

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

PHAN THỊ THỂ

**ĐỊNH TUYỂN TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ TRONG MẠNG
CẢM BIẾN KHÔNG DÂY**

TP HỒ CHÍ MINH - 2021

HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG

PHAN THỊ THỂ

**ĐỊNH TUYỂN TIẾT KIỆM NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ TRONG MẠNG
CẢM BIẾN KHÔNG DÂY**

CHUYÊN NGÀNH: HỆ THỐNG THÔNG TIN

MÃ SỐ: 9.48.01.04

TP HỒ CHÍ MINH - NĂM 2021

LỜI CAM ĐOAN

Tôi cam đoan đây là công trình nghiên cứu của riêng tôi.

Các số liệu, kết quả nêu trong nghiên cứu này là trung thực và chưa từng được ai công bố trong bất kỳ công trình nào khác.

TP.HCM, ngày tháng 08 năm 2021

Học viên thực hiện

Phan Thị Thế

LỜI CẢM ƠN

Trong suốt quá trình học tập, nghiên cứu và hoàn thành luận văn, ngoài những cố gắng nỗ lực của bản thân, Em đã nhận được sự hướng dẫn, giúp đỡ quý báu của quý Thầy Cô.

Nhân dịp này, Em xin gửi lời cảm ơn trân trọng nhất tới PGS.TS Trần Công Hùng, người đã trực tiếp hướng dẫn, tận tình chỉ bảo, chia sẻ kiến thức, tài liệu, tạo mọi điều kiện thuận lợi và định hướng cho em trong suốt quá trình thực hiện luận văn.

Bên cạnh đó, Em cũng gửi lời cảm ơn đến Ban Giám Hiệu nhà trường và tất cả các Thầy cô của Học Viện Công Nghệ Bưu Chính Viễn Thông đã giảng dạy và dìu dắt em trong suốt quá trình học tập tại trường.

Đồng thời, em cũng đã nhận được rất nhiều sự hỗ trợ tận tình từ các bạn học cùng với sự động viên khích lệ và ủng hộ của đồng nghiệp, bạn bè và gia đình.

Mặc dù đã nỗ lực hết sức mình, nhưng chắc rằng luận văn khó tránh khỏi thiếu sót. Em rất mong nhận được sự chỉ bảo tận tình của quý Thầy Cô và các Anh chị.

Em xin chân thành cảm ơn!

TP.HCM, ngày tháng 08 năm 2021

Học viên thực hiện luận văn

MỤC LỤC

MỞ ĐẦU.....	1
1. Lý do chọn đề tài.....	1
2. Mục tiêu của đề tài.....	3
3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:	4
4. Phương pháp nghiên cứu	4
5. Các đóng góp chính của luận án	4
6. Cấu trúc của luận án.....	6
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY.....	7
1.1. Giới thiệu tổng quan về mạng cảm biến không dây	7
1.2. Cấu trúc của một nút mạng.....	9
1.3. Kiến trúc giao thức mạng	10
1.4. Các thách thức và trở ngại đối với WSN.....	13
1.5. Ứng dụng của mạng cảm biến không dây	15
1.6. Các tiêu chí đánh giá hiệu suất.....	18
1.7. Định tuyến trong mạng cảm biến không dây.....	18
1.8. Kết luận chương	20
CHƯƠNG 2. GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN PHÂN CỤM HIỆU QUẢ DỰA TRÊN SINK TĨNH	21
2.1. Kỹ thuật định tuyến phân cụm trong mạng cảm biến không dây.....	21
2.1.1 Giới thiệu	21
2.1.2 Ưu Điểm Của Kỹ Thuật Phân Cụm	21
2.1.3 Các vấn đề được xem xét khi xây dựng thuật toán dựa trên phân cụm	22
2.1.4 Quá trình lựa chọn cụm chủ (Cluster head-CH).....	22
2.1.5 Quá trình hình thành phân cụm	23
2.1.6 Các giao tiếp trong cụm.....	23

2.2.	Những công trình liên quan	24
2.2.1	Những giao thức định tuyến phân cấp (Hierarchical protocols).....	24
2.2.2	Những giao thức định tuyến không đồng nhất	29
2.2.3	Giao thức định tuyến dựa trên dữ liệu (Data centric protocols).....	35
2.2.4	Giao thức dựa trên vị trí (Location-based protocols)	36
2.2.5	Thuật toán phân cụm và A-Sao với logic mờ	39
2.3.	Thuật toán tối ưu năng lượng trong mạng không dây không đồng nhất dựa trên giao thức không đồng nhất DEC	40
2.3.1	Giới thiệu	40
2.3.2	Quá trình phân cụm.....	41
2.3.3	Hoạt động của giao thức đề xuất	43
2.3.4	Đánh giá giải pháp	45
2.4.	Cải tiến việc phân cụm trong mạng cảm biến không dây	51
2.4.1	Giới thiệu thuật toán	51
2.4.2	Thuật toán đề xuất.....	52
2.4.3	Đánh giá giải pháp	56
2.5.	Phương pháp lựa chọn tuyến đường giữa các nút và cân bằng giữa chúng để kéo dài tuổi thọ cho mạng cảm biến.....	60
2.5.1	Giới thiệu thuật toán	60
2.5.2	Mô hình giải pháp.....	60
2.5.3	Đánh giá giải pháp	65
2.6.	Kết chương	68
CHƯƠNG 3. KỸ THUẬT ĐỊNH TUYẾN PHÂN CỤM HIỆU QUẢ DỰA TRÊN SINK DI ĐỘNG		69
3.1.	Mô hình sink di động.....	69
3.2.	Thuật toán MECA (Mobile sink based Energy Efficient Clustering Algorithm)	71
3.3.	Thuật toán MSA (Mobile Sink Assisted):	74

3.4. Giới thiệu các công trình nghiên cứu theo hướng Mobile Sink	75
3.5. Phân cụm mờ kết hợp với Mobile Sink để kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây	76
3.5.1 Giới thiệu thuật toán	76
3.5.2 Mô hình tiêu thụ năng lượng	78
3.5.3 Mô hình sink di động	78
3.5.4 Hoạt động của giải pháp đề xuất.....	79
3.5.5 Đánh giá giải pháp	86
3.6. Sử dụng chiến lược di chuyển để tiết kiệm năng lượng của Mobile Sink trong mạng cảm biến không dây	90
3.6.1 Giới thiệu	90
3.6.2 Thuật toán tìm đường đi ngắn nhất Dijkstra.....	91
3.6.3 Lưu đồ hoạt động của thuật toán đề xuất:.....	92
3.6.4 Đánh giá giải pháp:	93
3.6.5 Thuật toán ACO kết hợp với LEACH-C và sink di động	96
KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN	100
CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU	103
TÀI LIỆU THAM KHẢO.....	105

DANH MỤC HÌNH

Hình 1-1: Một mạng cảm biến không dây điển hình	8
Hình 1-2. Các thành phần của một nút cảm biến	9
Hình 1-3. Kiến trúc giao thức của mạng cảm biến.	11
Hình 2-1: Mạng đơn bước; Hình 2-2: Mạng đa bước	24
Hình 2-3 Phân cụm với truyền thông đơn chặng (single hop) tới sink (bên trái) và phân cụm với truyền thông đa chặng (multi hop) đến sink (bên phải)	25
Hình 2-4: Mô hình mạng LEACH	26
Hình 2-5: Ví dụ về lưới ảo trong GAF.....	37
Hình 2-8: Sự chuyển trạng thái trong GAF.....	38
Hình 2-7 Sơ đồ khối cho các giao thức EDEEC, EDDEEC, BEENISH, Giao thức đề xuất trong quá trình lựa chọn CH.....	44
Hình 2-8 Mô hình mạng cảm biến không đồng nhất 4 mức độ	45
Hình 2-9- Đồ thị so sánh thời gian sống của các giao thức tham gia mô phỏng	48
Hình 2-10: Đồ thị so sánh thời gian các nút chết của các giao thức tham gia mô phỏng.....	49
Hình 2-11 Đồ thị so sánh thông lượng của các giao thức tham gia mô phỏng.....	50
Hình 2-12. Đồ thị so sánh năng lượng còn lại trung bình của các giao thức tham gia mô phỏng.....	51
Hình 2-13: Lược đồ chọn CH node trong giao thức SEP	54
Hình 2-14: Lược đồ các bước chạy của thuật toán SEP_εFCM	55
Hình 2-15: Giao thức SEP sau 1200 vòng chạy.....	57
Hình 2-16: Giao thức kết hợp SEP_εFCM sau 1200 vòng chạy	57
Hình 2-17: Nút sống.....	58
Hình 2-18: Năng lượng còn lại	59
Hình 2-19: Logic mờ với 2 biến đầu vào (RE, TL) và biến đầu ra NC	61
Hình 2-20: Đồ thị liên kết cho biến đầu vào Năng lượng còn lại (RE)	61
Hình 2-21: Đồ thị liên kết cho biến đầu vào Tải lưu lượng (TL)	61
Hình 2-22: Đồ thị liên kết cho biến đầu ra Chi phí nút (NC)	62
Hình 2-23: Lưu đồ thuật toán đề xuất.....	64
Hình 2-24 Trung bình năng lượng còn lại sau 20000 vòng truyền.....	66
Hình 2-25 Số nút sống sau 20000 vòng truyền.....	66
Hình 2-26: Thống kê số vòng khi nút đầu tiên và nút thứ 50 chết (lần 4).....	67

Hình 3-1. Hướng di chuyển của Sink trong MECA.....	71
Hình 3-2 Mô hình sink di động trong thuật toán MECA	72
Hình 3-3 Lưu đồ hoạt động của đề xuất.....	80
Hình 3-4. Các tham số của hệ thống mờ	80
Hình 3-5. Hàm mờ cho biến năng lượng.....	82
Hình 3-6. Hàm mờ cho biến khoảng cách cục bộ.....	82
Hình 3-7. Hàm mờ cho biến khoảng cách đến sink	83
Hình 3-8. Hàm mờ cho biến cơ hội.....	84
Hình 3-9 Minh họa các vị trí của sink.....	85
Hình 3-10. Đồ thị số nút còn sống giữa đề xuất với LEACH, CHEF.....	87
Hình 3-11. Đồ thị năng lượng còn lại giữa đề xuất với LEACH, CHEF.....	87
Hình 3-12. Đồ thị năng lượng trung bình giữa đề xuất với LEACH, CHEF.....	88
Hình 3-13: Lưu đồ hoạt động của thuật toán đề xuất.....	92
Hình 3-14: Mô phỏng so sánh số nút còn sống giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C	94
Hình 3-15: Mô phỏng so sánh mức năng lượng trung bình giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C	94
Hình 3-16: Mô phỏng so sánh mức năng lượng còn lại giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C	95
Hình 3-17 Sơ đồ của thuật toán ACO và Leach-C trên Sink di động.....	96
Hình 3-18 Mô phỏng so sánh nút mạng còn sống giữa giao thức đề xuất LEACH- CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD	97
Hình 3-19. Mô phỏng quá trình tiêu thụ năng lượng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD	98

DANH MỤC CÔNG THỨC TOÁN HỌC

2.1 Công thức tính ngưỡng $T(n)$	24
2.2 Công thức tính Tổng năng lượng cần thiết lập (không đồng nhất)	27
2.3 Xác suất trọng lượng cho nút normal và advance	27
2.4 Ngưỡng cho nút Normal	27
2.5 Ngưỡng cho nút Adv	28
2.6 Xác suất cho các nút normal và nút advance	28
2.7 $\bar{E}(r)$ là năng lượng trung bình tại vòng 'r'	28
2.8 Tổng năng lượng khởi tạo cho toàn mạng	28
2.9 Tổng số vòng của mạng	29
2.10 Tổng năng lượng tiêu hao trong vòng hiện tại	29
2.11 Khoảng cách trung bình giữa nút thành viên đến CH	29
2.12 Xác suất sử dụng thuật toán DDEEC	30
2.13 Công thức tính ngưỡng theo thuật toán TDEEC	31
2.14 Công thức tính ngưỡng theo thuật toán EDEEC	31
2.15 Công thức tính ngưỡng theo thuật toán EDDEEC($E_i(r) > T_{absolute}$)	32
2.16 Công thức tính ngưỡng theo thuật toán EDDEEC($E_i(r) < T_{absolute}$)	32
2.17 Công thức tính xác suất chọn CH trong giao thức BEENISH	33
2.18 Ngưỡng T_s của các giao thức	41
2.19 $d_{hiện tại}$ là khoảng cách thực tế từ nút thứ i đến SINK	41
2.20 Công thức tính khoảng cách trung bình từ 1 nút bất kỳ đến SINK	42
2.21 Công thức tính xác suất cải tiến điều kiện $E_i(r) > T_{absolute}$	43
2.22 Công thức tính xác suất cải tiến khi $d_{hiện tại} \leq d_{trung bình}$ điều kiện $E_i(r) > T_{absolute}$	43
2.23 Công thức tính xác suất cải tiến khi $d_{hiện tại} > d_{trung bình}$ điều kiện $E_i(r) > T_{absolute}$	43
2.24 Hàm mục tiêu của thuật toán ϵ FCM	51
2.25 Công thức tính $\ t\ _\epsilon$	51
2.26 Công thức tính u_{ik}	51
2.27 Công thức tính v	51
2.28 Xác suất trọng lượng để có được ngưỡng tuyển chọn CH trong mỗi vòng	52
2.29 Ngưỡng cho nút advance	53
2.30 Chi phí của nút	61

3.1 Khi các nút cảm biến ghi lại vị trí ban đầu của sink	68
3.2 Cụm chủ CH_{S_i} của nó được biểu diễn như $E_1(S_i, CH_{S_i})$	69
3.3 Cụm chủ CH_{S_i} của nó được biểu diễn như $E_2(S_i, S_j, CH_{S_i})$	70
3.4 Giá trị nhỏ nhất của năng lượng tiêu thụ $E_2(S_i, S_j, CH_{S_i})$	70
3.5 Năng lượng tiêu thụ $E(S_i, CH_{S_i})$	70
3.6 Khoảng cách ngắn nhất giữa CH và BS	70
3.7 Công thức tính $E_{Tx}(k, d)$	75
3.8 Mức năng lượng tiêu hao	75
3.9 Giá trị ngưỡng khoảng cách truyền d_0	75
3.10 Vị trí của sink di động	76

DANH MỤC BẢNG

Bảng 1-1. Phân loại các giao thức định tuyến trong mạng cảm biến không dây	19
Bảng 2-1: Bảng các tham số mô phỏng	46
Bảng 2-2: Kịch bản mô phỏng	47
Bảng 2-3: Bảng so sánh tuổi thọ mạng của các giao thức tham gia mô phỏng	47
Bảng 2-4: Bảng so sánh thông lượng và năng lượng còn lại trung bình của các giao thức tham gia mô phỏng.....	49
Bảng 2-5: Bảng mô tả các ký hiệu trong hình mô phỏng	56
Bảng 2-6: Các quy tắc Nếu-Thì	62
Bảng 3-1 Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa các đề xuất 1 với LEACH.....	76
Bảng 3-2 Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất 2 với LEACH, CHEF, đề xuất 1	77
Bảng 3-3 Quy luật mờ If-Then của đề xuất	80
Bảng 3-4 Bảng tham số mô phỏng	85
Bảng 3-5. Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất với LEACH, CHEF.....	86
Bảng 3-6 Tham số mô phỏng của thuật toán	93
Bảng 3-7: Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất với LEACH, LEACH-C	95
Bảng 3-8: So sánh tuổi thọ mạng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD.....	97
Bảng 3-9: So sánh tiêu thụ năng lượng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD	98

