

TỐI ƯU HÓA NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

Lại Thị Nhung^a, Nguyễn Thị Hòa^a, Lê Đăng Nguyên^b,
Nguyễn Gia Nhu^c, Đặng Thanh Hải^{d*}

^aKhoa Khoa học Cơ bản, Trường Đại học Điều dưỡng Nam Định, Nam Định, Việt Nam

^bKhoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Hải Phòng, Hải Phòng, Việt Nam

^cKhoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Duy Tân, Đà Nẵng, Việt Nam

^dKhoa Công nghệ Thông tin, Trường Đại học Đà Lạt, Lâm Đồng, Việt Nam

*Tác giả liên hệ: Email: haidt@dlu.edu.vn

Lịch sử bài báo

Nhận ngày 02 tháng 03 năm 2018

Chỉnh sửa ngày 29 tháng 03 năm 2018 | Chấp nhận đăng ngày 14 tháng 04 năm 2018

Tóm tắt

Trong mạng cảm biến không dây, các cảm biến được triển khai nhằm mục đích thu thập thông tin từ khu vực mục tiêu. Các thông tin thu thập của các cảm biến sẽ được chuyển đến trạm cơ sở bằng sóng vô tuyến. Từ đây, dữ liệu được phân tích, xử lý để đưa ra các quyết định. Một trong các vấn đề của mạng cảm biến không dây là cần phải tiết kiệm năng lượng tiêu thụ, kéo dài tuổi thọ của mạng. Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất giải pháp triển khai mạng cảm biến bằng cách phân cụm và kết hợp chọn nút chủ cụm để tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ và kéo dài tuổi thọ của mạng. Việc phân tích so sánh thuật toán đề xuất với thuật toán phân cụm truyền thống LEACH, LEACH-C, K-Mean và FCM sẽ khẳng định tính hiệu quả của giải pháp đã đề xuất.

Từ khóa: Mạng cảm biến không dây; Năng lượng; Nút chủ; Phân cụm.

Mã số định danh bài báo: <http://tckh.dlu.edu.vn/index.php/tckhdhdl/article/view/430>

Loại bài báo: Bài báo nghiên cứu gốc có bình duyệt

Bản quyền © 2018 (Các) Tác giả.

Cấp phép: Bài báo này được cấp phép theo CC BY-NC-ND 4.0

OPTIMIZING ENERGY CONSUMPTION FOR WIRELESS SENSOR NETWORKS

Lai Thi Nhung^a, Nguyen Thi Hoa^a, Le Dang Nguyen^b,
Nguyen Gia Nhu^c, Dang Thanh Hai^{d*}

^aThe Faculty of Basic Science, Namdinh University of Nursing, Namdinh, Vietnam

^bThe Faculty of Information Technology, Haiphong University, Haiphong, Vietnam

^cThe Faculty of Information Technology, Duy Tan University, Danang, Vietnam

^dThe Faculty of Information Technology, Dalat University, Lamdong, Vietnam

*Corresponding author: Email: haidtt@dlu.edu.vn

Article history

Received: March 02nd, 2018

Received in revised form: March 29th, 2018 | Accepted: April 14th, 2018

Abstract

In wireless sensor networks, sensors are deployed and aim to gather information from the target area. The information collected by the sensors will be transmitted to the base station by radio waves. From here, the data is analyzed and processed to make decisions. One of the problems of the wireless sensor network is the need to save energy consumption, extending the life of the network. In this paper, we propose a solution for deploying sensor networks by clustering and combining cluster head selection to optimize power consumption and extend the life of the network. Comparative analysis of algorithms proposed with traditional clustering algorithms LEACH, LEACH-C, K-Mean, and FCM will confirm the effectiveness of the proposed solution.

Keywords: Cluster head; Clustering; Energy consumption; Wireless sensor network.

Article identifier: <http://tckh.dlu.edu.vn/index.php/tckhdhdl/article/view/430>

Article type: (peer-reviewed) Full-length research article

Copyright © 2018 The author(s).

Licensing: This article is licensed under a CC BY-NC-ND 4.0

1. GIỚI THIỆU

Một mạng cảm biến không dây WSN (*Wireless Sensor Network*) bao gồm một tập các cảm biến được triển khai trong một khu vực mục tiêu nhằm mục đích thu thập các thông tin từ môi trường. Các thông tin này được chuyển đến nút trung tâm gọi là *BS* (*Base Station*) bằng sóng vô tuyến. Từ đó dữ liệu được phân tích, xử lý bởi người sử dụng để đưa ra các quyết định cho hệ thống (Akbarzadeh, Gagné, Parizeau, Argany, & Mostafavi, 2013).

