

# GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN K-MEANS CÓ THÍCH ỨNG NĂNG LƯỢNG CHO MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

Vũ Tiến Thái, Nguyễn Mạnh Hiễn

Trường Đại học Thủy Lợi; Email: {thaivt, hiennm}@wru.edu.vn

## 1. GIỚI THIỆU

Gần đây, giới nghiên cứu đã quan tâm đặc biệt tới các kỹ thuật định tuyến trong mạng cảm biến không dây (WSNs) bởi tính hiệu quả của chúng trong việc tối ưu hóa năng lượng. Trong nghiên cứu này, chúng tôi đề xuất một giải thuật định tuyến dựa trên  $k$ -means [4], KMR, có cân nhắc tới năng lượng dư thừa của các nút. Trong KMR, sau khi thuật toán  $k$ -means kết thúc, một cụm trưởng mới sẽ được chọn ra để tránh việc tập trung tải truyền trên một số ít các nút cảm biến, và do đó kéo dài thời gian sống của toàn bộ mạng.

Chúng tôi so sánh phương pháp KMR với một số phương pháp khác, bao gồm phương pháp truyền trực tiếp (DT),  $k$ -means cơ bản (BKM), và một phương pháp nổi tiếng cho định tuyến mạng WSNs được gọi là LEACH, trên bộ mô phỏng OMNeT++. Các kết quả đã chỉ ra rằng KMR cải thiện đáng kể thời gian sống của toàn mạng so với các phương pháp khác.

## 2. NHỮNG NGHIÊN CỨU LIÊN QUAN

LEACH là một trong những giao thức định tuyến đầu tiên áp dụng chiến lược cân bằng năng lượng tiêu thụ trên các nút trong mạng [2, 3]. Trong giao thức này, tất cả các nút tự quyết định tham gia vào các cụm, mỗi cụm sẽ có một nút tự bầu làm cụm trưởng. LEACH kết hợp tư tưởng định tuyến dựa trên phân cụm hiệu quả năng lượng với việc hợp nhất dữ liệu đặc trưng của ứng dụng nhằm cực đại hóa thời gian sống của hệ thống.

## 3. KMR: GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN DỰA TRÊN K-MEANS

### 3.1. Mô hình mạng

Để phát triển một giao thức mới, chúng tôi đưa ra một số giả thuyết về mô hình mạng như sau:

- Máy trạm BS là nút có năng lượng cao và có khả năng thực hiện các tính toán phức tạp.
- Các nút cảm biến trong mạng là đồng nhất và có vị trí cố định. Các nút này có mức năng lượng bị

giới hạn, nhưng có khả năng điều chỉnh mức năng lượng sao cho phù hợp khi truyền dữ liệu.

- Các nút cảm biến biết được vị trí và năng lượng dư thừa của chúng, các thông tin này sẽ được gửi về máy trạm BS khi cần cấu hình lại toàn bộ mạng.

### 3.2. Mô hình sóng radio

Mô hình sóng có vai trò quan trọng trong xây dựng hoạt động của các giao thức. Ở đây, chúng tôi sử dụng mô hình sóng radio bậc một trong tài liệu [2], theo đó tổng năng lượng tiêu thụ khi truyền  $l$  bit dữ liệu đi một khoảng cách được biểu diễn bởi công thức:

$$E_{Tx}(l, d) = \begin{cases} E_{elec} \times l + \dot{o}_{fs} \times l \times d^2 & \text{if } d < d_0 \\ E_{elec} \times l + \dot{o}_{mp} \times l \times d^4 & \text{if } d \geq d_0 \end{cases}$$

trong đó  $d_0 = \sqrt{\dot{o}_{fs} / \dot{o}_{mp}}$ ,  $E_{elec}$  là năng lượng cần thiết để bộ truyền và bộ nhận dữ liệu hoạt động,  $\dot{o}_{fs}$  và  $\dot{o}_{mp}$  là năng lượng khuếch đại tín hiệu truyền theo các mô hình free space và multi-path fading channel. Nút nhận dữ liệu sẽ tiêu tốn một lượng năng lượng được tính theo công thức sau:

$$E_{Rx}(l) = E_{elec} \times l$$

Khi BS xa vùng mạng, các cụm trưởng nhận và hợp nhất dữ liệu từ các nút thành viên trong cụm, và sau đó sẽ gửi về BS. Theo [1], năng lượng tiêu thụ cho việc hợp nhất dữ liệu được thiết lập theo công thức  $E_{DA} = 5 \text{ nJ/bit/signal}$ .

### 3.3. Giao thức định tuyến dựa trên K-Means có thích ứng năng lượng

Như LEACH, hoạt động của giao thức KMR được chia ra thành các vòng (round). Mỗi vòng được bắt đầu bởi một pha cài đặt (set-up phase) để tổ chức các nút cảm biến vào các cụm, sau đó là một pha ổn định (steady-state phase) để thu thập và truyền dữ liệu về BS. Trong pha cài đặt, BS sử dụng thuật toán  $k$ -means để phân chia các nút vào các cụm, thông tin về các cụm được gửi trở lại cho các nút cảm biến. Tại thời điểm bắt đầu của mỗi vòng, tất cả các nút gửi thông tin vị trí và năng lượng về BS.