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

Từ viết tắt	Tiếng Anh	Tiếng Việt
BEENISH	Balanced Energy Efficient Network Integrated Super Heterogeneous	Mạng không đồng nhất cân bằng hiệu quả năng lượng tích hợp nút Super
BS	Base Station (Sink)	Trạm gốc (trạm thu phát).
CH	Cluster Head	Cụm chủ
CAF	Cluster Algorithm and A-star with Fuzzy Approach	Thuật toán phân cụm kết hợp A-sao với logic mờ
CDMA	Code Division Multiple Access	Đa truy cập phân chia theo mã
CHEF	Cluster Head Election mechanism using Fuzzy logic	Cơ chế lựa chọn cụm chủ sử dụng logic mờ
DEEC	Distributed Energy-Efficient Clustering	Phân cụm hiệu quả năng lượng phân tán
DDEEC	Developed Distributed Energy-Efficient Clustering	Phân cụm hiệu quả năng lượng phân tán cải tiến
EDEEC	Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering	Phân cụm hiệu quả năng lượng phân tán tăng cường
EDDEEC	Enhanced Developed Distributed Energy Efficient Clustering	Phân cụm hiệu quả năng lượng phân tán tăng cường cải tiến
FIS	Fuzzy Inference System	Hệ thống suy luận mờ
FLC	Fuzzy Logic Control	Điều khiển mờ
FCM	Fuzzy C-Means	Thuật toán phân cụm mờ C-Means

GAF	Geographic Adaptive Fidelity	Định tuyến thích ứng chính xác theo địa lí
GEAR	Geographic and Energy Aware Routing	Định tuyến theo nhận biết năng lượng, địa lí
GPS	Global Positioning System	Hệ thống định vị toàn cầu
LEACH	Low-Energy Adaptive Clustering Hierarchy	Phân cụm phân cấp thích ứng năng lượng thấp
IOT	Internet of things	Internet của vạn vật
MECA	Mobile sink based Energy-efficient Clustering Algorithm	Thuật toán phân cụm hiệu quả năng lượng dựa trên trạm thu phát di động
MSA	Mobile Sink Assisted Energy Efficient Routing Algorithm	Thuật toán định tuyến hiệu quả năng lượng hỗ trợ trạm thu phát di động
SEP	Stable Election Protocol	Giao thức bầu chọn ổn định
TDEEC	Threshold Distributed Energy-Efficient Clustering	Phân cụm hiệu quả năng lượng phân tán ngưỡng
WSN	Wireless Sensor Network	Mạng cảm biến không dây

KÝ HIỆU TOÁN HỌC

P: tỉ lệ phần trăm nút cụm chủ

r: số ngẫu nhiên giữa 0 và 1

G: tập hợp các nút không được lựa chọn làm nút cụm chủ trong 1/p chu kì cuối.

T(n) là ngưỡng của nút cảm biến

E_o là năng lượng ban đầu của nút normal

P(i): Xác suất để 1 nút trở thành CH

G': Tập các nút chưa trở thành CH với $\frac{1}{P_{nrm}}$ vòng cuối cho mỗi giai đoạn.

$T_{(snrm)}$: Là ngưỡng áp dụng cho (1-m) nút normal

$\bar{E}(r)$ là năng lượng trung bình tại vòng 'r' của toàn mạng

E_{round} : Tổng năng lượng tiêu hao trong vòng hiện tại

L: Chiều dài bit của gói tin

k: Số lượng CH

d_{toBS} : Khoảng cách trung bình giữa CH và SINK

d_{toCH} : Khoảng cách trung bình giữa nút thành viên đến CH của nó

$J_{m\epsilon}(U, V)$: Hàm mục tiêu

ϵ là tham số phi nhạy cảm với nhiễu

u_{jk} trong ma trận phân hoạch U

ϵ là chuẩn giữa 0 và 1

k: là các bước lặp

c: số cụm

$\epsilon_{fs}=10\text{pJ/bit/m}^2$ và $\epsilon_{mp}=0.0013\text{pJ/bit/m}^4$: hệ số khuếch đại

P_{opt} : Xác suất CH tối ưu

m: Phần trăm số lượng nút Advance

m_o: Phần trăm số lượng nút Super

m₁: Phần trăm số lượng nút Ultra-super

a: Năng lượng cho các nút Advance

b: Năng lượng cho các nút Super

u: Năng lượng cho các nút Ultra-super

MỞ ĐẦU

1. Lý do chọn đề tài

Hiện nay, xu thế IoTs (Internet of Things) đã và đang triển khai cho các hệ thống thông minh trên toàn cầu, trong đó hệ thống cảm biến và mạng cảm biến là một trong những yếu tố then chốt cho các hệ thống thông minh này. Hơn thế nữa, mạng cảm biến không dây được ứng dụng rất nhiều trong tất cả các lĩnh vực để tăng hiệu quả kinh tế. Con người có thể sử dụng mạng cảm biến không dây để theo dõi sức khỏe của người bệnh, điều khiển và giám sát an ninh, kiểm tra môi trường, tạo ra không gian sống thông minh, khảo sát và đánh giá trong nông nghiệp, y tế [1]. Ngày càng có nhiều ứng dụng của mạng cảm biến không dây được phát triển, Việt Nam cũng đã và đang ứng dụng mạng cảm biến không dây vào trong các lĩnh vực và đời sống xã hội. Đặc biệt, Việt Nam vẫn là một nước phát triển phụ thuộc vào nông nghiệp nên việc ứng dụng mạng cảm biến không dây trong trồng trọt để đo độ ẩm của đất, nước, nhiệt độ, ánh sáng,...bước đầu cũng đem lại hiệu quả kinh tế cao. Đồng thời, Việt Nam cũng đang đứng trước nguy cơ về cháy rừng, lũ lụt và chăm sóc sức khỏe con người thì việc ứng dụng mạng cảm biến không dây để kiểm soát các nguy cơ trên là hết sức quan trọng và cấp bách hiện nay. Việc nghiên cứu về mạng tối ưu năng lượng trong cảm biến không dây ở Việt Nam hay trên thế giới luôn được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực này [2].

Trong mạng cảm biến không dây, các nút thường là các thiết bị đơn giản, nhỏ gọn, giá thành thấp, đa chức năng, công suất tiêu thụ thấp và có số lượng lớn và diện tích giám sát bất kỳ. Tuy nhiên, WSNs (Wireless Sensor Networks) cũng có nhiều mặt hạn chế, một trong những hạn chế lớn nhất đó là nguồn năng lượng bị giới hạn (kích thước thiết bị nhỏ - nguồn pin nhỏ) và rất khó khăn để nạp lại năng lượng cho thiết bị. Trong đó, kỹ thuật phân cụm là một trong những kỹ thuật hiệu quả để cải thiện khả năng mở rộng và thời gian sống của một mạng cảm biến không dây. Trong một cụm các nút sẽ giao tiếp thông qua cụm chủ, các nút này tiêu thụ nhiều năng lượng hơn do một số phụ tải cho các hoạt động khác nhau như thu thập dữ liệu, tổng hợp số liệu, thông tin liên lạc và các dữ liệu tổng hợp đến trạm gốc. Vì vậy, vấn đề cân bằng năng lượng của các cụm chủ là một vấn đề rất quan trọng cho các hoạt động dài hạn của WSNs [3]. Cân bằng năng lượng có thể được sử dụng để kéo dài tuổi thọ của một mạng lưới cảm biến bằng cách giảm tiêu thụ năng lượng. Cân bằng năng

lượng dựa trên kỹ thuật phân cụm cũng có thể làm tăng khả năng mở rộng mạng lưới. Mạng cảm biến không dây với các nút có mức năng lượng khác nhau có thể kéo dài tuổi thọ của mạng và củng cố độ tin cậy của nó. Việc nghiên cứu, phát triển các thuật toán về tối ưu năng lượng trong mạng cảm biến không dây để cải thiện các tham số như: tăng thời gian sống của mạng, giảm các nút chết trong mạng

Định tuyến đóng vai trò quan trọng trong mạng cảm biến không dây[4]. Khi các nút của WSN được triển khai theo cách xác định (đặt ở các vị trí được xác định trước), sự giao tiếp giữa nút và trạm (base station hoặc sink nơi xử lý, phân tích, và ra quyết định) có thể thực hiện bằng các tuyến đường được thiết lập trước. Tuy nhiên, khi các nút được triển khai theo cách ngẫu nhiên (nghĩa là chúng được phân tán vào môi trường ngẫu nhiên), kết quả là cấu hình mạng không thể đoán trước. Trong trường hợp này, các nút này cần phải tự tổ chức, nghĩa là chúng phải hợp tác để xác định vị trí của chúng, xác định những nút lân cận và khám phá các đường dẫn đến sink [5], [6]. Các nút cảm biến trong mạng thu thập dữ liệu và truyền dữ liệu đến sink theo phương pháp truyền trực tiếp (single-hop) hoặc truyền gián tiếp (multi-hop) [7], [8]. Truyền trực tiếp khi phạm vi của các nút cảm biến gần Sink thì phương pháp này khả thi. Ngược lại, các nút cảm biến được phân bố ở những khu vực rộng lớn thì phương pháp này sẽ tốn nhiều chi phí, các nút gần trạm sẽ bị tiêu hao năng lượng nhanh chóng và do đó thời gian sống của mạng cũng sẽ giảm. Để giảm thiểu lỗi của phương pháp truyền này, thì việc trao đổi giữa các nút cảm biến và Sink được giải quyết bằng phương pháp tiếp cận truyền thông gián tiếp đa chặng. Tùy vào ứng dụng, mà các nút cảm biến được phân bố ngẫu nhiên hay chúng được đặt ở các vị trí xác định trước[6]. Nếu dữ liệu đã được định tuyến trước thì giao tiếp giữa các nút và sink sẽ được thực hiện bằng các tuyến đường đã định trước. Đối với, các nút cảm biến được triển khai, hoặc phân tán vào môi trường ngẫu nhiên thì cấu hình mạng không thể đoán trước. Vì vậy, các nút này phải tự tổ chức bằng cách trao đổi, kết hợp với nhau để xác định vị trí của chúng, vị trí của các nút lân cận và tự xác định đường đi đến sink. Tuy nhiên hạn chế của các nguồn năng lượng và do thực tế rằng giao tiếp làm tiêu hao điện năng đáng kể trong một nút cảm biến, phạm vi truyền dẫn của các nút này được giới hạn cho mục đích năng lượng hiệu quả, các nút cảm biến xa sink sẽ sử dụng chuyển tiếp đa chặng (multi hop) để truyền dữ liệu đến sink. Kết quả truyền thông đa chặng cho thấy tiêu hao năng lượng không cân bằng trong các phần khác nhau trong mạng, các nút xung quanh sink thì cạn kiệt năng lượng nhanh hơn nhiều so với các nút ở xa. Điều này không chỉ gây ra những cảm biến gần sink ngưng hoạt động, mà còn làm

cho sink không thể truy cập bởi các nút cảm biến khác. Trong trường hợp này, các dữ liệu cảm biến không thể gửi thành công đến sink, dữ liệu chuyển tiếp đến các bộ cảm biến gần sink bị tắc nghẽn theo dạng thắt nút cổ chai có thể làm cho mạng ngưng hoạt động, đây là một kết quả trực tiếp của việc có một sink tĩnh (cố định) [8]. Vì vậy, trong một số ứng dụng như giám sát sức khỏe, giám sát cháy, có nghiêm ngặt trì hoãn các yêu cầu về thu thập dữ liệu, có nghĩa là dữ liệu được thu thập bởi các nút cảm biến phải được gửi đến sink trong thời hạn nhất định. Do đó, chính thách thức ở đây là làm thế nào để thiết kế đường đi được tối ưu hóa của sink để giảm thiểu mức tiêu thụ năng lượng của toàn bộ mạng trong điều kiện đáp ứng sự chậm trễ các yêu cầu. Mục tiêu chính của WSN là cung cấp cho người dùng cuối các thông tin thu thập xung quanh khu vực cảm biến bởi sink, truyền thông dữ liệu (gửi và nhận) là hoạt động tiêu thụ năng lượng nhiều nhất của các nút và sự tiêu hao năng lượng tỷ lệ thuận với khoảng cách giữa nơi gửi và nơi nhận, nghĩa là nơi gửi càng gần nơi nhận càng xa thì sự tiêu thụ năng lượng càng giảm và ngược lại. Do đó, để đạt được kết quả tiết kiệm năng lượng cao hơn, tính di động của trạm thu phát nhằm tăng tuổi thọ WSNs. Gần đây, các nhà nghiên cứu đã tập trung nhiều hơn vào việc sử dụng tính di động của Sink để giải quyết vấn đề lỗi năng lượng trong mạng cảm biến không dây (WSN) [9], [10], [11], [12], [13], [14]. Việc cải thiện hiệu suất mạng cũng như giảm năng lượng tiêu thụ, kéo dài tuổi thọ mạng nên việc sử dụng sink di động thường dẫn đến độ trễ lâu hơn cho việc thu thập dữ liệu do giới hạn của tốc độ sink. Hiện nay, việc nghiên cứu các kỹ thuật và thuật toán tối ưu năng lượng có kết hợp với phân cụm mờ, sink di động rất có ý nghĩa trên thực tế và phát triển thuật toán là nhiệm vụ của các nhà nghiên cứu trong lĩnh vực WSN, góp phần vào sự phát triển không ngừng của công nghệ này. Đây cũng là mục tiêu chính của luận án.

2. Mục tiêu của đề tài

Mục tiêu chính của luận án là tìm được giải pháp tiết kiệm năng lượng sử dụng kỹ thuật phân cụm kết hợp với sink tĩnh và sink di động, kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây. Cụ thể như sau:

- Tiết kiệm năng lượng bằng cách tiêu thụ năng lượng ít nhất trong suốt quá trình phân cụm và định tuyến, giảm số nút chết trong mạng để cải thiện giao tiếp giữa các nút không đồng nhất và kéo dài tuổi thọ của các nút để tối đa hoá truyền thông trong mạng.
- Việc tìm và chọn cụm chủ tốt nhất để cực tiểu số node không tham gia vào cụm và làm tăng số lượng node tham gia vào mạng để tiết kiệm thời gian

giao tiếp giữa các node trong mạng. Điều này giúp kéo dài được thời gian sống của mạng.

- Việc tối ưu năng lượng bằng cách phân cụm, tìm cụm chủ tối ưu và định tuyến dựa trên mô hình sink tĩnh và mô hình sink di động là những giải pháp được thực hiện để kéo dài thời gian sống của mạng.

3. Đối tượng và phạm vi nghiên cứu:

Để đạt được mục tiêu trên, luận án tập trung vào nghiên cứu các nội dung sau:

- Nghiên cứu các kỹ thuật phân cụm trên mô hình sink tĩnh.
- Nghiên cứu các kỹ thuật định tuyến trên mô hình sink tĩnh và mô hình sink di động.
- Nghiên cứu kết hợp thuật toán phân cụm kết hợp áp dụng logic mờ và trạm thu phát di động để cải tiến thời gian sống của mạng cảm biến không dây.
- Đồng thời, để đánh giá được các giải thuật đề xuất, việc thử nghiệm và đánh giá hiệu quả của các giải thuật đề xuất được thực hiện bằng phương pháp mô phỏng.

Tuy nhiên, các nghiên cứu trong luận án chỉ tiến hành dựa trên các giao thức định tuyến trong mạng cảm biến không dây trên mô hình sink tĩnh và mô hình sink di động, kết hợp với các thuật toán định tuyến trong mạng để đạt được mục tiêu đề ra.