Mạng cảm biến không dây được ứng dụng nhiều trong thực tế như giám sát môi trường, phát hiện xâm nhập, cảnh báo cháy rừng, thảm họa môi trường, giao thông, theo dõi sức khỏe con người (Huang & Tseng, 2005). Một vấn đề quan trọng của mạng cảm biến là cần phải xây dựng cấu trúc liên kết các cảm biến nhằm tối ưu hóa năng lượng tiêu thụ của các cảm biến, kéo dài tuổi thọ của mạng. Các cảm biến trong mạng thường được liên kết thành một trong các cấu trúc liên kết như: Cấu trúc hình sao; Cấu trúc phân cấp; và Cấu trúc tập trung (Yick, Mukherjee, & Ghosal, 2008).

- *Cấu trúc hình sao*: Trong cấu trúc hình sao thì mỗi cảm biến được kết nối trực tiếp đến *BS*. Tất cả cảm biến trong mạng đều có vai trò và chức năng như nhau. Các cảm biến cộng tác với nhau để thực hiện nhiệm vụ thu thập thông tin từ môi trường và chuyển đến *BS* (Hoang, Kumar, & Panda, 2010). Tuy nhiên, với cấu trúc này, các cảm biến cộng tác thu thập thông tin dư thừa từ môi trường và tiêu thụ năng lượng nhiều hơn do khoảng cách trực tiếp đến *BS* xa.
- *Cấu trúc phân cấp*: Trong cấu trúc phân cấp, mỗi nút cảm biến kết nối trực tiếp đến một nút ở cấp cao hơn trong cây và sau đó đến *BS*, dữ liệu được định tuyến từ nút thấp nhất trong mạng đến *BS*. Ý tưởng của phương pháp này khá đơn giản, vì phạm vi sóng vô tuyến của các nút cảm biến bị giới hạn, do đó cách tốt nhất là nó truyền dữ liệu đến nút lân cận với nó trong cây và sau đó đến *BS*. Trong cấu trúc này, các nút cảm biến ở cấp cao tiêu thụ nhiều năng lượng hơn các nút cảm biến ở cấp dưới do đó các nút cảm biến ở cấp cao càng gần với *BS* sẽ nhanh chóng cạn kiệt năng lượng làm giảm hiệu suất của mạng.
- *Cấu trúc tập trung*: Trong cấu trúc này các cảm biến được tổ chức thành từng nhóm, trong đó một nút được chọn làm nút chủ (*Cluster Head - CH*) các nút còn lại là *non-CH*. Các *non-CH* có nhiệm vụ thu thập các thông tin từ môi trường và chỉ chuyển thông tin đến *CH* khi cần thiết. Trong khi đó các *CH* có nhiệm vụ thu thập, phân tích loại bỏ thông tin dư thừa từ các *non-CH* và chuyển đến *BS* (Hoang & ctg., 2010).

Như vậy, việc xây dựng cấu trúc liên kết mạng cảm biến theo kiểu tập trung hay phân cụm cảm biến sẽ tiết kiệm năng lượng tiêu thụ cho toàn mạng. Tuy nhiên, để các

cụm cảm biến tiêu tốn năng lượng ít nhất hay kéo dài tuổi thọ của mạng, thì các nút cảm biến trong cụm phải được tối ưu năng lượng tiêu thụ cho việc cảm nhận thông tin, truyền dữ liệu đến nút *CH*. Trong bài báo này, chúng tôi áp dụng thuật toán phân cụm mờ kết hợp lập lịch hoạt động của các cảm biến gắn nhau trong cụm để tối ưu năng lượng tiêu thụ và giảm thông tin dư thừa.

Phần còn lại của bài viết được tổ chức như sau. Mục 2 trình bày một số thuật toán phân cụm cho mạng cảm biến không dây. Mục 3 trình bày mô hình tiêu thụ năng lượng và tối ưu hóa tổng năng lượng tiêu thụ của toàn mạng dựa trên thuật toán phân cụm mờ kết hợp lập lịch hoạt động của các cảm biến. Các kết quả thực nghiệm sẽ được trình bày trong Mục 4. Cuối cùng, kết luận được đưa ra trong Mục 5.