Sử dụng  $k$ -means trong bài toán phân cụm mạng WSNs theo cách thông sẽ dẫn tới việc một hay một số ít cấu hình mạng được dùng lại liên tục. Kết quả là, một số nút sẽ chết sớm hơn nhiều so với thời gian sống kỳ vọng của toàn bộ mạng. Do đó, sử dụng thuật toán  $k$ -means ở mức cơ bản để phân cụm mạng WSNs là hoàn toàn không phù hợp.

Do đó, chúng tôi đề xuất một giao thức mới, Energy-Aware K-Means-based Routing Protocol (KMR), trong đó việc chọn các cụm trưởng CH được điều chỉnh cho phù hợp với mức năng lượng dư thừa của mỗi nút cảm biến cũng như khoảng cách từ nút tới tâm của các cụm. Trong KMR, chỉ những nút cảm biến với năng lượng không thấp hơn năng lượng trung bình của các nút trong mạng mới có cơ hội trở thành cụm trưởng. Điều này nhằm tránh trường hợp bầu những nút có mức năng lượng thấp làm cụm trưởng CH dẫn đến việc các nút này bị chết sớm (hết năng lượng).

Phương pháp đề xuất được biểu diễn thông qua Thuật toán 1 và Thuật toán 2. Trong KMR, một giai đoạn hậu xử lý (sau khi phân cụm mạng với giải thuật  $k$ -means) thực hiện bầu lại cụm trưởng cho mỗi cụm mà không làm thay đổi các nút thành viên trong cụm đó. Khả năng trở thành cụm trưởng của mỗi nút phụ thuộc vào giá trị score của nó, trong đó score của mỗi nút được tính bởi hàm  $score$ , hàm này tỷ lệ thuận với năng lượng dư thừa của nút và tỷ lệ nghịch với khoảng cách từ nút đó tới tâm của cụm mà nút đó thuộc về.

**Thuật toán 1** *Energy\_Aware\_K-Means\_Algorithm(S,k)*

- Input:** Tập các nút cảm biến  $S = \{x_1, x_2, \dots, x_n\}$  và số cụm  $k$   
**Output:**  $k$  cụm sau khi thực hiện phân cụm  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$
- 1: Tính năng lượng trung bình  $E_{avg}$  của tất cả các nút còn sống
  - 2: Chọn  $k$  tâm cụm ngẫu nhiên từ các nút mạng có năng lượng  $E_{cur} \geq E_{avg}$
  - 3: **repeat**
  - 4: Đưa các nút vào cụm có tâm gần nhất tới mỗi nút
  - 5: Tính lại tâm của các cụm bằng trung bình tọa độ của các nút thành viên
  - 6: Chọn nút có năng lượng  $E_{cur} \geq E_{avg}$  mà gần tâm cụm nhất làm tâm mới của cụm
  - 7: **until** kết quả phân cụm không đổi
  - 8: Gọi *Post\_K\_Means\_Processing(C)*

**Thuật toán 2** *Post\_K\_Means\_Processing(C)*

- Input:** phân  $k$  cụm  $C = \{C_1, C_2, \dots, C_k\}$   
**Output:**  $k$  cụm nút cảm biến sau khi thực hiện phân cụm  $C' = \{C'_1, C'_2, \dots, C'_k\}$
- 1: **for**  $i \leftarrow 1, \dots, k$  **do**
  - 2:  $score(C_i) \leftarrow 0$
  - 3: **for all**  $x_j \in C_i$  với  $E_{cur}(x_j) \geq E_{avg}$  **do**
  - 4: Tính  $score(x_j)$
  - 5:  $score(C_i) \leftarrow score(C_i) + score(x_j)$
  - 6: **end for**
  - 7: **for all**  $x_j \in C_i$  với  $E_{cur}(x_j) \geq E_{avg}$  **do**
  - 8:  $f(x_j) \leftarrow score(x_j) / score(C_i)$
  - 9: **end for**
  - 10:  $pos \leftarrow$  sinh ngẫu nhiên một số trong đoạn  $[0,1]$
  - 11:  $total\_f \leftarrow 0$
  - 12: **for all**  $x_j \in C_i$  với  $E_{cur}(x_j) \geq E_{avg}$
  - 13:  $total\_f \leftarrow total\_f + f(x_j)$
  - 14: **if**  $total\_f \geq pos$  **then**
  - 15:  $C'_i \leftarrow C_i$
  - 16: Gán  $x_j$  làm cụm trưởng của  $C'_i$
  - 17: **break**
  - 18: **end if**
  - 19: **end for**
  - 20: **end for**

**4. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM**

**4.1. Cài đặt thực nghiệm**

Để đánh giá hiệu quả định tuyến của phương pháp được đề xuất KMR trong mạng WSNs, chúng tôi tiến hành thực nghiệm sử dụng bộ mô phỏng OMNeT++ [5].