4. Phương pháp nghiên cứu

Trong quá trình nghiên cứu, mục tiêu của đề tài đã đạt được nhờ những phương pháp nghiên cứu sau:

Phương pháp luận: Tìm hiểu các đối tượng cần nghiên cứu từ các bài báo khoa học đã được xuất bản và đăng trên các tạp chí uy tín trên thế giới, thu thập thông tin về mạng cảm biến, kiến trúc WSN, kiến trúc node mạng cảm biến, các thuật toán định tuyến, các thuật toán phân cụm kết hợp với logic mờ trên mô hình sink tĩnh và sink di động.

Phương pháp mô phỏng: Tiến hành thiết kế, đề xuất thuật toán, mô phỏng kết quả thông qua phần mềm Matlab; phân tích kết quả đạt được với các thuật toán trước đó.

5. Các đóng góp chính của luận án

Với mục tiêu được đặt ra trong mục 2, luận án thực hiện nghiên cứu và thiết kế giải pháp dựa vào kỹ thuật phân cụm trên mô hình sink tĩnh và sink di động cùng với đánh giá giải pháp thông qua mô phỏng.

- Giải thuật phân cụm là một phương pháp tăng tính không đồng nhất của các nút cũng như dựa trên tỉ lệ giữa mức năng lượng còn lại của nút và năng lượng trung bình của toàn mạng trong vòng hiện tại của từng loại nút không đồng nhất để xây dựng xác suất cho việc lựa chọn một nút trở thành CH. Đề xuất này bổ sung thêm thành phần ước lượng khoảng cách giữa các nút xa BS và gần Sink hơn vào trong xác suất lựa chọn CH, cũng như bổ sung thêm thành phần ước lượng năng lượng còn lại trong ngưỡng lựa chọn CH. Theo đó, thuật toán đề xuất đã cải thiện giao tiếp giữa các nút không đồng nhất và kéo dài tuổi thọ của các nút để tối đa hoá truyền thông. Và đề xuất này đã được đăng trên tạp chí International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.9, No.4, July 2017 trong [CT2]
- Việc lựa chọn cụm chủ yếu làm tăng khả năng giao tiếp giữa các node trong mạng, giúp cho các node trong một cụm sẽ gửi thông tin đến cụm chủ nhanh hơn. Đồng thời, giải pháp đề xuất có khả năng chọn tuyến đường định tuyến tối ưu từ nút nguồn đến trạm gốc bằng cách ưu tiên năng lượng còn lại cao nhất, số bước nhảy tối thiểu, tải lưu lượng thấp nhất và là nút tốt thay vì chọn ngẫu nhiên nút lân cận theo hàm $f(n)$ mà không có trọng số ưu tiên như trong các công trình trước đó. Hiệu suất của phương thức đề xuất được đánh giá và so sánh với các phương pháp khác theo cùng tiêu chí. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả của phương thức tiếp cận mới trong việc tăng cường tuổi thọ mạng cảm biến không dây với các nút ngẫu nhiên phân tán. Đề xuất này đã được công bố trong các công trình [CT3, CT4].
- Việc truyền thông đa chặng cho thấy tiêu hao năng lượng không cân bằng trong các tầng khác nhau trong mạng, các nút xung quanh sink thì cạn kiệt năng lượng lâu hơn nhiều so với các nút ở xa. Điều này không chỉ gây ra những cảm biến gần sink ngưng hoạt động, mà còn làm cho sink không thể truy cập bởi các nút cảm biến khác. Trong trường hợp này, các dữ liệu cảm biến không thể gửi thành công đến sink, dữ liệu chuyển tiếp đến các bộ cảm biến gần sink bị tắc nghẽn theo dạng thắt nút cổ chai có thể làm cho mạng ngưng hoạt động, đây là một kết quả trực tiếp của việc có một Sink tĩnh (cố định). Do đó, để đạt được kết quả tiết kiệm năng lượng cao hơn, tính di động của trạm thu phát nhằm tăng tuổi thọ WSN được tiếp tục nghiên cứu để áp dụng các thuật toán Sink di động để nâng cao hiệu quả tiết kiệm năng lượng hơn nữa. Trong các công trình trước đó, việc lựa chọn CH được lựa chọn dựa vào năng lượng còn

lại, mỗi CH thu thập dữ liệu và gửi nó đến Sink di động. Các đề xuất được giới thiệu trong công trình [CT5, CT6, CT7] đều có cơ chế lựa chọn CH tốt hơn dựa trên kỹ thuật logic mờ, nhờ đó mà tăng cường với sink di động theo đường dẫn có thể dự đoán được cho cơ chế thu thập dữ liệu, xác định trạng thái chuyển động sink tốt hơn liên quan đến tuổi thọ của mạng. Tuy nhiên, đề xuất này cần cải thiện và tối ưu hơn khi xác định hướng di chuyển cho sink di động để tránh bỏ sót gói tin đối với các CHs vượt quá phạm vi cảm biến được thực hiện trong đề xuất [CT8, CT9].

6. Cấu trúc của luận án

Cấu trúc của luận án được trình bày gồm 4 chương.

- Phần mở đầu trình bày khái quát về vấn đề nghiên cứu, mục tiêu của luận án và phạm vi và đối tượng nghiên cứu, phương pháp nghiên cứu và đóng góp của luận án.
- Chương 1 trình bày tổng quan về mạng cảm biến không dây làm cơ sở lý thuyết của luận án.
- Phần tiếp theo chương 2 và chương 3 được trình bày các công trình liên quan đến kỹ thuật định tuyến phân cụm dựa trên mô hình sink tĩnh và mô hình sink động. Trong đó, trong chương 2 sẽ tập trung giải quyết việc tiết kiệm năng lượng dựa vào kỹ thuật phân cụm, giải pháp lựa chọn cụm chủ tối ưu dựa vào cách tìm đường đi ngắn nhất và logic mờ trên mô hình sink tĩnh. Chương 3 cũng sẽ sử dụng kỹ thuật phân cụm nhưng trên mô hình Sink di động để các cụm chủ chuyển dữ liệu đến Sink một cách nhanh nhất. Phần đánh giá hiệu suất của các đề xuất được thực hiện thông qua công cụ Matlab. Đồng thời, cuối mỗi chương là phần kết luận để tổng kết lại vấn đề đã được giải quyết và chưa giải quyết được của đề xuất.
- Cuối cùng là phần kết luận, tổng kết lại những đóng góp của luận án, đánh giá những mặt đạt được và chưa đạt được của luận án. Đồng thời, đề xuất hướng phát triển của nghiên cứu này.

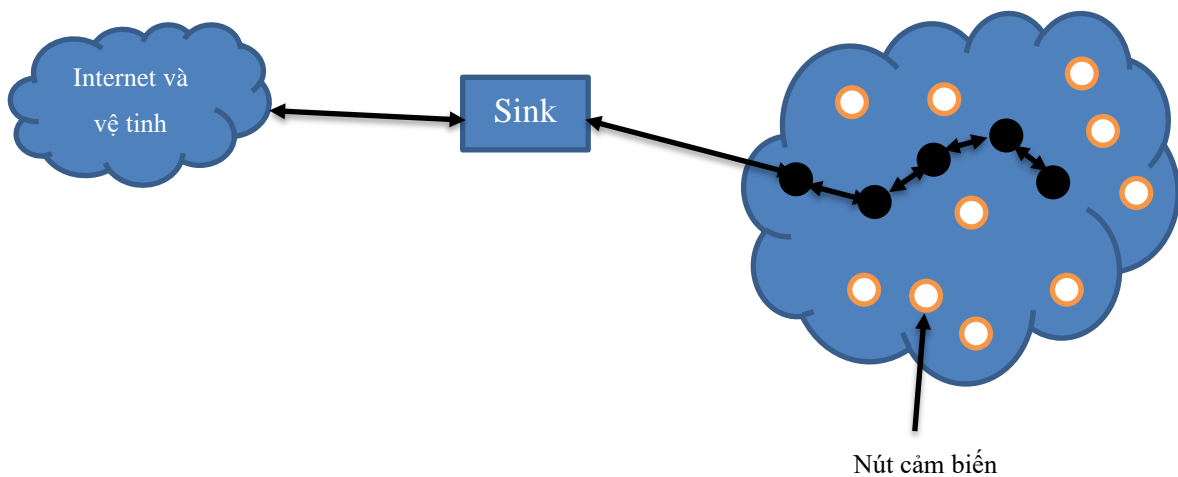
CHƯƠNG 1. TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

Để đưa ra được các giải pháp tiết kiệm năng lượng, việc hiểu và phân tích được những vấn đề quan trọng của mạng cảm biến không dây đã được nghiên cứu là bước đầu để tìm ra những giải pháp về việc tiết kiệm năng lượng.

1.1. Giới thiệu tổng quan về mạng cảm biến không dây

Hệ thống mạng không dây nói chung và mạng di động nói riêng có sự phát triển đặc biệt nhanh, mang tính cách mạng trong vài thập kỷ gần đây. Việc phát triển và ứng dụng công nghệ 5G (IoT - Internet vạn vật) được đánh giá không những là nhân tố thay đổi mà còn mang lại những cơ hội lớn trên nhiều lĩnh vực, từ kinh tế, xã hội đến quân sự đối với các quốc gia trên thế giới. Dựa trên nền tảng 5G sẽ tạo ra những ngành kinh tế mới, mang lại lợi nhuận lớn. Đồng thời, nó là chìa khóa để chúng ta đi vào thế giới Mạng lưới vạn vật kết nối Internet (IoT), trong đó các bộ cảm biến là những yếu tố quan trọng để trích xuất dữ liệu từ các đối tượng và từ môi trường [15] [16], [17], [18], [19]. Việc nghiên cứu những mạng cho giá thành rẻ tiêu thụ ít năng lượng, đa chức năng, dễ mở rộng và hoạt động một cách dễ dàng đang được tập trung nghiên cứu. Trong đó việc nghiên cứu về mạng cảm biến đang được phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là hệ thống mạng cảm biến không dây (Wireless Sensor Network)

Mạng cảm biến không dây WSN [20] là một mạng bao gồm nhiều nút cảm biến (sensor node) được trang bị các nút cảm biến có khả năng cảm biến môi trường như cảm biến độ ẩm, ánh sáng, nhiệt độ... và có khả năng giao tiếp không dây với các nút còn lại tạo thành một mạng cảm biến không dây phủ sóng một vùng nào đó nhằm giám sát, theo dõi và quản lý vùng đó. Thông tin thu được từ một nút cảm biến sẽ được truyền về một trạm gốc (sink-base station) thông qua các nút cảm biến khác, thông qua Internet rồi truyền về trung tâm dữ liệu để lưu trữ, phân tích và xử lý.



Hình 1-1: Một mạng cảm biến không dây điển hình

Mạng cảm biến không dây cho phép kết nối nhiều ứng dụng mới, và do yêu cầu về độ phức tạp của thiết bị thấp cùng với tiêu thụ năng lượng thấp, kéo dài thời gian sống của mạng, cần phải có sự cân bằng giữa khả năng truyền thông và khả năng xử lý tín hiệu, dữ liệu. Điều này thúc đẩy một nỗ lực rất lớn trong các hoạt động nghiên cứu, quá trình chuẩn hóa và đầu tư công nghiệp trong nhiều năm gần đây. Mạng cảm biến không dây thông thường có một số đặc điểm sau [21]:

Có khả năng tự tổ chức, yêu cầu ít hoặc không có sự can thiệp của con người.

Truyền thông không tin cậy và quảng bá trong phạm vi hẹp, sử dụng định tuyến đơn chặng hoặc đa chặng.

Triển khai dày đặc và có khả năng kết hợp giữa các nút cảm biến.

Cấu hình mạng thường xuyên thay đổi phụ thuộc vào sự di chuyển, hao mòn và hư hỏng ở các nút cảm biến.

Bị giới hạn về năng lượng, công suất phát, bộ nhớ và công suất tính toán.

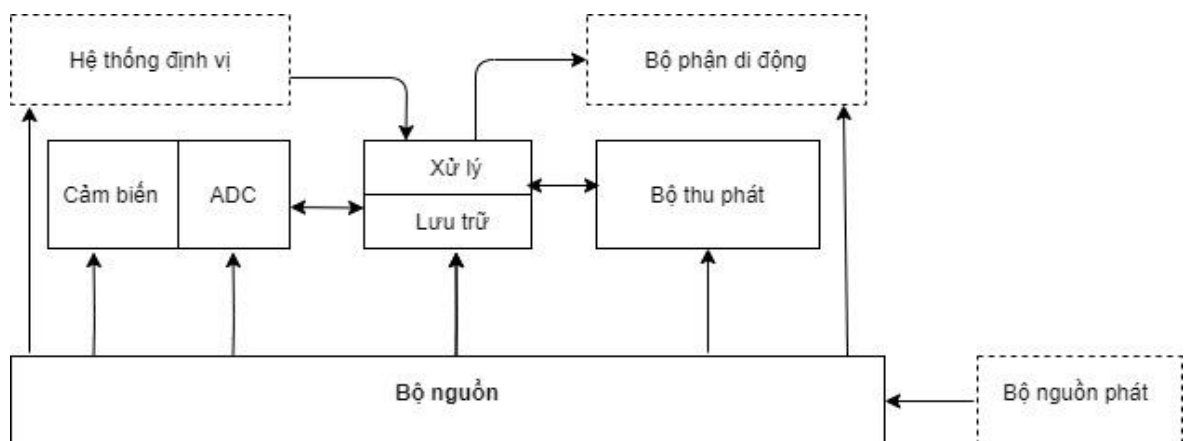
Chính những đặc điểm này đã đưa ra những yêu cầu đặc biệt trong thiết kế mạng cảm biến không dây. Một trong những hạn chế chính của WSNs có liên quan trực tiếp đến hiệu suất phần cứng, chẳng hạn như khả năng xử lý và pin, mà kết quả là lượng năng lượng tiêu thụ cao hơn và giảm thời gian sống của mạng. Tuy nhiên, có rất nhiều ứng dụng sử dụng WSN như các hoạt động cứu hộ thảm họa, phòng chống cháy rừng, các khu vực chiến tranh, kỹ thuật, y tế và nông nghiệp, ... nơi mà sự can thiệp trực tiếp của con người là tương đối có nguy hiểm cao hoặc đôi khi không thể thực hiện được. Trong nhiều trường hợp thay thế pin cũng không khả thi vì số lượng lớn nút cảm biến của WSN cũng như các hạn chế của khu vực triển khai. Nếu một nút tắt nguồn và mất kết nối có thể bị ảnh hưởng làm cho mục tiêu của mạng trở nên vô ích. Do tính chất hạn chế nguồn lực, khả năng sao lưu năng lượng rất hạn chế và

cách duy nhất để duy trì kết nối mạng là sử dụng năng lượng có hiệu quả để kéo dài tuổi thọ của toàn bộ mạng. Các ứng dụng sử dụng mạng cảm biến không dây sẽ phải có kết nối liên tục với khu vực mà chúng được triển khai mà không có bất kỳ sự cố nào nếu không sự tham gia của việc triển khai cảm biến sẽ không có hiệu quả. Để duy trì tuổi thọ của mạng, lựa chọn duy nhất là sử dụng hiệu quả năng lượng có sẵn ở mức tối đa.

Hiện tại, các nghiên cứu về WSN về việc thiết kế các thuật toán và giao thức hiệu quả về năng lượng và tính toán được nhiều nhà nghiên cứu trong lĩnh vực này quan tâm, phần này sẽ được trình bày chi tiết ở chương 2 và chương 3.