2. MỘT SỐ PHƯƠNG PHÁP PHÂN CỤM

2.1. Low energy adaptive clustering hierarchy (LEACH)

LEACH (Yick & ctg., 2008) là phân cụm phân cấp thích ứng năng lượng thấp. Mục đích chính của LEACH là kéo dài thời gian sống của mạng, giảm năng lượng tiêu thụ của mỗi nút, sử dụng dữ liệu tập trung để giảm thông điệp truyền dữ liệu trong mạng. Một đặc điểm của LEACH là tự tổ chức các cảm biến thành cụm mà trong đó có một nút được chọn làm nút chủ *CH*. Các nút thành viên là *non-CH* có nhiệm vụ thu thập thông tin từ môi trường rồi chuyển đến nút *CH*. Nút *CH* nhận dữ liệu từ các nút *non-CH* trong cụm, thực hiện phân tích, xử lý loại bỏ thông tin dư thừa và chuyển tiếp đến *BS*. Do đó các nút *CH* sẽ tiêu thụ năng lượng nhiều hơn các nút *non-CH*. LEACH đề xuất xoay vòng ngẫu nhiên vai trò nút *CH* cho các nút *non-CH* trong cụm để tránh việc tiêu thụ năng lượng chỉ tập trung vào một nút.

Khi bắt đầu một vòng mới trong LEACH, nó sẽ quyết định có hay không một nút cảm biến có thể trở thành nút *CH* dựa trên xác suất P trở thành *CH* trong mạng và số lần nút đó trở thành nút *CH* trước đó. Mỗi nút chọn một số ngẫu nhiên S trong đoạn $[0, 1]$. Nếu giá trị này nhỏ hơn ngưỡng $T(n)$ thì nút đó trở thành *CH* của vòng hiện thời. Giá trị ngưỡng này được xác định bởi công thức (1) như sau:

$$T(n) = \begin{cases} 0 & n \in G \\ \frac{P}{1 - P \times (r \bmod (1/P))} & n \notin G \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó: r là vòng hiện tại; G là tập hợp các nút đã trở thành *CH* trong $1/P$ vòng trước.

Khoảng cách giữa các cảm biến trong môi trường 3D được tính như công thức (2) trong đó (x_i, y_i, h_i) là tọa độ của cảm biến s_i trong địa hình.

$$d(s_i, s_j) = \sqrt{(x_{s_i} - x_{s_j})^2 + (y_{s_i} - y_{s_j})^2 + (h_{s_i} - h_{s_j})^2} \quad (2)$$

2.2. LEACH-C

LEACH-C tương tự như LEACH nhưng nó sẽ quyết định nút trở thành *CH* là nút có năng lượng còn lại lớn và vị trí của nó trong địa hình. Mặt khác, LEACH chọn nút *CH* không dựa vào năng lượng còn lại mà dựa vào số lần trở thành *CH* trong các vòng trước đó. Điều này làm cho các cảm biến ở xa *BS* sẽ nhanh chóng cạn kiệt năng lượng. Hơn nữa, việc chọn *CH* không dựa vào sự phân bố của các cảm biến sẽ hình thành các cụm chồng chéo. Để khắc phục các nhược điểm này, LEACH-C cho phép các cảm biến gửi thông tin về năng lượng còn lại và vị trí đến *BS* (Yin, Shi, Li, & Zhang, 2006).

Kaur và Gupta (2015) mô tả LEACH-C sử dụng thuật toán PBO (*Pollination Based Optimization*) để chọn các *CH* dựa vào năng lượng còn lại và khoảng cách. Nếu có hai nút cảm biến có cùng năng lượng còn lại thì LEACH-C chọn cảm biến làm *CH* dựa vào khoảng cách từ nó đến *BS*. LEACH-C đã cải tiến hiệu quả LEACH về năng lượng, chi phí và kéo dài tuổi thọ của mạng.

2.3. K-Means

Một phương pháp phân cụm khác dựa trên năng lượng còn lại của các cảm biến là thuật toán K-Means. Không giống như LEACH và LEACH-C, thuật toán K-Means tìm kiếm cảm biến gần với tâm cụm chọn làm *CH*. Tham số quan trọng nhất thuật toán K-Means chính là khoảng cách *Euclidean*. Thuật toán K-Means lặp đi lặp lại việc gom cụm các cảm biến có khoảng cách ngắn nhất với tâm cụm, sau mỗi lần lặp, tâm cụm được tính lại, thuật toán dừng khi tâm cụm không thay đổi. Điều này đảm bảo năng lượng tiêu thụ của các cảm biến trong cụm cho việc truyền dữ liệu đến *CH* của chúng là ít nhất. Tuy nhiên, cũng giống như các phương pháp phân cụm khác, các nút *CH* luôn tiêu tốn năng lượng nhiều hơn các cảm biến khác vì chúng có nhiệm vụ nhận dữ liệu từ các cảm biến thành viên trong cụm, rồi tổng hợp loại bỏ dữ liệu dư thừa sau đó mới chuyển tiếp đến *BS*. Để đảm bảo cân bằng năng lượng giữa các cảm biến, kéo dài tuổi thọ của mạng, thuật toán K-Means thực hiện phân cụm xoay vòng với số cụm được khởi tạo mỗi lần khác nhau.