**Bảng 1. Các tham số mô phỏng**

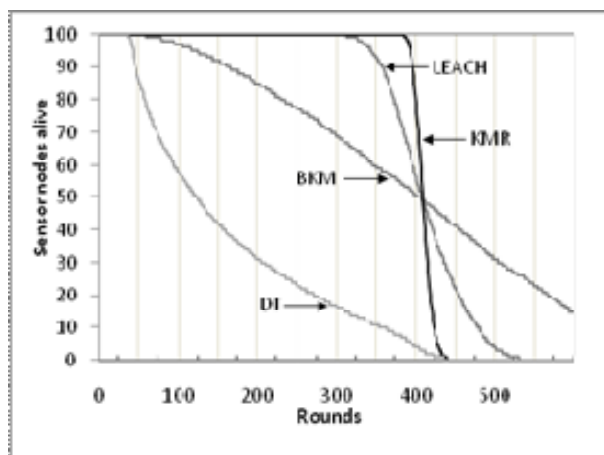
Tham số	Giá trị
$E_{giec}$	50 nJ/bit
$E_{DA}$	5 nJ/bit/signal
$\epsilon_{fs}$	10 pJ/bit/m <sup>2</sup>
$\epsilon_{mp}$	0.0013 pJ/bit/m <sup>4</sup>
$d_0$	87.7m
Frames per round	20

Để chọn các cụm trưởng CH, chúng tôi tạo ra một hàm  $score$  cho mỗi nút cảm biến. Hàm  $score$  tỷ lệ thuận với năng lượng còn dư và tỷ lệ nghịch với khoảng cách từ nút đó tới tâm của cụm.

Chúng tôi mô phỏng mạng cảm biến không dây bằng việc sinh ngẫu nhiên và đồng nhất 100 nút cảm biến với năng lượng khởi tạo 2J trong một vùng mạng kích thước 100 mét x 100 mét. Máy trạm nằm ở một vị trí xa vùng mạng có tọa độ vị trí (175, 50). Mỗi giải thuật được chạy 100 lần, sau đó kết quả được tính trên tất cả các lần chạy nhằm tăng độ tin cậy của việc thực nghiệm.

#### 4.2. Kết quả thực nghiệm

Hình 1 biểu diễn kết quả thực nghiệm trên 3 giao thức phân cụm LEACH, BKM, KMR với số cụm là 5 cùng với giao thức DT. Như trên hình vẽ, giao thức KMR vẫn cho kết quả thời gian sống của toàn mạng là dài nhất. Một điểm đáng chú ý từ kết quả này đó là chiến thuật chọn ngẫu nhiên các cụm trưởng kết hợp giới hạn mức năng lượng của các nút làm cụm trưởng đã tạo ra sự cải thiện đáng kể của giao thức đề xuất KMR so với giao thức chỉ đơn giản chọn các tâm cụm làm các cụm trưởng, BKM.



**Hình 1:** Số nút cảm biến còn sống trong trường hợp 5 cụm trưởng.

#### 5. KẾT LUẬN

Chúng tôi đã đề xuất một cách tiếp cận mới KMR cho bài toán định tuyến trong mạng WSNs, và so sánh nó với một số giao thức khác. Để tối ưu hóa hiệu năng của WSNs ở khía cạnh thời gian sống của toàn mạng, KMR tiến hành phân chia các nút cảm biến vào trong các cụm sử dụng thuật toán phân cụm k-means. Sau khi phân cụm, một giai đoạn hậu xử lý được thực hiện để chọn ra các cụm trưởng mới, các cụm trưởng này có thể sẽ không phải là tâm của các cụm. Tiêu chuẩn chọn cụm trưởng bao gồm năng lượng dư thừa và khoảng cách từ các nút tới các tâm cụm tương ứng. Mô phỏng đã chỉ ra rằng KMR cho kết quả tốt hơn khi so sánh với các giao thức định tuyến khác.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Wang A, Heinzelman W B, Sinha A, Chandrakasan A P (2001) Energy-scalable protocols for battery-operated microsensor networks. In: Journal of VLSI signal processing systems for signal, image and video technology, 29(3):223-237
- [2]. Heinzelman W R, Chandrakasan A, Balakrishnan H (2000) Energy-efficient communication protocol for wireless microsensor networks. In: Proceedings of the 33rd Hawaii International Conference on System Sciences
- [3]. Heinzelman W B, Chandrakasan A P, Balakrishnan H (2002) An application-specific protocol architecture for wireless microsensor networks. In: IEEE Transactions on Wireless Communications, 1(4):660-670
- [4]. Duda R O, Hart P E, Stork D G, Pattern Classification, 2nd edition, chapter 10, Wiley, 2001
- [5]. OMNeT++ documentation and tutorials. <http://www.omnetpp.org/documentation>