1.2. Cấu trúc của một nút mạng

Để xây dựng mạng cảm biến trước hết phải chế tạo và phát triển các nút cấu thành mạng - nút cảm biến. Các nút này phải thỏa mãn một số yêu cầu nhất định tùy theo ứng dụng: kích thước nhỏ, giá thành rẻ, hoạt động hiệu quả về năng lượng, có các thiết bị cảm biến chính xác có thể cảm nhận, thu thập các thông số môi trường, có khả năng tính toán và có bộ nhớ đủ để lưu trữ, và phải có khả năng thu phát sóng để truyền thông với các nút lân cận. Mỗi nút cảm ứng được cấu thành bởi 4 thành phần cơ bản, như ở hình 1.2, bộ cảm biến (sensing unit), bộ xử lý (processing unit), bộ thu phát (transceiver unit) và bộ nguồn (power unit). Ngoài ra có thể có thêm những thành phần khác tùy thuộc vào từng ứng dụng như là hệ thống định vị (location finding system), bộ nguồn phát (power generator) và bộ phận di động (mobilizer).



Hình 1-2. Các thành phần của một nút cảm biến

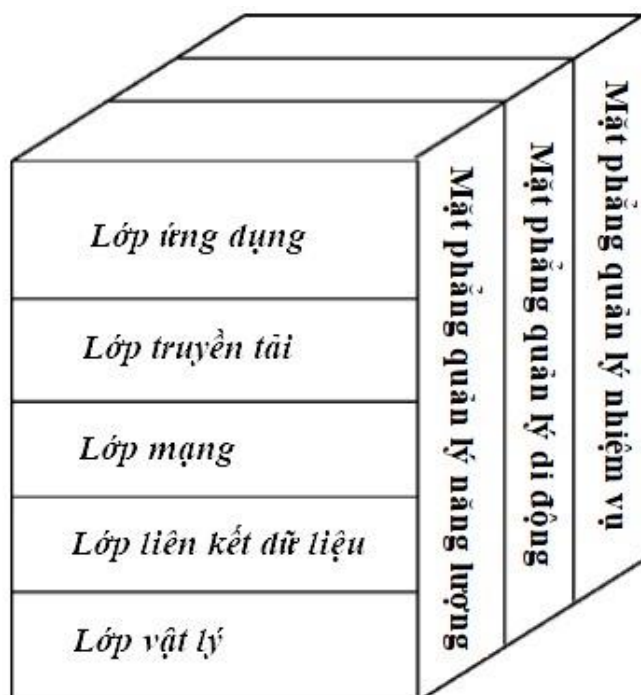
- Các bộ phận cảm biến (sensing units) bao gồm cảm biến và bộ chuyển đổi tương tự-số (ADC).
- Dựa trên những hiện tượng quan sát được, tín hiệu tương tự tạo ra bởi sensor được chuyển sang tín hiệu số bằng bộ ADC, sau đó được đưa vào bộ xử lý.

- Bộ xử lý thường được kết hợp với bộ lưu trữ (storage unit), quyết định các thủ tục làm cho các nút kết hợp với nhau để thực hiện các nhiệm vụ định sẵn.
- Phân thu phát vô tuyến kết nối các nút vào mạng. Chúng gửi và nhận các dữ liệu thu được từ chính nó hoặc các nút lân cận tới các nút khác hoặc tới sink.
- Một trong số các phần quan trọng nhất của một nút mạng cảm biến là bộ nguồn. Bộ nguồn có thể là một số loại pin. Để các nút có thời gian sống lâu thì bộ nguồn rất quan trọng, nó phải có khả năng nạp điện từ môi trường như là năng lượng ánh sáng mặt trời.

Ngoài ra cũng có những thành phần phụ khác phụ thuộc vào từng ứng dụng. Hầu hết các kỹ thuật định tuyến và các nhiệm vụ cảm ứng của mạng đều yêu cầu có độ chính xác cao về vị trí. Vì vậy cần phải có các bộ định vị. Các bộ phận di động, đôi lúc cần để dịch chuyển các nút cảm biến khi cần thiết để thực hiện các nhiệm vụ đã ấn định như cảm biến theo dõi sự chuyển động của vật nào đó. Tất cả những thành phần này cần phải phù hợp với kích cỡ từng module. Ngoài kích cỡ ra các nút cảm biến còn một số ràng buộc nghiêm ngặt khác, như là phải tiêu thụ rất ít năng lượng, hoạt động ở mật độ cao, có giá thành thấp, có thể tự hoạt động, và thích ứng với môi trường

1.3. Kiến trúc giao thức mạng

Trong mạng cảm biến, dữ liệu sau khi được thu thập bởi các nút sẽ được định tuyến gửi đến Sink. Sink sẽ gửi dữ liệu đến người dùng đầu cuối thông qua internet hay vệ tinh. Kiến trúc giao thức được sử dụng bởi nút gốc và các nút cảm biến được trình bày trong hình 1.3 [22]



Hình 1-3. Kiến trúc giao thức của mạng cảm biến.

Kiến trúc giao thức này kết hợp giữa công suất và chọn đường, kết hợp số liệu với các giao thức mạng, sử dụng công suất hiệu quả với môi trường vô tuyến và sự tương tác giữa các nút cảm biến. Kiến trúc giao thức bao gồm lớp vật lý, lớp liên kết dữ liệu, lớp mạng, lớp truyền tải, lớp ứng dụng, mặt phẳng quản lý năng lượng, mặt phẳng quản lý di động và mặt phẳng quản lý nhiệm vụ.

- *Lớp ứng dụng*: Tùy vào từng nhiệm vụ của mạng cảm biến mà các phần mềm ứng dụng khác nhau được xây dựng và sử dụng trong lớp ứng dụng. Trong lớp ứng dụng có một số giao thức quan trọng như giao thức quản lí mạng sensor, giao thức quảng bá dữ liệu và chỉ định nhiệm vụ cho từng sensor, giao thức phân phối dữ liệu và truy vấn cảm biến.

- *Lớp truyền tải*: Lớp truyền tải giúp duy trì luồng số liệu nếu ứng dụng mạng cảm biến yêu cầu. Lớp truyền tải đặc biệt cần khi mạng cảm biến kết nối với mạng bên ngoài, hay kết nối với người dùng qua internet. Giao thức lớp vận chuyển giữa sink với người dùng (nút quản lý nhiệm vụ) thì có thể là giao thức UDP hay TCP thông qua internet hoặc vệ tinh. Còn giao tiếp giữa sink và các nút cảm biến cần các giao thức kiểu như UDP vì các nút cảm biến bị hạn chế về bộ nhớ. Hơn nữa các giao thức này còn phải tính đến sự tiêu thụ công suất, tính mở rộng và định tuyến tập trung dữ liệu.

- *Lớp mạng (Network Layer)*: Lớp này chủ yếu dùng để định tuyến số liệu được cung cấp bởi lớp truyền tải; tìm ra đường đi tốt nhất trong mạng cảm biến. Thực tế cho thấy nhiệm vụ này vô cùng khó khăn vì mật độ số lượng các nút cảm biến trong mạng rất dày đặc, hơn nữa bị hạn chế về nguồn năng lượng. Do đó, tùy theo cấu trúc của mạng mà ta có định tuyến ngang hàng, định tuyến phân cấp và định tuyến dựa theo vị trí. Khi triển khai thì chúng được chia thành 05 loại định tuyến rõ nét: định tuyến đa chặng (multipath based), định tuyến theo truy vấn (query based), định tuyến thỏa thuận (negotiation based), định tuyến theo chất lượng dịch vụ (QoS: Quality of Service), định tuyến kết hợp (coherent based).

- *Lớp liên kết dữ liệu (Data link Layer)*: Do môi trường bị nhiễu và các nút cảm biến có thể di động được, giao thức điều khiển truy nhập môi trường (MAC Media Access Control) phải được xem xét vấn đề về năng lượng và tối thiểu hóa sự va chạm trong việc phát quảng bá với các nút lân cận. Trong vài năm qua, một số giao thức lớp kiểm soát truy cập (MAC) đã được đề xuất để cải thiện hiệu suất của mạng cảm biến. Các giao thức MAC về cơ bản kéo dài thời gian sử dụng mạng bằng

cách bật và tắt các thành phần nút cảm biến như bộ thu phát vô tuyến. Đồng thời, cung cấp các hoạt động cơ bản và trợ giúp về giao diện tự động thay đổi tham số của giao thức để phù hợp với môi trường giao tiếp khác nhau.

- Lớp vật lý (*Physical Layer*): Có chức năng lựa chọn tần số, phát tần số sóng mang, phát hiện tín hiệu, điều chế và mã hóa tính hiệu; các băng tần 686 MHz, 915MHz và 2.45GHz thường được sử dụng trong mạng cảm biến [23].

Ngoài ra, các mặt phẳng quản lý năng lượng, quản lý di động và quản lý nhiệm vụ sẽ giám sát việc sử dụng năng lượng, sự di động và thực hiện nhiệm vụ giữa các nút cảm biến. Những phần này giúp các nút cảm biến phối hợp nhiệm vụ cảm biến và tiêu thụ công suất tổng thể thấp hơn.

Mặt phẳng quản lý năng lượng điều khiển việc sử dụng năng lượng của nút cảm biến. Ví dụ, nút cảm biến có thể tắt khối thu của nó sau khi thu được một bản tin từ một nút lân cận. Điều này giúp tránh tạo ra các bản tin giống nhau. Cũng vậy, khi mức năng lượng của nút cảm biến thấp, nút cảm biến phát quảng bá tới các nút lân cận để thông báo nó có mức năng lượng thấp và không thể tham gia vào các bản tin chọn đường. Năng lượng còn lại sẽ được dành riêng cho nhiệm vụ cảm biến.

Mặt phẳng quản lý di động phát hiện và ghi lại sự di chuyển của các nút cảm biến để duy trì tuyến tới người sử dụng và các nút cảm biến có thể lưu vết của các nút cảm biến lân cận. Nhờ xác định được các nút cảm biến lân cận, các nút cảm biến có thể cân bằng giữa công suất của nó và nhiệm vụ thực hiện.

Mặt phẳng quản lý nhiệm vụ dùng để làm cân bằng và lên kế hoạch các nhiệm vụ cảm biến trong một vùng xác định. Không phải tất cả các nút cảm biến trong vùng đó đều phải thực hiện nhiệm vụ cảm biến tại cùng một thời điểm. Kết quả là một số nút cảm biến thực hiện nhiệm vụ nhiều hơn các nút khác tùy theo mức năng lượng của nó.

Những mặt phẳng quản lý này là cần thiết để các nút cảm biến có thể làm việc cùng nhau theo một cách thức sử dụng hiệu quả năng lượng, chọn đường số liệu trong mạng cảm biến di động và phân chia tài nguyên giữa các nút cảm biến.

Ngoài ra, còn có các giao thức đặc trưng hỗ trợ cho mạng WSN: giao thức định vị (Location protocol), giao thức đồng bộ thời gian (Time synchronization protocol), giao thức điều khiển cấu hình mạng (Topology control). Vấn đề thời gian rất quan trọng trong nhiều ứng dụng và giao thức trong mạng cảm ứng. Giao thức đồng bộ thời gian đảm bảo cho mạng hoạt động đồng bộ, giảm các sai lệch về thời

gian, hoạt động hiệu quả và báo cáo kết quả chính xác về thời gian. Còn việc điều khiển cấu hình mạng cũng rất quan trọng. Như đã trình bày trong các phần trên, mạng WSN có thể triển khai ngẫu nhiên, mật độ các nút rất dày đặc nếu không có cơ chế điều khiển topo tốt các nút sẽ cản trở nhau trong việc giao tiếp, giao tiếp trực tiếp giữa các nút sẽ làm giảm công suất truyền dẫn. Hơn nữa, khi các nút cảm biến mà di chuyển thì cần phải điều khiển lại cấu hình và định tuyến lại.

1.4. Các thách thức và trở ngại đối với WSN

Ngày nay mạng cảm biến không dây được ứng dụng rộng rãi trong hầu hết các lĩnh vực nhờ những tính năng ưu việt mà chúng đem lại cho chúng ta, tuy nhiên bên cạnh đó mạng cảm biến không dây vẫn tồn tại những hạn chế mà nếu chúng ta nắm bắt được những hạn chế này sẽ khắc phục và hạn chế tối đa những trở ngại này. Sau đây là một số vấn đề thiết kế cũng như là thách thức trong mạng cảm biến không dây.

Khả năng chịu lỗi

Các nút cảm biến dễ bị tấn công và thường xuyên triển khai trong môi trường nguy hiểm. Các nút có thể bị lỗi do các vấn đề phần cứng hoặc thiệt hại vật lý hoặc cạn kiệt nguồn cung cấp năng lượng. Các giao thức được triển khai trong một mạng cảm biến không dây sẽ có thể phát hiện các lỗi này càng sớm càng tốt và đủ mạnh để xử lý một số lượng lớn các lỗi trong khi vẫn duy trì được toàn bộ chức năng của mạng. Điều này đặc biệt quan trọng với thiết kế giao thức định tuyến, đảm bảo rằng các đường dẫn thay thế có sẵn để định tuyến lại các gói tin. Môi trường triển khai khác nhau tạo ra các yêu cầu khả năng chịu lỗi khác nhau.

Khả năng mở rộng

Các mạng cảm biến không dây luôn thay đổi về quy mô từ nhiều nút tới hàng trăm nghìn nút. Ngoài ra, mật độ triển khai cũng rất khác nhau. Để thu thập dữ liệu có độ phân giải cao, mật độ nút có thể đạt đến mức mà một nút có hàng nghìn nút lân cận trong phạm vi truyền của chúng. Các giao thức được triển khai trong các mạng cảm biến không dây cần phải có khả năng mở rộng đến những mức này và có thể duy trì hiệu suất đầy đủ.

Chi phí sản xuất

Bởi vì nhiều mô hình triển khai coi các nút cảm biến là thiết bị dùng một lần, các mạng cảm biến không dây có thể cạnh tranh với các phương pháp tiếp cận thu thập thông tin truyền thống chỉ khi các nút cảm biến được sản xuất với giá rất rẻ. Giá mục tiêu dự kiến cho một nút cảm biến nên lý tưởng là ít hơn 1\$.

Hạn chế của phần cứng

Tối thiểu mỗi nút cảm biến cần phải có một bộ cảm biến, một đơn vị xử lý, một bộ truyền tải, và một nguồn cung cấp điện. Theo tùy chọn, các nút có thể có nhiều bộ cảm biến gắn sẵn hoặc các thiết bị bổ sung như hệ thống định vị để có thể định tuyến theo vị trí. Tuy nhiên, mỗi chức năng bổ sung đi kèm với chi phí bổ sung và làm tăng tiêu thụ điện năng và kích thước vật lý của nút. Do đó, các chức năng bổ sung cần được cân bằng với các yêu cầu về chi phí và điện năng thấp.

Cấu hình mạng cảm biến

Mặc dù WSN đã phát triển theo nhiều khía cạnh, chúng vẫn là mạng có các nguồn lực hạn chế về năng lượng, khả năng tính toán, bộ nhớ và khả năng truyền thông. Trong những hạn chế này, tiêu thụ năng lượng là điều quan trọng hàng đầu, được chứng minh bởi số lượng lớn các thuật toán, kỹ thuật và các giao thức đã được phát triển để tiết kiệm năng lượng và do đó kéo dài tuổi thọ của mạng. Bảo trì cấu hình là một trong những vấn đề quan trọng nhất được nghiên cứu để giảm tiêu thụ năng lượng trong các mạng cảm biến không dây.

Sink di động

Trong các ứng dụng WSN tập trung, dữ liệu cảm biến được chuyển tiếp đến một trạm cơ sở, nơi nó có thể được xử lý bằng các phương pháp sử dụng nhiều tài nguyên. Định tuyến và tổng hợp dữ liệu có thể gây ra nhiều chi phí. Một số WSN sử dụng các trạm thu phát di động [24], đi qua vùng cảm biến để thu thập dữ liệu, hoặc định vị mình sao cho số luồng truyền đi được giảm thiểu cho các nút cảm biến.