2.4. Fuzzy C-Means (FCM)

FCM là một trong các phương pháp được áp dụng rộng rãi trong logic mờ được đưa ra bởi Bezdek, Ehrlich, và Full (1984). Các cảm biến được gom thành cụm với độ thuộc của FCM giúp tối ưu hóa các cụm dựa vào việc giảm thiểu khoảng cách giữa các cảm biến và tâm cụm. Phương pháp này đảm bảo các cụm hình thành một cách thống nhất trong WSN mà các cảm biến được triển khai ngẫu nhiên. Các cụm được hình thành với các cảm biến có mật độ cao. Do đó, việc truyền dữ liệu được cân bằng giữa các *CH*

và năng lượng tiêu thụ cũng được cân bằng giữa các cảm biến trong nội cụm. Phương pháp FCM được giải quyết nhờ vào công thức (3) và công thức (4). Trong đó, u_{ij} là độ thuộc của cảm biến j vào cụm i , d_{ij} là khoảng cách giữa cảm biến j và tâm cụm i .

$$J = \sum_{i=1}^c \sum_{j=1}^N u_{ij}^m d_{ij}^2 \quad (3)$$

$$\begin{cases} u_{ij} \in [0,1] \\ \sum_{j=1}^c u_{ij} = 1 \\ k = 1, \dots, N; j = 1, \dots, c \end{cases} \quad (4)$$

Độ thuộc của các thành viên cảm biến và các tâm cụm được tính như các công thức (5) và (6).

$$u_{ij} = \frac{1}{\sum_{k=1}^c \left(\frac{d_{ij}}{d_{kj}}\right)^{\frac{2}{m-1}}} \quad (5)$$

$$V_j = \frac{\sum_{k=1}^N u_{kj}^m X_k}{\sum_{k=1}^N u_{kj}^m} \quad (6)$$

Sau khi các cụm được hình thành, *BS* chọn nút cảm biến gần nhất với tâm cụm làm *CH* và việc tái phân cụm được thực hiện sau một chu kỳ thời gian để đảm bảo năng lượng tiêu thụ được cân bằng giữa các *CH* và *non-CH* trong cụm.

3. MÔ HÌNH ĐỀ XUẤT

Giả sử có một địa hình 3D và một mạng cảm biến bao gồm N cảm biến. Địa hình 3D được định nghĩa theo chuẩn DEM (*Digital Elevation Model*) (Nguyen, Dang, Le, & Le, 2015) và được biểu diễn bằng một ma trận theo hàng, cột và giá trị ma trận chính là độ cao của tọa độ tương ứng theo hàng, cột. Triển khai một mạng cảm biến không dây đòi hỏi các cảm biến và *BS* phải có một vị trí cố định trên địa hình. Mô hình mạng xem xét có các cảm biến đồng nhất về cấu trúc và tất cả cảm biến có một mức năng lượng khởi đầu như nhau. Mỗi nút cảm biến có trách nhiệm thu thập các thông số từ môi trường và định kỳ gửi thông tin đến nút nhận. Nút nhận là *CH* hoặc *BS*. Nếu nút nhận là *CH* thì nó có trách nhiệm tổng hợp và chuyển tiếp đến *BS*. Kênh vô tuyến dùng để chuyển dữ liệu có phạm vi là một hình cầu với bán kính T_r . Thông thường bán kính này ít nhất gấp đôi bán kính phủ sóng của cảm biến. Mặc khác, năng lượng tiêu thụ trong quá trình truyền dữ liệu từ nút X đến nút Y và ngược lại coi như giống nhau. Từ những giả định trên chúng tôi đề xuất một mô hình phân cụm mờ mới kết hợp việc chọn

nút CH dựa mô hình năng lượng tiêu thụ của các cảm biến trong mạng (FCM-CHS). Trong cấu trúc của một cảm biến không dây thì năng lượng được tiêu thụ vào các thành phần: Cảm nhận các thông số từ môi trường; Tổng hợp dữ liệu; Truyền nhận; và Khuếch đại dữ liệu. Chúng tôi xem xét mô hình tổn thất năng lượng cho quá trình truyền dữ liệu khoảng cách xa (năng lượng tổn thất d^4) và khoảng cách gần (năng lượng tổn thất d^2). Năng lượng tiêu thụ cho một nút CH nhận, tổng hợp dữ liệu và chuyển tiếp đến BS được tính như công thức (7).

