Trans. Emerg. Telecommunications Technol. 34. <https://doi.org/10.1002/ett.4725> (2023).
- [7] John, J. & Rodrigues, P. "*MOTCO: Multi-objective taylor crow optimization algorithm for cluster head selection in energy aware wireless sensor network*". Mob. Networks Appl. 24, 1509-1525 (2019).
- [8] Arya, G., Bagwari, A. & Chauhan, D.S. "*Performance analysis of deep learning based routing protocol for an efficient data transmission in 5G WSN communication*". IEEE Access. 1-1. <https://doi.org/10.1109/access.2022.3142082> (2022).
- [9] Kalyani, G. & Chaudhari, S.S. "*Cross-layer security MAC aware routing protocol for fuzzy networks*". Wireless Pers. Commun. 123, 935-957. <https://doi.org/10.1007/s11277-021-09163-y> (2021).
- [10] Tan, N.D., Nguyen, D., Hoang, H. & Le, T. "*EEGT: Energy efficient Grid-based routing protocol in wireless sensor networks for fuzzy applications*". Comput. 12, 103 (2023)

Thông tin liên hệ: **Ninh Văn Thọ**

Điện thoại: 0914770072 - Email: nvtho@uneti.edu.vn

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