Tiêu thụ năng lượng

Nhiều thách thức của mạng cảm biến xoay quanh các nguồn năng lượng hạn chế. Kích thước của các nút giới hạn kích thước của pin. Thiết kế phần mềm và phần cứng cần xem xét cẩn thận các vấn đề sử dụng năng lượng hiệu quả, tối đa hóa tuổi thọ của mạng. Thời gian sống bị ảnh hưởng trực tiếp do độ bền của pin của bộ cảm biến. Đạt được mức tiêu thụ năng lượng thống nhất trong mạng sẽ kéo dài tuổi thọ mạng, vì nó ngăn ngừa chết sớm các khu vực cụ thể của mạng do các điểm nóng có thể gây ra sự gián đoạn cấu trúc và sự kết nối. Sink di động sẽ giảm bớt các điểm nóng rõ ràng vì các khu vực tiêu thụ năng lượng cao xung quanh sink. Tuy nhiên, những thách thức liên quan đến việc định tuyến sink di động có thể gây ra tiêu thụ năng lượng trong mạng tăng lên. Nhu cầu quảng bá thường xuyên vị trí sink (hoặc vị trí của nó trong cấu trúc liên kết) vào mạng lưới là một sự tiêu tốn năng lượng có thể xảy ra. Một giao thức định tuyến hiệu quả nên giảm thiểu chi phí của hoạt động này để bảo vệ tiết kiệm năng lượng do sử dụng sink di động.

Độ tin cậy

Độ tin cậy của giao thức định tuyến phụ thuộc vào tỷ lệ phân phối của các gói dữ liệu đến Sink. Mặc dù tránh những tổn thất gói tin nói chung nằm trong phạm vi của giao thức MAC (Medium Access Control), Sink di động đặt ra một thách thức về độ tin cậy mà giao thức định tuyến phải giải quyết. Các gói dữ liệu sẽ mất khi được chuyển tiếp hướng tới vị trí Sink đã lỗi thời vì Sink đã di động sang vị trí khác. Các giao thức định tuyến Sink di động thành công phải sử dụng cơ chế để tránh các gói dữ liệu bị mất. Một vấn đề quan trọng khác về độ tin cậy là khả năng thay đổi tải đột ngột theo các đường truyền dữ liệu khi sink đến vị trí mới. Các cấu hình lại tuyến đường có thể gây ra sự dao động đáng tin cậy trong những khoảng thời gian nhỏ dẫn đến tổn thất dữ liệu bất ngờ. Cuối cùng, các hành động nên được thực hiện để điều chỉnh các tổn thất gói dữ liệu có thể cản trở hoạt động của giao thức.

Độ trễ

Thời gian giữa việc tạo ra dữ liệu cảm biến và sự chuyển tiếp dữ liệu tới sink được định nghĩa là độ trễ. Dữ liệu cảm biến được tạo ra trong WSN có thể thay đổi độ trễ tùy thuộc vào điều kiện mạng (tắc nghẽn, xếp hàng chậm trễ, truyền lại do lỗi kênh ...) và khoảng cách tới sink. Sink di động đưa ra một nguồn trễ khác trong trường hợp vị trí sink không được biết đến các cảm biến tạo ra dữ liệu hoặc vị trí đã biết của sink đã lỗi thời. Trong những trường hợp này, cảm biến phải có được vị trí của sink hoặc dữ liệu phải được gửi qua một tuyến đường gián tiếp tương ứng. Một giao thức định tuyến hiệu quả phải cung cấp một cơ chế độ trễ thấp để có được vị trí sink bất cứ khi nào cần thiết bởi một cảm biến. Đặc biệt là trong các ứng dụng thời gian thực, giảm thiểu độ trễ có tầm quan trọng tối đa.

1.5. Ứng dụng của mạng cảm biến không dây

Tiêu chuẩn tần số đang được áp dụng cho WSNs là IEEE 802.15.4. Hoạt động tại tần số 2.4GHz trong công nghiệp, khoa học và y học, cung cấp đường truyền dữ liệu với tốc độ lên đến 250Kbps ở khoảng cách 30 đến 200 feet. Zigbee/IEEE 802.15.4 được thiết kế để bổ sung cho các công nghệ không dây như là Bluetooth, Wifi, Ultrawideband (UWB), mục đích phục vụ cho các ứng dụng thương mại. [25]

Với sự ra đời của tiêu chuẩn Zigbee/IEEE 802.15.4, các hệ thống dần phát triển theo hướng tiêu chuẩn, cho phép các cảm biến truyền thông tin qua kênh truyền được tiêu chuẩn hóa. Nhờ khả năng truyền nhận xa, tiêu thụ năng lượng thấp, dữ liệu truyền ổn định, nên hiện nay ZigBee được sử dụng trong các lĩnh vực IoT, đặc biệt là trong thiết kế hệ thống nhà thông minh

Phục vụ trong sản xuất nông nghiệp

Trong ngành nông nghiệp truyền thống, người nông dân phải trực tiếp kiểm tra tình trạng cây trồng, dựa vào kinh nghiệm để xác định thời điểm canh tác và sản xuất, khi phát hiện sâu bệnh, người nông dân sẽ tiến hành phun thuốc bảo vệ thực vật, kiểm tra tình trạng nước của cây trồng...

Mạng cảm biến không dây được xây dựng nhằm phục vụ yêu cầu trong nông nghiệp [26], thông qua đó người nông dân có thể thu thập các thông số trong sản xuất nông nghiệp như nhiệt độ, không khí, độ ẩm, ánh sáng, độ ẩm của đất, hàm lượng PH... các thông tin này được thu thập và truyền đến trạm quản lý để xử lý và phân tích. Từ đó người nông dân có thể đưa ra quyết định thời điểm sản xuất nhằm đạt hiệu quả cao nhất.

Giám sát và điều khiển công nghiệp

Mạng cảm biến không dây được ứng dụng trong lĩnh vực này chủ yếu phục vụ việc thu thập thông tin, giám sát trạng thái hoạt động của các hệ thống như trạng thái các van, các thiết bị, nhiệt độ, áp suất... Bên cạnh đó, mạng cảm biến không dây cũng thể hiện tính năng vượt trội khi được ứng dụng vào hệ thống điều khiển ánh sáng tại các tòa nhà lớn hay sử dụng mạng cảm biến để phát hiện ra các chất độc hại, vật liệu nguy hiểm, cảnh báo các khe hở hoặc tràn các chất hóa học; giám sát và điều khiển cơ cấu quay hoặc chuyển động trong không gian như máy bay, vật thể bay... truyền tín hiệu thu thập được về trạm quản lý; đưa ra cảnh báo cho các đơn vị chức năng xử lý khắc phục

Xây dựng nhà thông minh

SmartHome là thuật ngữ nhằm chỉ ngôi nhà được trang bị các thiết bị hoàn toàn tự động mà không cần bất kỳ sự can thiệp của người dùng dưới bất kỳ hình thức nào. Với công nghệ ngày càng phát triển, đã có các giải pháp thông minh và tiên tiến trong lĩnh vực tự động hóa. Dựa vào thiết bị cảm biến, công nghệ này được ứng dụng rộng rãi tại các nước đang phát triển [16] như sử dụng các thiết bị cảm biến không dây để điều khiển tivi, máy nghe nhạc, âm thanh, các cánh cửa, bóng đèn, ổ khóa... Tính năng nổi trội của SmartHome là sự kết hợp của nhiều dịch vụ như hệ thống âm thanh tự động tắt khi có chuông điện thoại reo lên hoặc đưa ra các cảnh báo khi phát hiện đồ dùng trong nhà bị hỏng; ngoài ra, chủ ngôi nhà chỉ cần nhấn nút có thể khóa tất cả các cửa hay tắt tất cả các đèn trong nhà sau khi thực thi lệnh hệ thống sẽ trả lại thông báo hoàn thành nhiệm vụ.

Giám sát môi trường

WSN được ứng dụng trong việc giám sát sự di chuyển của các loài chim, cá, con trùng; kiểm tra điều kiện môi trường ảnh hưởng đến trồng trọt và chăn nuôi; trong phạm vi rộng hơn WSN [27] có thể được dùng để giám sát các hoạt động trên mặt đất; thám hiểm các hành tinh. Cảnh báo các thảm họa thiên tai như lũ lụt, động đất, sóng thần, sự phun trào của các núi lửa, thảm họa cháy rừng. Ngoài ra, WSN còn được ứng dụng trong việc giám sát sự ô nhiễm không khí, theo dõi chất lượng nước để từ đó đưa ra các cảnh báo, chỉ số không khí giúp con người có cuộc sống lành mạnh.

Theo dõi tình trạng sức khỏe

Mỗi bệnh nhân được găng một nút cảm biến [1] có nhiệm vụ theo dõi nhịp đập của tim, áp suất máu trong cơ thể, giám sát hàm lượng đường trong máu bệnh nhân bị tiểu đường hoặc các bệnh nhân bị rối loạn mãn tính... các bác sĩ dựa vào thông tin mà cảm biến thu thập được để chuẩn đoán và điều trị.

Triển khai trong quân sự

Với các tính năng nổi trội WSN có khả năng trinh sát chiến trường, tìm kiếm mục tiêu, cảnh báo và phát hiện vũ khí hóa học, vũ khí hạt nhân, phát hiện ra kẻ tình nghi...[28]. Ngoài ra, WSN được sử dụng để định vị mục tiêu tấn công như máy bay không người lái, xe không người lái, trang bị thêm radar, micro âm thanh, cảm biến từ trường giúp giảm thiểu tối đa số lượng thiệt hại khi có chiến sự xảy ra.

Ứng dụng trong cảnh báo cháy rừng

Nhằm theo dõi sự thay đổi của nhiệt độ và độ ẩm không khí để từ đó đưa ra các cảnh báo hay dự đoán sẽ xảy ra thảm họa thiên nhiên. Một nghiên cứu về ứng dụng mạng cảm biến không dây trong việc cảnh báo cháy rừng được giới thiệu trong [2]; với giải pháp này đã giúp phát hiện các đám cháy, hạn chế tác hại làm ảnh hưởng đến sức khỏe của con người.

Trong phần này, tổng quan về mạng cảm biến không dây đã được trình bày chi tiết, phần tiếp theo sẽ phân tích ý nghĩa của các thuật toán định tuyến đã sử dụng trong các đề xuất của luận án. Đồng thời, để tiếp cận và đề xuất các thuật toán giải quyết các vấn đề, việc phân tích các vấn đề lý thuyết liên quan đến định tuyến trong mạng cảm biến không dây là đóng vai trò quan trọng trong công việc nghiên cứu này/.

1.6. Các tiêu chí đánh giá hiệu suất

Các chỉ số hiệu suất được sử dụng để phân tích và kiểm tra mạng theo các thông số xác định để kiểm tra cách xử lý của các kịch bản mô phỏng. Nó cho thấy tỉ lệ cải tiến của các giao thức đề xuất so với các giao thức khác. Hầu hết các kiểm tra đánh giá các giao thức dựa trên cụm trong WSN tập trung chủ yếu vào đánh giá số nút còn đang hoạt động, năng lượng còn lại trong mạng và năng lượng tiêu hao trung bình.

- Thời gian sống của mạng (tuổi thọ mạng): Số vòng từ khi khởi tạo mạng cho đến khi tất cả các nút chết.
- Số nút còn sống (Number of alive nodes): Số nút còn đang hoạt động tại thời điểm khảo sát.
- Năng lượng còn lại trong mạng (Residual energy): Năng lượng còn lại của mạng tại thời điểm khảo sát.
- Năng lượng trung bình của mạng (Average energy): Năng lượng trung bình của mạng tại thời điểm khảo sát.

1.7. Định tuyến trong mạng cảm biến không dây

Định tuyến đóng vai trò quan trọng trong mạng cảm biến không dây [4]. Trong các mạng cảm biến nhỏ, nơi các nút cảm biến và một sink nằm gần nhau, truyền thông trực tiếp (single-hop) giữa tất cả các nút cảm biến và sink có thể là khả thi. Tuy nhiên, hầu hết các ứng dụng WSN đòi hỏi một số lượng lớn các nút cảm biến bao phủ các khu vực rộng lớn, đòi hỏi cách tiếp cận truyền thông gián tiếp đa chặng (multi-hop) [29], [30]. Tức là, các nút cảm biến không chỉ phải tạo ra và phổ biến thông tin của riêng mình mà còn phục vụ như các role hoặc các nút chuyển tiếp cho các nút cảm biến khác. Quá trình thiết lập các đường dẫn từ nguồn đến một sink thông qua một hoặc nhiều role được gọi là định tuyến. Khi các nút của WSN được triển khai theo cách xác định (nghĩa là chúng được đặt ở các vị trí được xác định trước), sự giao tiếp giữa nút và sink có thể thực hiện bằng các tuyến đường được thiết lập trước. Tuy nhiên, khi các nút được triển khai theo cách ngẫu nhiên (nghĩa là chúng được phân tán vào môi trường ngẫu nhiên), kết quả là cấu hình mạng không thể đoán trước. Trong trường hợp này, các nút này cần phải tự tổ chức, nghĩa là chúng phải hợp tác để xác định vị trí của chúng, xác định những nút lân cận và khám phá các đường dẫn đến sink [31], [32].

Với những đặc điểm trên, tất cả các giao thức định tuyến được đề xuất cho mạng cảm biến không dây được chia theo Sink cố định và Sink di động và có thể chia thành những loại chính trong Bảng 1-1 sau:

Bảng 1-1. Phân loại các giao thức định tuyến trong mạng cảm biến không dây

STT	Loại Sink	Loại giao thức	Những giao thức
1	Sink cố định	Những giao thức định tuyến phân cấp (Hierarchical protocols)	LEACH, PEGASIS
2	Sink cố định	Những giao thức định tuyến không đồng nhất	SEP, DEEC, DDEEC, TDEEC, EDEEC, EDDEEC, BEENISH
3	Sink cố định	Giao thức định tuyến trung tâm dữ liệu	SPIN, Truyền tin trực tiếp (Directed Diffusion),
4	Sink cố định	Những giao thức dựa trên vị trí (Location-based protocols)	GAF, GEAR
5	Sink di động	Những giao thức định tuyến dựa trên trạm di động.	MSA, MECA

Một trong những giải pháp sử dụng năng lượng hiệu quả trong định tuyến đó là sử dụng định tuyến phân cấp với kết cụm [33], [34] ngoài việc hỗ trợ khả năng mở rộng mạng, các giao thức định tuyến kết cụm có rất nhiều lợi thế. Nó có thể tự thiết lập các tuyến đường cần thiết trong cụm do đó làm giảm kích thước tuyến đường phải lưu trong bảng định tuyến ở các nút [35] ngoài ra kết cụm còn làm giảm băng thông bởi vì nó giới hạn trong việc truyền thông tin giữa các cụm chủ với nhau và tránh các thông điệp dư thừa giữa các nút cảm biến, hơn nữa có thể ổn định cấu trúc liên mạng, do đó làm giảm chi phí bảo trì mô hình mạng. Đồng thời các cảm biến chỉ có kết nối tới cụm chủ của chúng do đó sẽ không bị ảnh hưởng bởi những thay đổi trong các cụm chủ khác [14]. Mặt khác, cụm chủ còn có thể thực hiện lịch trình trong cụm, nâng cao khả năng hoạt động và kéo dài thời gian hoạt động các nút như lập bảng TDMA để truyền trong cụm để các nút có thể chuyển đổi giữa thời gian hoạt động và thời gian nghỉ nhằm làm giảm việc tiêu thụ năng lượng đồng thời việc lập lịch trình truyền dữ liệu theo thứ tự, quá trình truyền và nhận dữ liệu của các nút được giới hạn có thể tránh được xung đột.