$$E_{CH} = lE_{elec} + lE_{DA} + l\varepsilon_{mp}d_{toBS}^4 \quad (7)$$

Trong đó: l là số bit của mỗi gói dữ liệu; E_{DA} là năng lượng tiêu thụ cho việc tổng hợp dữ liệu và được đề nghị là 5 pJ/bit ; d_{toBS} là khoảng cách từ nút CH đến BS trong môi trường 3D được tính bằng công thức (2); E_{elec} là năng lượng tiêu thụ cho việc truyền, nhận mỗi bit dữ liệu và được đề nghị là 50 nJ/bit ; và ε_{fs} , ε_{mp} là chi phí năng lượng cho việc truyền một bit dữ liệu với một tỉ lệ bit lỗi chấp nhận được và được đề nghị là 10 pJ/bit/m^2 và $0.0013 \text{ pJ/bit/m}^4$.

Như vậy, năng lượng tiêu thụ của các nút $non-CH$ được tính như công thức (8).

$$E_{non-CH} = lE_{elec} + l\varepsilon_{fs}d_{toCH}^2 \quad (8)$$

Trong đó: d_{toCH} là khoảng cách của nút cảm biến trong cụm đến CH và tổng năng lượng tiêu thụ của mạng cho mỗi vòng được tính như công thức (9).

$$E_{Total} = C \times E_{CH} + (N - C) \times E_{non-CH} \quad (9)$$

Kết hợp các công thức (7), (8), và (9) chúng ta được công thức (10) để tính tổng năng lượng tiêu thụ như sau:

$$E_{Total} = l(2NE_{elec} + CE_{DA} + C\varepsilon_{mp}d_{toBS}^4 + (N - C)\varepsilon_{fs}d_{toCH}^2) \quad (10)$$

Giả sử chọn C cảm biến từ N ban đầu làm CH , chúng ta phân bố các cảm biến còn lại vào C cụm với mục tiêu tối thiểu năng lượng tiêu thụ như công thức (11).

$$J = C\varepsilon_{mp}d_{toBS}^4 + (N - C)\varepsilon_{fs}d_{toCH}^2 \rightarrow \min \quad (11)$$

Áp dụng logic mờ cho hàm năng lượng tại công thức (11) chúng ta được một hàm mục tiêu mới như công thức (12).

$$J = C\varepsilon_{mp} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|V_j - X_{BS}\|^4 + (N - C)\varepsilon_{fs} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C u_{ij}^m \|X_i - V_j\|^2 \rightarrow \min \quad (12)$$

Trong đó X_{BS} là tọa độ của BS . Với việc giới hạn bán truyền thông của các cảm biến, chúng tôi tích hợp các ràng buộc như công thức (13), (14), và (15).

$$\sum_{i=1}^C u_{ij} = 1; \quad u_{ij} \in [0,1]; \quad \forall j = \overline{1, N} \quad (13)$$

$$\|X_i - V_j\| \leq 2T_r \quad (14)$$

$$\|V_j - X_{BS}\| \leq 9T_r \quad (15)$$

Trong đó chúng tôi giả sử bán kính truyền thông của BS gấp tám lần bán kính truyền thông của các cảm biến. Do đó, một cảm biến kết nối đến được CH của nó thì khoảng cách của nó phải nhỏ hơn hoặc bằng $2T_r$, và CH kết nối được đến BS nếu như khoảng cách giữa chúng nhỏ hơn hoặc bằng $9T_r$. Bằng cách sử dụng phương pháp Lagrangian, độ thuộc và tâm cụm được tính theo các công thức (16), (17), và (18). Trong đó: A, B là các hệ số; a_0, d_0, s, ρ , và k là các tham số kiểm soát tốc độ hình dáng của hàm.

$$u_{ij} = \left(\frac{\sum_{k=1}^C C m \varepsilon_{mp} \|V_k - X_{BS}\|^4 + (N-C) \varepsilon_{fs} \|X_i - V_k\|^2}{C m \varepsilon_{mp} \|V_j - X_{BS}\|^4 + (N-C) \varepsilon_{fs} \|X_i - V_j\|^2} \right)^{\frac{1}{m-1}} \quad (16)$$

$$V_j = V_j - (A \nabla_{V_j} J_m^*(V_j)) - B(V_j - T) \quad (17)$$

$$T = \rho_j \sin \left[2\pi \left(\frac{1}{s} \right)^{1-a_0 - \frac{(1-a_0-d_0)(j-1)}{k}} \right], \quad j = 1, 2, \dots, C \quad (18)$$

Với a_0, d_0 nằm trong đoạn $[0, 1]$, $a_0 + d_0 < 1$; $s > 0$; $k \leq C$; và giá trị J_m^* được tính như công thức (19).

$$J_m^* = J_m + \lambda_j \left(\sum_{j=1}^C u_{ij} - 1 \right) + \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^C (\max^2(0, \mu_{ij} + g_{ij}) - \mu_{ij}^2) + \sum_{j=1}^C (\max^2(0, \xi_j + h_j) - \xi_j^2) \quad (19)$$

Trong đó:

$$g_{ij} = g(V_j, X_i) = \|X_i - V_j\| - 2T_r \quad (20)$$

$$h_j = h(V_j) = \|V_j - X_{BS}\| - 9T_r \quad (21)$$

Giá trị μ_{ij} , ξ_j được tính như sau:

$$\frac{\partial J_m^*}{\partial \mu_{ij}} = \max(0, \mu_{ij} + g_{ij}) - \mu_{ij} \quad (22)$$

$$\frac{\partial J_m^*}{\partial \xi_j} = \max(0, \xi_j + h_j) - \xi_j \quad (23)$$

Như vậy, sau phân cụm mờ thì các cụm cảm biến hình thành tối ưu năng lượng tiêu thụ cho quá trình chuyển dữ liệu từ các nút *non-CH* đến nút *CH*, từ các nút *CH* đến *BS*. Tuy nhiên, việc chọn *CH* xoay vòng cho các cụm sao cho tối ưu năng lượng tiêu thụ và kéo dài tuổi thọ của mạng tức là năng lượng còn lại của nút *CH* lớn và khoảng cách từ *CH* đến các nút thành viên trong cụm ngắn nhất. Hàm mục tiêu cho việc tối thiểu năng lượng tiêu thụ cho quá trình truyền dữ liệu từ *non-CH* đến *CH* tức là khoảng cách từ các *non-CH* đến *CH* nhỏ nhất và được tính như sau:

$$P_d = \sum_{i=1}^{C_n} \frac{1}{d_{iCH}} \rightarrow \max \quad (24)$$

Trong đó: C_n là số *non-CH* trong cụm và d_{iCH} là khoảng cách từ nút cảm biến i đến *CH*. Chi tiết thuật toán FCM-CHS được trình bày như sau:

- *Đầu vào*: Số cảm biến N ; Số cụm C ; tham số mờ m ; số vòng lặp tối đa $\text{maxSteps} > 0$; và Tham số $A, B, a_0, d_0, s, k, \rho_j$.
- *Đầu ra*: Ma trận U và Tập tâm cụm V .
- *Chi tiết thuật toán*:

```

1      t = 0
2      Khởi tạo ngẫu nhiên  $u_{kj}^{(t)}$  đảm bảo theo công thức (13)
3      Repeat
4      t = t + 1
5      While  $V_j$  không phải điểm cực trị hoặc điều kiện dừng chưa đạt do
6      Cập nhật  $V_j$  theo công thức (17)
7      If điều kiện cập nhật  $\mu_{ij}, \zeta_j$  được đảm bảo then
8      Cập nhật  $\mu_{ij}$  theo công thức (22)
9      Cập nhật  $\zeta_j$  theo công thức (23)
10     EndIf
11     EndWhile
12     Tính  $u_{kj}^{(t)}$  ( $k=1 \dots N, j=1 \dots C$ ) theo công thức (16)
13     Until  $\|u^{(t)} - u^{(t-1)}\| \leq \varepsilon$  or maxSteps
14     For  $i=1$  to  $N$  do
15     maxU  $\leftarrow$  MinDouble
16     idmax  $\leftarrow$  1
17     For  $j=1$  to  $C$  do
18     If  $u_{ij} > \text{maxU}$  then
19     maxU  $\leftarrow$   $u_{ij}$ 
20     idmax  $\leftarrow$   $j$ 

```

```

21     EndIf
22     EndFor
23      $V(idmax).NumSensor \leftarrow V(idmax).NumSensor + \{i\}$ 
24     EndFor
25      $E_{A(j)} = 0$  // Năng lượng còn lại trung bình của thành viên cụm
26     ForEach j
27     For i=1 to V(j).NumSensor do
28      $E_{A(j)} = E_{A(j)} + E_i$ 
29      $E_{A(j)} = E_{A(j)} / V(j).NumSensor$ 
30     Tính  $P_{d(j)}$  theo công thức (24)
31     EndFor
32     EndFor
33     ForEach j
34     For i=1 to V(j).NumSensor do
35     If  $E_i > E_{A(j)}$  and  $P_{d(i)} = Max$ 
36     Sensor(i).CH= true
37     EndFor
38     EndFor