Trong các nghiên cứu hiện tại, kết cụm là phương pháp tiết kiệm năng lượng hiệu quả trong WSN và là các thuật toán kết cụm hiệu quả năng lượng EE (Energy-Efficient), trong đó LEACH [36] là giao thức đầu tiên của phương pháp này. Trong đó, một CH thu thập dữ liệu cảm biến từ các thành viên của nó và gửi chúng đến Sink. Hoạt động tập trung theo cách như vậy các nút phải sử dụng phạm vi truyền tối thiểu để tiết kiệm năng lượng. Điều này có thể được thực hiện bằng cách di chuyển Sink đến gần các nút để thu thập dữ liệu cảm biến. Mục tiêu là làm sao để các nút tiêu thụ năng lượng tối thiểu để duy trì được lâu hơn, từ đó có thể kéo dài thời gian sống của WSN.

Bài toán đặt ra cho đề tài là nghiên cứu các giải thuật và giao thức trong định tuyến trên để cân bằng năng lượng trong mạng cảm biến không dây nhằm đề xuất các hướng giải quyết, khắc phục các vấn đề còn tồn tại của các giải thuật công bố trước đó.

1.8. Kết luận chương

Trong chương này, NCS đã trình bày tổng quan về mạng cảm biến không dây và định tuyến trong mạng cảm biến không dây. Trong phần chương 2, các thuật toán định tuyến phân cụm trên mô hình sink tĩnh kết hợp với logic mờ đã được nghiên cứu và đưa ra được các giải pháp tối ưu năng lượng trong mạng cảm biến không dây.

CHƯƠNG 2. GIAO THỨC ĐỊNH TUYẾN PHÂN CỤM HIỆU QUẢ DỰA TRÊN SINK TĨNH

Phân cụm được xem là một trong những kỹ thuật định tuyến hiệu quả trong mạng cảm biến không dây. Việc truyền dữ liệu từ node đến cụm chủ để gửi dữ liệu đến sink làm thế nào tối ưu nhất trong một vùng mạng cảm biến. Để chuyển tiếp thông tin từ nhiều nút cảm biến đến một sink một cách hiệu quả, thì kỹ thuật định tuyến phân cụm thường được sử dụng. Một cụm dựa trên định tuyến nhằm mục đích tạo thành một hệ thống phân cấp mạng định tuyến dựa trên một số cụm. Tiết kiệm năng lượng hay sử dụng năng lượng hiệu quả trong việc giao tiếp giữa các node trong mạng và giữa các cụm chủ dựa trên kỹ thuật phân cụm sẽ được trình bày trong các đề xuất của chương này.

2.1. Kỹ thuật định tuyến phân cụm trong mạng cảm biến không dây

2.1.1 Giới thiệu

Các nút cảm biến được phân vào cụm có thể đơn giản hóa các phương pháp sử dụng trong việc xác định thông tin liên lạc của chúng, từ đó có thể hỗ trợ thích nghi với các vấn đề về khả năng mở rộng mạng lưới. Mỗi cụm có một nút đặc biệt gọi là Cụm chủ (CH) và một số nút thành viên trong cụm. Một CH có nhiệm vụ thu thập các dữ liệu của các nút thành viên trong cụm tương ứng. Điều này sẽ cho phép các dữ liệu của mỗi nút trong cụm chỉ liên lạc với các nút chủ cụm trong cụm tương ứng của nó chứ không phải thông qua toàn bộ mạng [37], [38]. Mỗi CH có thông tin về các nút thành viên trong cụm tương ứng của nó và khoảng cách với các CH khác mà nó có thể sử dụng để cung cấp dữ liệu đến các SINK. Mặt khác, mỗi nút thành viên chỉ cần biết về nút chủ riêng của nó.

2.1.2 Ưu Điểm Của Kỹ Thuật Phân Cụm

Một CH có thể thực hiện tập hợp dữ liệu để loại bỏ thông tin dư thừa bằng cách sử dụng các chức năng như tối đa, tối thiểu và trung bình. Điều này cho phép phân biệt giữa dữ liệu cảm biến thô và dữ liệu hữu ích. Nó góp phần làm giảm nhu cầu băng thông, kết quả là mạng sử dụng băng thông tốt hơn [39]. Bằng cách nhận biết rằng năng lượng tiêu thụ trong tính toán thường ít hơn so với sử dụng để liên lạc, tập hợp dữ liệu cũng có thể làm giảm tổng mức tiêu thụ năng lượng trong mạng và mở rộng thời gian sống của mạng lưới.

Vì chỉ có các CH thực hiện định tuyến, sẽ có ít trao đổi thông tin định tuyến giữa các nút trong mạng. Các tính toán để xác định đường dẫn định tuyến để cung cấp dữ liệu đến SINK được giảm. Ngoài ra, các kích thước của bảng định tuyến cũng như các chi phí định tuyến được giảm. Điều này có thể hạn chế việc tiêu thụ năng lượng của mạng và do đó kéo dài tuổi thọ mạng.

2.1.3 Các vấn đề được xem xét khi xây dựng thuật toán dựa trên phân cụm

Thuật toán dựa trên phân cụm [40] có thể được thực hiện theo cách phân tán hoặc theo cách tập trung. Một thuật toán phân tán không đòi hỏi một điểm trung tâm để được thực thi. Nhiệm vụ của việc cấu hình mạng được chia sẻ giữa tất cả các nút trong mạng. Các nút chỉ sử dụng thông tin cục bộ để đưa ra các quyết định về mạng. Điều này có thể là thuận lợi vì không cần phải giữ thông tin toàn mạng. Tuy nhiên, các nút đòi hỏi tài nguyên tính toán để đưa ra các quyết định về cấu hình mạng. Đối với một thuật toán tập trung, SINK thường được sử dụng làm điểm trung tâm để xác định mạng. Điều này là do SINK không có vấn đề về năng lượng và khả năng tính toán hạn chế, và do đó, nó thường được sử dụng để thực hiện các hoạt động đòi hỏi một lượng lớn năng lượng. Thật vậy, sử dụng một thuật toán tập trung có thể cung cấp một sự kiểm soát tốt hơn của việc định tuyến mạng. Cho dù thuật toán phân cụm theo phân tán hoặc tập trung, có ba khía cạnh quan trọng cần được xem xét: việc lựa chọn CH, hình thành cụm và truyền thông trong cụm.

2.1.4 Quá trình lựa chọn cụm chủ (Cluster head-CH)

CH có thể là các nút được cung cấp nhiều tài nguyên hơn hoặc các nút thay đổi thường xuyên. Trong trường hợp của CH là các nút thay đổi thường xuyên, điều quan trọng là thực hiện tái phân cụm nơi CH mới được lựa chọn. Điều này là để tránh sự suy giảm nhanh chóng của năng lượng CH do các chức năng khác nhau mà CH thực hiện. Việc chọn lại CH cũng có thể là một cách thức nhằm nâng cao khả năng chịu lỗi. Ví dụ, nếu một CH chết, lại chọn CH giúp thiết lập các liên kết truyền thông mới cho các nút trong cụm đã bị mất CH của chúng. Có những cân nhắc khác nhau trong việc lựa chọn CH như vị trí các nút hoặc năng lượng còn lại.

Số lượng CH được lựa chọn có ảnh hưởng đến tổng số tiêu hao năng lượng trong mạng. Một mạng lưới với vài CH có thể dẫn đến một số lượng nút trong cụm được chọn rất xa so với CH tương ứng. Điều này làm tăng năng lượng tiêu thụ của các nút trong cụm để liên lạc với CH của chúng. Mặt khác, một mạng lưới với nhiều CH có thể gây ra các xung đột và dữ liệu truyền dư thừa của chúng. Điều này là do CH có

thể được sắp xếp rất chặt chẽ với nhau, và dữ liệu được giả định là có tương quan. Ngoài ra, như CH có xu hướng tiêu thụ nhiều năng lượng hơn, có một số lượng lớn các CH tăng tổng tiêu hao năng lượng [41].

2.1.5 Quá trình hình thành phân cụm

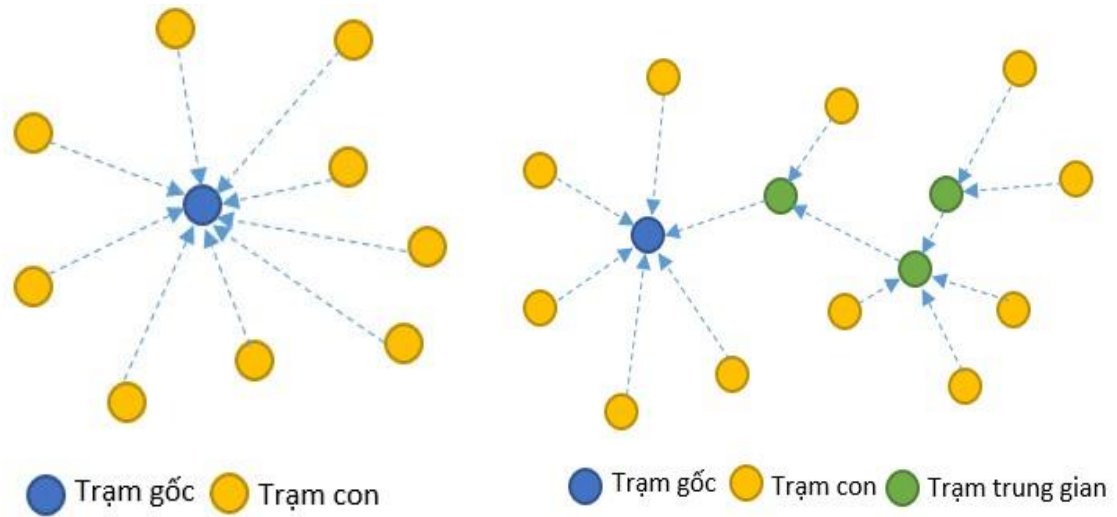
Trong quá trình hình thành cụm, các nút trong cụm của mỗi CH được xác định để hình thành các cụm khác nhau. Các phân cụm cần được thành lập khi đảm bảo rằng các nút trong cụm không tiêu thụ một lượng lớn năng lượng trong việc truyền dữ liệu đến CH của chúng.

Các nút trong cụm góp phần giảm tải năng lượng của CH vì mỗi CH đã thu thập, tổng hợp và chuyển tiếp dữ liệu của các nút trong cụm của nó. Để chắc chắn rằng CH không làm cạn kiệt năng lượng của chúng quá nhanh, cụm nên được hình thành sao cho chúng có kích thước tương ứng và cân bằng tải.

2.1.6 Các giao tiếp trong cụm

Có hai loại thông tin liên lạc giữa các cụm: thông tin liên lạc nội bộ cụm và truyền thông liên cụm. Thông tin liên lạc nội bộ cụm bao gồm sự tương tác giữa từng nút trong cụm và CH tương ứng của nó [40]. Thông thường, loại truyền thông này bao gồm một kiểu truyền đơn bước giữa mỗi nút trong cụm và CH của nó, cách này đơn giản hóa giao tiếp. Trong một số trường hợp đặc biệt các nút trong cụm có một phạm vi truyền dẫn rất ngắn và không thể giao tiếp đến CH của chúng, cách thức truyền đa bước sẽ là có lợi hơn.

Truyền thông liên cụm xác định con đường giữa mỗi CH và SINK để cung cấp dữ liệu. Truyền đơn bước có thể được sử dụng để cung cấp dữ liệu đến các SINK, có thể có lợi trong các mạng nhỏ, nơi mà các SINK gần các CH. Khi CH là xa SINK, truyền tải đa bước có thể thuận lợi hơn trong việc chuyển tiếp dữ liệu đến SINK. Hình 2-1 và 2-2 đưa ra hai ví dụ về mạng đơn bước và mạng đa bước.



Hình 2-1: Mạng đơn bước; Hình 2-2: Mạng đa bước

Trong phân cụm, CH sẽ tập hợp dữ liệu và truyền dữ liệu đến Sink. Việc này làm giảm lưu lượng dữ liệu truyền trong mạng và để giải quyết vấn đề này đã có những kỹ thuật định tuyến đa đường trên Sink tĩnh đã được đề xuất trong các công trình nghiên cứu liên quan [21], [34]

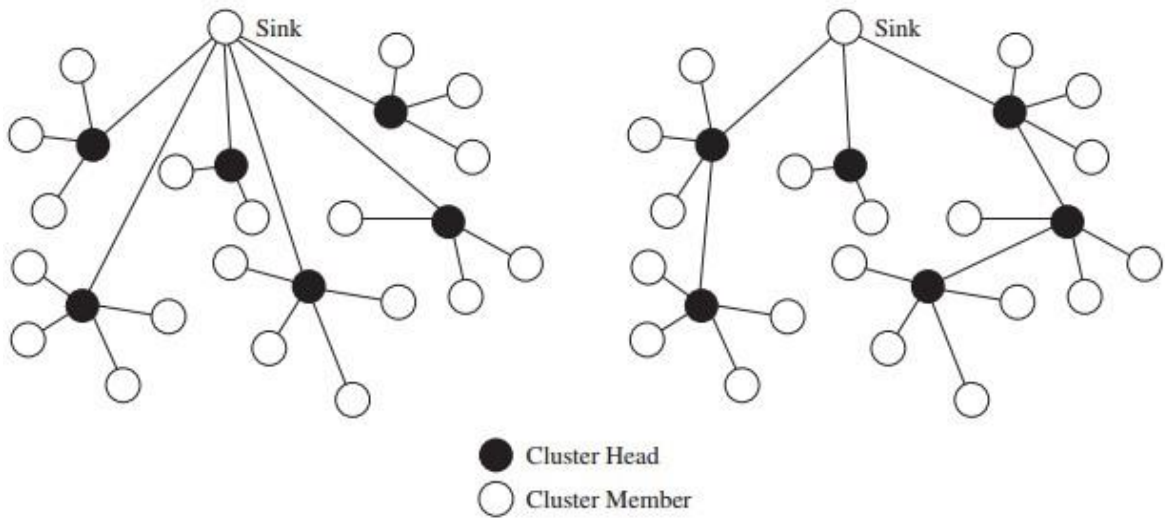
2.2. Những công trình liên quan

2.2.1 Những giao thức định tuyến phân cấp (Hierarchical protocols)

Các giao thức định tuyến phân cấp dựa trên việc nhóm các nút thành các cụm. Ý tưởng chính của việc định tuyến phân cấp là các nút cảm biến chỉ giao tiếp trực tiếp với một nút dẫn đầu trong cụm của chúng, thường được gọi là cụm chủ (CH). Những cụm chủ này, có thể mạnh hơn và ít bị hạn chế về năng lượng hơn các nút cảm biến thông thường, sau đó sẽ chịu trách nhiệm truyền dữ liệu cảm biến tới sink. Cách tiếp cận này có thể làm giảm đáng kể gánh nặng truyền thông và năng lượng trên các nút cảm biến, trong khi các cụm chủ sẽ có lưu lượng truy cập đáng kể hơn các nút cảm biến thông thường.