```

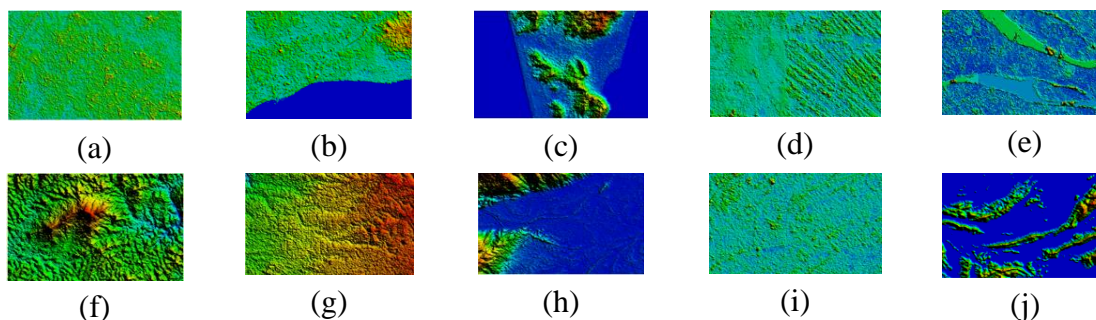
4. THỰC NGHIỆM

4.1. Cài đặt

Chúng tôi thực hiện cài đặt, so sánh kết quả các thuật toán LEACH, LEACH-C, K-Means, FCM, và FCM-CHS với các tham số được cung cấp như trong Bảng 1. Thực nghiệm được hiện trên máy tính cấu hình CPU Intel Core i5 3.1Ghz, bộ nhớ 4GB. Các địa hình thực tế trong môi trường 3D được thu thập từ các vùng miền khác nhau của Việt Nam bởi phần mềm Earthexplorer (Hình 1).

Bảng 1. Các tham số thuật toán

Tham số	Giá trị
Năng lượng khởi tạo	5J
N	1000
T_r	250 m
E_{elec}	50 nJ/ bit
E_{DA}	5 pJ/ bit
ε_{mp}	0.0013 pJ/bit/ m ⁴
ε_{fs}	10 pJ /bit/ m ²
l	bytes



Hình 1. Các địa hình DEM của Việt Nam

Ghi chú: a) Địa hình T1; b) Địa hình T2; c) Địa hình T3; d) Địa hình T4; e) Địa hình T5; f) Địa hình T6; g) Địa hình T7; h) Địa hình T8; i) Địa hình T9; và j) Địa hình T10.

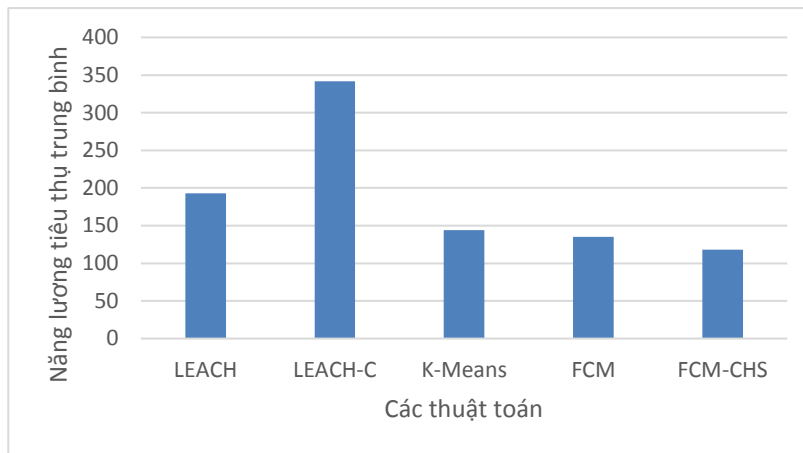
4.2. Kết quả thực nghiệm

Chúng tôi thực nghiệm hiệu năng của thuật toán trên các địa hình khác nhau với số lượng cụm tương đương 10% số lượng các cảm biến. Bảng 2 cho thấy mức tiêu thụ năng lượng của mạng bởi các thuật toán cụ thể LEACH, LEACH-C, K-Means, FCM, và FCM-CHS. Rõ ràng là thuật toán FCM-CHS có mức tiêu thụ năng lượng trung bình nhỏ hơn các thuật toán khác.

Bảng 2. Năng lượng tiêu thụ của các thuật toán

Địa hình	LEACH	LEACH-C	K-Means	FCM	FCM-CHS
T1	182.160	293.957	138.247	174.789	146.245
T2	195.159	155.514	129.667	162.054	161.324
T3	208.515	514.775	154.227	169.368	159.238
T4	164.012	384.664	116.199	119.982	110.253
T5	209.050	240.831	187.040	179.560	120.254
T6	173.954	517.287	144.514	102.553	85.263
T7	212.243	189.875	167.110	116.225	96.245
T8	240.986	451.496	175.418	112.452	99.254
T9	191.596	234.403	134.354	98.457	92.368
T10	152.167	435.096	92.175	114.452	108.247

Hình 2 biểu thị giá trị trung bình của năng lượng tiêu thụ của tất cả các thuật toán. Chi tiết năng lượng tiêu thụ trung bình của thuật toán FCM cải tiến là 134.99. Trong khi đó, năng lượng tiêu thụ trung bình của các thuật toán khác lần lượt là 192.98 (LEACH); 341.79 (LEACH-C); 143.99 (K-Means); và 134.98 (FCM). Có thể thấy rằng thuật toán FCM-CHS (117.869) là hiệu quả nhất.



Hình 2. Năng lượng tiêu thụ trung bình của các thuật toán

5. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, chúng tôi đã nghiên cứu vấn đề tối ưu năng lượng tiêu thụ của các cảm biến, kéo dài tuổi thọ mạng bằng thuật toán phân cụm mờ kết hợp chọn nút *CH* tối ưu. Phân cụm mờ đã chứng minh rằng hiệu quả phân cụm các thành viên có khả năng thuộc về nhiều cụm khác nhau. Tuy nhiên, phân cụm mờ truyền thống chỉ xem khoảng cách giữa các thành viên *non-CH* để hình thành cụm mà không xem xét đến khả năng kết nối giữa các *CH* với *BS*. Thuật toán phân cụm mờ cải tiến đã khắc phục được khuyết điểm trên. Khi các cụm cảm biến được hình thành, việc lựa chọn *CH* xoay vòng có mức năng lượng còn lại lớn và có khoảng cách gần nhất với các cảm biến trong cụm để giảm thiểu năng lượng tiêu thụ và kéo dài tuổi thọ của mạng. Qua thực nghiệm thuật toán FCM-CHS với các thuật toán phân cụm khác, kết quả nhận được là năng lượng tiêu thụ trung bình của các cảm biến trong mạng ít nhất. Tuy nhiên, thuật toán trả giá về thời gian tính toán.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Akbarzadeh, V., Gagné, C., Parizeau, M., Argany, M., & Mostafavi, M. A. (2013). Probabilistic sensing model for sensor placement optimization based on line-of-sight coverage. *IEEE Transactions on Instrumentation and Measurement*, 62(2), 293-303.
- Bezdek, J. C., Ehrlich, R., & Full, W. (1984). FCM: The Fuzzy C-means clustering algorithm. *Computers & Geosciences*, 10(2-3), 191-203.
- Hoang, D. C., Kumar, R., & Panda, S. K. (2010). *Fuzzy C-means clustering protocol for wireless sensor networks*. Paper presented at The IEEE International Symposium on Industrial Electronics (ISIE), Italy.
- Huang, C. F., & Tseng, Y. C. (2005). A survey of solutions to the coverage problems in wireless sensor networks. *Journal of Internet Technology*, 6(1), 1-8.

- Kaur, E. S., & Gupta, E. R. (2015). Deploying an optimized LEACH-C protocol for wireless sensor network. *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, 5(7), 25-30.
- Mostafa, B., Abderrahmane, H., & Saad, C. (2015). Low energy adaptive clustering hierarchy for three-dimensional wireless sensor network. *Recent Advances in Communications*, 15, 214-218.
- Nguyen, T. T., Dang, T. H., Le, H. S., & Le, T. V. (2015). *Optimization for the sensor placement problem in 3D environments*. Paper presented at The IEEE International Conference on Networking, Sensing and Control (ICNSC15), Taiwan (China).
- Tan, L., Gong, Y., & Chen, G. (2008). *A balanced parallel clustering protocol for wireless sensor networks using K-means techniques*. Paper presented at The IEEE International Conference on Sensor Technologies and Applications, France.
- Yick, J., Mukherjee, B., & Ghosal, D. (2008). Wireless sensor network survey. *Computer Networks*, 52(12), 2292-2330.
- Yin, Y., Shi, J., Li, Y., & Zhang, P. (2006). *Cluster head selection using analytical hierarchy process for wireless sensor networks*. Paper presented at The IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Finland.