Những thách thức trong việc thiết kế và vận hành các giao thức định tuyến phân cấp bao gồm việc lựa chọn các cụm chủ, sự hình thành các cụm, và sự thích nghi với các hình thái mạng thay đổi như sự di chuyển hoặc các lỗi của CH. So với các phương pháp định tuyến phẳng, các giải pháp phân cấp có thể làm giảm va chạm trong môi trường không dây và tạo điều kiện cho công suất vận hành theo chu kỳ các nút cảm biến để tăng hiệu suất năng lượng. Phân cụm cũng có thể tạo thuận lợi cho quá trình định tuyến, nhưng có thể dẫn đến các tuyến đường dài hơn nhiều giao thức định tuyến phẳng. Phân cụm cũng tạo điều kiện kết hợp dữ liệu cảm biến trong mạng,

bởi vì dữ liệu dư thừa đến từ nhiều cảm biến giám sát chéo các vùng của môi trường có thể truyền thông qua cùng một CH. Hình 2.3 minh họa hai biến thể của cách tiếp cận phân nhóm.



Hình 2-3 Phân cụm với truyền thông đơn chặng (single hop) tới sink (bên trái) và phân cụm với truyền thông đa chặng (multi hop) đến sink (bên phải)

Khi tất cả các CH liên lạc trực tiếp với Sink (biểu đồ bên trái), thách thức định tuyến được giảm bớt thành vấn đề hình thành cụm. Khi các CH không trực tiếp liên lạc với Sink (đồ thị bên phải), một giao thức định tuyến dựa trên cụm cũng phải thiết lập các tuyến đường đa chặng (multi hop) từ tất cả các CH đến Sink.

Mục đích chính của định tuyến phân cấp [34], [42] là để duy trì hiệu quả việc tiêu thụ năng lượng của các nút cảm biến bằng việc đặt chúng trong giao tiếp multihop trong một cụm cụ thể và bằng việc thực hiện tập trung và hợp nhất dữ liệu để giảm số bản tin được truyền đến sink. Sự hình thành các cụm chủ yếu dựa trên năng lượng dự trữ của sensor và vùng lân cận của sensor so với các nút chủ của cụm. LEACH là một trong số những cách tiếp cận định tuyến phân cấp đầu tiên cho mạng cảm biến. Ý tưởng của LEACH là mở đầu cho rất nhiều giao thức định tuyến phân cấp khác phát triển.

2.2.1.1 LEACH (*Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy*)

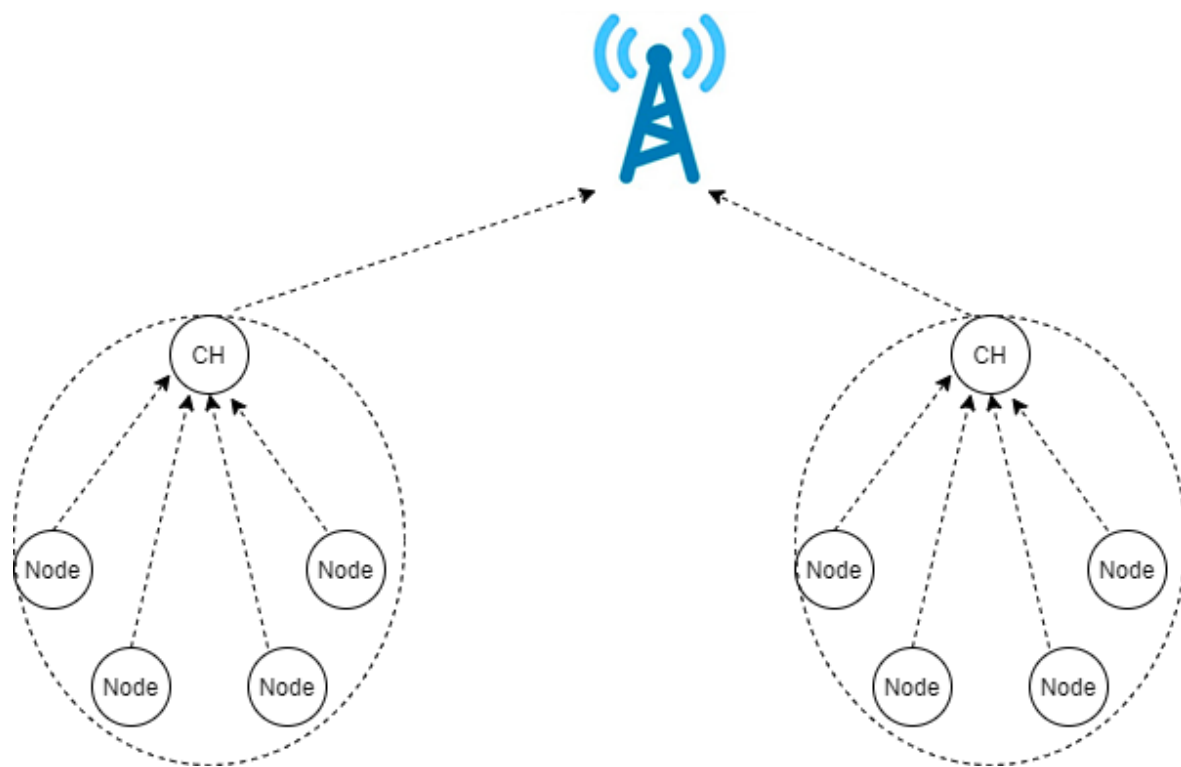
LEACH là giao thức phân cụm thích ứng năng lượng thấp. Đây là giao thức thu thập và phân phát dữ liệu tới các sink [3],[43],[44],[45].

Mục tiêu chính của LEACH là: Mở rộng thời gian sống của mạng, giảm sự tiêu thụ năng lượng bởi mỗi nút mạng và sử dụng tập trung dữ liệu để giảm bản tin truyền trong mạng.

LEACH thông qua mô hình phân cấp để tổ chức mạng thành các cụm, mỗi cụm được quản lý bởi cụm chủ. Cụm chủ thực hiện nhiều nhiệm vụ. Đầu tiên là thu thập

dữ liệu theo chu kỳ từ các nút thành viên, trong quá trình tập trung dữ liệu cụm chủ sẽ cố gắng tập hợp dữ liệu để giảm dư thừa về những dữ liệu giống nhau. Nhiệm vụ thứ hai đó là cụm chủ sẽ trực tiếp truyền dữ liệu đã được tập hợp lại đến các trạm gốc, việc truyền này thực hiện theo kiểu single hop. Nhiệm vụ thứ ba là LEACH sẽ tạo ra mô hình ghép kênh theo thời gian TDMA (Time Division Multiple Access), mỗi nút trong cụm sẽ được gán một khe thời gian mà có thể sử dụng để truyền tin.

Mô hình LEACH (hình 2.4), các cụm chủ sẽ quảng bá mô hình TDMA cho các nút thành viên trong cụm của nó. Để giảm thiểu khả năng xung đột giữa các nút cảm biến trong và ngoài cụm, LEACH sử dụng mô hình đa truy nhập phân chia theo mã CDMA. Quá trình hoạt động của LEACH được chia thành hai pha là pha thiết lập và pha ổn định. Pha thiết lập bao gồm hai bước là lựa chọn cụm chủ và thông tin về cụm. Pha ổn định trạng thái gồm thu lượm dữ liệu, tập trung dữ liệu và truyền dữ liệu đến các trạm gốc. Thời gian của bước ổn định kéo dài hơn so với thời gian của bước thiết lập để giảm thiểu mài mòn.



Hình 2-4: Mô hình mạng LEACH

Ở bước thiết lập, một nút cảm biến lựa chọn 1 số ngẫu nhiên giữa 0 và 1.

Nếu số này nhỏ hơn ngưỡng $T(n)$ thì nút cảm biến là nút cụm chủ. $T(n)$ được tính theo công thức 2.1 như sau:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r * \text{mod} \frac{1}{P})} & \text{với } n \in G \\ 0 & \text{còn lại} \end{cases} \quad (2.1)$$

Trong đó:

P: tỉ lệ phần trăm nút cụm chủ

r: số ngẫu nhiên giữa 0 và 1

G: tập hợp các nút không được lựa chọn làm nút cụm chủ trong 1/p chu kỳ cuối.

Sau khi được chọn làm nút cụm chủ, các nút cụm chủ sẽ quảng bá vai trò mới của chúng cho các nút còn lại trong mạng. Các nút còn lại trong mạng dựa vào bản tin đó và cường độ tín hiệu nhận được hoặc một số tiêu chuẩn nào đó để quyết định xem có tham gia vào cụm đó hay không. Và sau đó các nút này sẽ thông báo cho nút cụm chủ biết là mình có mong muốn trở thành thành viên của cụm do nút cụm chủ đó đảm nhận.

Trong quá trình tạo cụm các nút cụm chủ sẽ tạo và phân phát mô hình TDMA (Time Division Multiple Access) cho các nút thành viên trong cụm. Mỗi nút cụm chủ cũng chọn lựa một mã CDMA mà sau đó sẽ thông báo tới tất cả các thành viên trong cụm biết. Sau khi pha thiết lập hoàn thành báo hiệu sự bắt đầu của pha ổn định trạng thái và các nút trong cụm sẽ thu lượm dữ liệu và sử dụng các khe thời gian để truyền dữ liệu đến nút cụm chủ. Dữ liệu được tập hợp theo chu kỳ.

LEACH cũng có một số khuyết điểm sau:

- Giả sử rằng tất cả các nút cụm chủ trong mạng đều truyền đến trạm gốc thông qua một bước nhảy là không thực tế, vì dự trữ năng lượng và khả năng của các nút thay đổi theo thời gian từ nút này đến nút khác. Hơn nữa khoảng chu kỳ ổn định trạng thái là vấn đề then chốt để đạt được giảm năng lượng cần thiết để bù đắp lượng đầu vào gây ra bởi xử lý lựa chọn cụm.
- LEACH có đặc tính giúp tiết kiệm năng lượng, yêu cầu về năng lượng trong LEACH được phân bố cho tất cả các nút trong mạng vì giả sử rằng vai trò nút cụm chủ được luân chuyển vòng tròn dựa trên năng lượng còn lại trên mỗi nút. LEACH là thuật toán phân tán hoàn toàn và không yêu cầu sự điều khiển bởi trạm gốc. Việc quản lý cụm là cục bộ và không cần sự hiểu biết về mạng toàn cục. Việc tập trung dữ liệu theo cụm cũng tiết kiệm năng lượng đáng kể vì các nút không yêu cầu gửi trực tiếp dữ liệu đến sink.

2.2.1.2 PEGASIS (*Power-Efficient Gathering in Sensor Information Systems*)

PEGASIS là một trong các giao thức định tuyến và tập trung thông tin trong mạng cảm biến [46][47]. Giao thức này đầu tiên hỗ trợ việc kéo dài thời gian sống của mạng nhờ đạt được việc tiêu thụ năng lượng đồng nhất và hiệu suất năng lượng cao qua tất cả các nút trong mạng, thứ hai làm giảm trễ truyền dữ liệu đến Sink.

Giao thức này xem xét mô hình mạng bao gồm tập hợp các nút đồng nhất được triển khai qua một vùng địa lý. Các nút này có sự hiểu biết về vị trí các nút khác trong toàn mạng và chúng còn có khả năng điều khiển công suất và bao phủ một vùng tùy ý. Các nút này cũng được trang bị bộ thu phát sóng hỗ trợ CDMA. Nhiệm vụ của các nút này là thu thập thông tin và truyền dữ liệu đến các sink, thông thường là các trạm gốc. Mục đích để phát triển một cấu trúc định tuyến và một sơ đồ tập trung dữ liệu để giảm thiểu sự tiêu thụ công suất và truyền dữ liệu được tập trung đến trạm gốc với trễ truyền dẫn nhỏ nhất trong khi vẫn cân bằng sự tiêu thụ công suất giữa các nút trong mạng.

Giải thuật này sử dụng mô hình cấu trúc dạng chuỗi. Dựa trên mô hình này các nút sẽ giao tiếp với nút hàng xóm gần nó nhất. Cấu trúc chuỗi bắt đầu với nút xa sink nhất, các nút mạng được thêm dần vào chuỗi làm chuỗi lớn dần lên, bắt đầu từ nút hàng xóm gần nút cuối nhất. Các nút sẽ được gán vào chuỗi theo cách greedy từ nút lân cận gần nhất cho tới các nút còn lại trong mạng. Để xác định được nút lân cận gần nhất mỗi nút sẽ sử dụng cường độ tín hiệu để đo khoảng cách tới các nút lân cận của nó. Sử dụng dữ kiện này các nút sẽ điều chỉnh cường độ tín hiệu sao cho chỉ có nút lân cận gần nhất nghe được.

Một nút trong chuỗi sẽ được chọn làm nút cụm chủ, trách nhiệm của nút cụm chủ là truyền dữ liệu tập hợp được tới trạm gốc. Vai trò nút cụm chủ sẽ bị dịch chuyển vị trí trong chuỗi sau mỗi vòng chu kỳ. Chu kỳ này được quản lý bởi sink và việc chuyển trạng thái từ vòng này đến vòng tiếp theo có thể được khởi tạo bởi việc đưa ra dấu hiệu công suất cao bởi sink. Việc quay vòng nút cụm chủ trong chuỗi nhằm đảm bảo công bằng trong tiêu thụ năng lượng giữa các nút trong mạng. Tuy nhiên cũng cần chú ý rằng việc thay đổi có khi dẫn đến nút cụm chủ rời xa trạm gốc, sink, khi đó nút này lại cần yêu cầu công suất cao để truyền đến trạm gốc.

Việc tập trung dữ liệu trong mạng dọc theo chuỗi. Đầu tiên nút chủ sẽ gửi một thẻ bài tới nút cuối cùng bên phải cuối chuỗi. Trong khi nhận được tín hiệu này nút cuối sẽ gửi dữ liệu nó thu lượm được đến nút lân cận theo chiều xuôi trong chuỗi, sau đó nút này tập trung dữ liệu và lại tiếp tục gửi đến nút lân cận gần nó nhất, cứ như

vậy cho đến khi gửi đến nút cụm chủ. Sau đó nút cụm chủ sẽ lại tập trung dữ liệu và gửi đến sink.

Mặc dù đơn giản nhưng mô hình tập trung dạng chuỗi dễ gây ra trễ trước khi dữ liệu tập trung được truyền đến sink. Một phương pháp để giảm độ trễ này là tập trung dữ liệu song song dọc theo chuỗi, và sẽ càng giảm nhiều hơn nếu các nút được trang bị bộ thu phát sử dụng CDMA.

Dùng PEGASIS sẽ giải quyết được vấn đề về mào đầu gây ra bởi việc hình thành các cụm động trong LEACH và giảm được số lần truyền và nhận bằng việc tập hợp dữ liệu. Tuy nhiên PEGASIS lại có độ trễ đường truyền lớn đối với các nút ở xa trong chuỗi. Hơn nữa ở nút chính có thể xảy ra hiện tượng thất cổ chai.

2.2.2 Những giao thức định tuyến không đồng nhất

2.2.2.1 SEP (Stable Election Protocol)

Nhiều giao thức đã được đưa ra để cải tiến LEACH. Trong đó có SEP của nhóm tác giả [39], [48], [49] xét đến mức năng lượng trong quá trình lựa chọn CH. SEP cải thiện vùng ổn định của tiến trình phân nhóm theo hình thức phân cấp sử dụng các thông số đặc trưng của tính không đồng nhất, bổ sung năng lượng giữa nút advance và nút normal. Để kéo dài thời gian ổn định, SEP cố gắng duy trì hạn chế tiêu thụ năng lượng. Các nút advance sẽ trở thành CH nhiều hơn các nút normal. Các nút advance sẽ được cấp năng lượng nhiều hơn so với các nút normal. Tổng năng lượng của hệ thống thay đổi. Giả sử E_0 là năng lượng ban đầu của nút normal thì năng lượng của nút advance sẽ được cài đặt bằng $E_0 \cdot (1 + \alpha)$. Tổng năng lượng cần thiết lập (không đồng nhất) được trình bày theo công thức (2.2):

$$E_{total} = n \cdot (1 - m) \cdot E_0 + n \cdot m \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha) = n \cdot E_0 \cdot (1 + \alpha m). \quad (2.2)$$

Vì vậy tổng số năng lượng của hệ thống được tăng lên $1 + \alpha m$ lần. Chúng ta có thể tăng vùng ổn định của mạng cảm biến $1 + \alpha m$ lần.

Xác suất để những nút normal trở thành CH là 1 và nút advance trở thành CH là $1 + \alpha$. Nếu ngưỡng $T(n)$ cùng được thiết lập cho nút normal và nút advance khác biệt ở chỗ nút normal thuộc G trở thành CH một lần và nút advance thuộc G trở thành

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt}}{(1 + a \cdot m)} & \text{cho các normal node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1 + a)}{(1 + a \cdot m)} & \text{cho các advance node} \end{cases} \quad (2.3)$$

CH $1 + \alpha$ lần. Vậy xác suất trọng lượng cho nút normal và advance lần lượt theo công thức (2.3):

Hàm $T(n)$ được thay thế Popt bởi xác suất trọng lượng để có được ngưỡng tuyển chọn CH trong mỗi vòng như công thức (2.4), (2.5).

Ngưỡng cho nút Normal:

$$T_{(s_{nrm})} = \begin{cases} \frac{P_{nrm}}{1 - P_{nrm} \cdot (r \bmod \frac{1}{P_{nrm}})} & \text{if } s_{nrm} \in G' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.4)$$

Trong đó:

- r : Vòng hiện tại
- G' : Tập các nút chưa trở thành CH với $\frac{1}{P_{nrm}}$ vòng cuối cho mỗi giai đoạn.
- $T_{(s_{nrm})}$: Là ngưỡng áp dụng cho $(1-m)$ nút normal

Ngưỡng cho nút Advance:

$$T_{(s_{adv})} = \begin{cases} \frac{P_{adv}}{1 - P_{adv} \cdot (r \bmod \frac{1}{P_{adv}})} & \text{if } s_{nrm} \in G'' \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.5)$$

Trong đó:

- G'' : Tập các nút chưa trở thành CH với $\frac{1}{P_{adv}}$ vòng cuối cho mỗi giai đoạn.
- $T_{(s_{adv})}$: Là ngưỡng áp dụng cho $(n*m)$ nút advance

2.2.2.2 DEEC (Distributed Energy-Efficient Clustering)

Trong DEEC [39], [50] các CH được bầu chọn bằng một xác suất dựa trên tỷ số giữa năng lượng còn lại của mỗi nút và năng lượng trung bình của toàn mạng. Xác suất cho các nút normal và nút advance được tính theo công thức (2.6):

Trong đó:

$E_i(r)$ là năng lượng còn lại của nút 'Si' tại vòng 'r',

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt} \cdot E_i(r)}{(1+a.m) \cdot \bar{E}(r)} & \text{cho các normal node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+a) \cdot E_i(r)}{(1+a.m) \cdot \bar{E}(r)} & \text{cho các advance node} \end{cases} \quad (2.6)$$

$\bar{E}(r)$ là năng lượng trung bình tại vòng 'r' của toàn mạng được tính bằng công thức (2.7):

$$\bar{E}(r) = \frac{1}{N} E_{total} \left(1 - \frac{r}{R}\right) \quad (2.7)$$

N: Tổng số nút cảm biến trong mạng

r: Vòng hiện tại

E_{total} : Tổng năng lượng khởi tạo cho toàn mạng được tính bằng công thức (2.8):

$$E_{total} = \sum_{i=1}^N E_0(1 + a_i) = E_0(N + \sum_{i=1}^N a_i) \quad (2.8)$$

R: Tổng số vòng của mạng được tính bằng công thức (2.9):

$$R = \frac{E_{total}}{E_{round}} \quad (2.9)$$

Trong đó:

E_{total} : được tính theo công thức (2.8)

E_{round} : Tổng năng lượng tiêu hao trong vòng hiện tại được tính bằng công thức (2.10):

$$E_{round} = L(2NE_{elec} + NE_{DA} + k\varepsilon_{mp}d_{toBS}^4 + N\varepsilon_{fs}d_{toCH}^2) \quad (2.10)$$

Trong đó:

L: Chiều dài bit của gói tin

k: Số lượng CH

d_{toBS} : Khoảng cách trung bình giữa CH và SINK

d_{toCH} : Khoảng cách trung bình giữa nút thành viên đến CH của nó.

d_{toBS} và d_{toCH} được tính bằng công thức (2.11):

$$d_{toCH} = \frac{M}{\sqrt{2\pi k}}, d_{toBS} = 0.765 \frac{M}{2} \quad (2.11)$$

Các chu kỳ của các CH cho các nút khác nhau theo năng lượng ban đầu và còn lại của chúng.

Các tác giả đã giả định rằng tất cả các nút của mạng cảm biến được trang bị với lượng năng lượng khác nhau, đó là một nguồn tài nguyên không đồng nhất. DEEC cũng dựa trên LEACH; Nó xoay vòng các CH của tất cả các nút để tiết kiệm năng lượng đồng nhất.

Hai cấp độ của các nút không đồng nhất được xem xét trong thuật toán và sau đó là một giải pháp chung cho mạng không đồng nhất đa cấp độ được thực hiện. Để tránh việc mỗi nút cần biết thông tin toàn cầu của các mạng, DEEC ước tính giá trị lý tưởng của thời gian sống của mạng, được sử dụng để tính toán năng lượng tham chiếu mà mỗi nút nên tiêu tốn trong một vòng.

2.2.2.3 DDEEC (*Developed Distributed Energy-Efficient Clustering*)

Các tác giả trong [51] đề xuất giao thức tốt hơn SEP 30% và tốt hơn DEEC 15% về thời gian sống và thời gian ổn định của mạng. Giao thức này cũng hoạt động ở hai mức năng lượng và khắc phục những hạn chế của giao thức DEEC. DEEC dựa trên sự phân cụm, khi các CH được bầu bằng một xác suất dựa trên tỷ số giữa năng lượng còn lại của mỗi nút và năng lượng trung bình của mạng. Số vòng quay của mỗi chu kỳ luân chuyển cho mỗi nút là khác nhau tùy theo năng lượng ban đầu và năng lượng còn lại của nó. Các nút có năng lượng ban đầu và còn lại cao hơn sẽ có nhiều cơ hội để trở thành CH hơn các nút có năng lượng thấp. Do đó DEEC có thể kéo dài tuổi thọ mạng, đặc biệt là giai đoạn ổn định. Sự lựa chọn này sẽ làm mất hiệu lực các nút advance, đặc biệt là khi năng lượng còn lại của chúng giảm xuống và trở thành các nút normal. Trong trường hợp này, các nút advance sẽ chết nhanh hơn các nút khác. DDEEC, do đó cân bằng việc chọn cụm chủ trên tất cả các nút mạng sau năng lượng dư của chúng. Vì vậy, các nút advance có thể là các cụm chủ trong giai đoạn ban đầu, nhưng do năng lượng của các nút hết trước và trở nên tương đương với các nút thông thường, các nút advance sẽ có xác suất bầu cử cụm chủ như các nút normal. Xác suất được cho bởi phương trình (2.12):

(2.12) Công thức tính xác suất lựa chọn CH trong giao thức DDEEC

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt} \cdot E_i(r)}{(1+a.m).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho các normal node nếu } E_i(r) > Th_{rev} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+a).E_i(r)}{(1+a.m).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho các advance node nếu } E_i(r) > Th_{rev} \\ c * \frac{P_{opt} \cdot (1+a).E_i(r)}{(1+a.m).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho tất cả các node nếu } E_i(r) \leq Th_{rev} \end{cases} \quad (2.12)$$

Trong đó: $Th_{rev} = b * E_o$, với $b \in (0,1)$. Nếu $b = 0$, chúng ta sẽ có DEEC truyền thống. Nhưng trong [51], tất cả các nút advance không thể là một CH. Trường hợp tương tự cho các nút normal, có thể một số trong đó sẽ là các CH. Sau đó, giá trị cuối cùng của b không chính xác.

2.2.2.4 TDEEC (Threshold Distributed Energy-Efficient Clustering)

Trong [52] đề xuất sơ đồ cụm năng lượng hiệu quả cho các mạng cảm biến không dây không đồng nhất, được gọi là giao thức TDEEC (ngưỡng phân bổ năng lượng phân cụm hiệu quả). Các nút cảm biến có tính không đồng nhất về năng lượng, nghĩa là được trang bị các mức năng lượng khác nhau. Tất cả các nút có năng lượng ban đầu khác nhau; Một số nút được trang bị nhiều năng lượng hơn các nút bình thường. Trong TDEEC, các tác giả đã điều chỉnh giá trị của ngưỡng theo công thức (2.13), theo đó một nút quyết định là một CH hoặc không, dựa trên tỷ lệ năng lượng dư và năng lượng trung bình của vòng đó đối với số lượng tối ưu của các CH.

$$T_{(s)} = \begin{cases} \frac{P}{1-P \times [r \bmod \frac{1}{P}]} \times \frac{\text{Năng lượng còn lại của node} \times k_{opt}}{\text{Năng lượng trung bình của mạng}}, & \text{if } s \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.13)$$

(2.13) Công thức tính ngưỡng chọn CH trong giao thức TDEEC

Kết quả mô phỏng cho thấy rằng TDEEC thực hiện tốt hơn so với SEP và DEEC trong môi trường không đồng nhất cho các mạng cảm biến không dây.

2.2.2.5 EDEEC (Enhanced Distributed Energy Efficient Clustering)

Giao thức EDEEC [51], [53] hoạt động trên cùng một nguyên tắc của DEEC nhưng bổ sung một nút thứ ba gọi là nút super có gấp $(1 + b)$ lần năng lượng so với

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt} \cdot E_i(r)}{1+m(a.m_0b).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho các normal node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+a).E_i(r)}{1+m(a.m_0b).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho các advance node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+b).E_i(r)}{1+m(a.m_0b).\bar{E}_{(r)}} \text{ cho các super node} \end{cases} \quad (2.14)$$

nút normal. Các nút advance có gấp $(1 + a)$ lần năng lượng so với các nút normal. Do nút thứ ba này, sự không đồng nhất của mạng tăng từ hai cấp lên ba cấp. Theo các giao thức trước đó, trong giao thức này, lựa chọn CH sử dụng cùng một kỹ thuật ngưỡng và các nút advance và normal có cùng xác suất. Sự khác biệt chỉ là giao thức này có công thức xác suất cho các nút super như công thức (2.14).

2.2.2.6 EDDEEC (Enhanced Developed Distributed Energy Efficient Clustering)

Trong [53] đề xuất một giao thức cũng hoạt động ở ba mức độ không đồng nhất và khắc phục những hạn chế của giao thức EDEEC. Trong giao thức EDEEC, Các nút super có nhiều năng lượng hơn các nút advance, mà những nút advance này lại có nhiều năng lượng hơn các nút normal. Xác suất của các nút super, advance và normal trở thành các CH thể hiện trong phương trình (2.15) ở trên cho thấy rõ ràng rằng các nút super có xác suất cao để trở thành CH hơn các nút advance, và các advance thì có nhiều xác suất hơn các nút normal. Vì vậy, sau khi trở thành các CH, sau một vài vòng, năng lượng của các nút super sẽ trở về bằng với các nút advance bởi vì các CH chiếm nhiều năng lượng hơn các nút khác trong cụm. Vào thời điểm này, khi năng lượng của các nút super và nút advance trở nên bình đẳng, nhưng do xác suất cao hơn, các nút super sẽ lại trở thành CH. Do đó, các nút super sẽ chết khá nhanh sẽ dẫn đến làm giảm tuổi thọ của mạng. Khi năng lượng của các nút đạt đến bằng $T_{absolute}$ hoặc thấp hơn, thì tất cả các nút sẽ sử dụng công thức xác suất chung như công thức (2.15)

Nếu $E_i(r) > T_{absolute}$, thì

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt} \cdot E_i(r)}{1+m(a.m_0b) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các normal node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+a) \cdot E_i(r)}{1+m(a.m_0b) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các advance node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+b) \cdot E_i(r)}{1+m(a.m_0b) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các super node} \end{cases} \quad (2.15)$$

Nếu $E_i(r) \leq T_{absolute}$, thì

$$P_{(i)} = c \cdot \frac{P_{opt} \cdot (1+b) \cdot E_i(r)}{1+m(a.m_0b) \cdot \bar{E}_{(r)}} \text{ cho tất cả các node} \quad (2.16)$$

- Với $T_{absolute} = z \cdot E_0$, Trong đó $z \in (0,1)$

2.2.2.7 BEENISH (Balanced Energy Efficient Network Integrated Super Heterogeneous)

BEENISH [54] là giao thức được đề xuất cho bốn cấp độ không đồng nhất trong mạng cảm biến không dây. Loại nút thứ tư được giới thiệu trong giao thức này được gọi là nút ultra super có $(1 + u)$ năng lượng nhiều hơn các nút normal. Giao thức này chứng minh rằng với sự gia tăng tính không đồng nhất, giai đoạn ổn định tăng lên là một tham số rất quan trọng cho một thông tin đáng tin cậy. BEENISH sử dụng cùng một khái niệm cho lựa chọn CH như trong các giao thức trước đó với chỉ sự khác biệt là thêm vào xác suất cho nút ultra-super. Các xác suất của các nút ultra- super, super, advance và các nút normal để trở thành CH được đưa ra theo công thức (2.17):

(2.17) Công thức tính xác suất chọn CH trong giao thức BEENISH

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{opt} \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các normal node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+a) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các advance node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+b) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các super node} \\ \frac{P_{opt} \cdot (1+u) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}_{(r)}} & \text{cho các ultra – super node} \end{cases} \quad (2.17)$$

Mô phỏng cho thấy BEENISH [54], [55] là các giao thức hiệu quả nhất so với DEEC, DDEEC, EDEEC về thời gian ổn định, tuổi thọ mạng và thông lượng.

2.2.3 Giao thức định tuyến dựa trên dữ liệu (Data centric protocols)

Trong nhiều ứng dụng của mạng cảm ứng thì việc xác định số nhận dạng toàn cầu cho từng nút là không khả thi. Việc thiếu số nhận dạng toàn cầu cùng với việc triển khai ngẫu nhiên các nút gây khó khăn trong việc chọn ra tập hợp các nút chuyên dụng. Vì thế dữ liệu được truyền từ mọi nút trong vùng triển khai với độ dư thừa đáng kể, nên việc sử dụng năng lượng sẽ không hiệu quả. Do vậy, người ta đã đưa ra các giao thức định tuyến mà có khả năng chọn ra tập hợp các nút và thực hiện tập trung dữ liệu trong suốt quá trình truyền. Điều này đã dẫn đến ý tưởng về giao thức dựa trên dữ liệu. Trong giao thức định tuyến này, Sink gửi yêu cầu đến các vùng xác định và đợi dữ liệu từ các cảm biến đã được chọn trước trong vùng. SPIN là giao thức đầu tiên thuộc loại này mà đã đề cập đến việc dàn xếp dữ liệu giữa các nút để giảm bớt sự dư thừa dữ liệu và tiết kiệm năng lượng. Sau đó Directed Diffusion (truyền tin trực tiếp) được phát triển và là một giao thức rất đáng chú ý trong định tuyến dựa trên dữ liệu.

2.2.3.1 SPIN (*Sensor protocols for information via negotiation*)

SPIN [56], [57] là giao thức cảm biến thông qua sự đàm phán dữ liệu. Mục tiêu chính của giao thức này đó là tập trung việc quan sát môi trường có hiệu quả bằng một số các nút cảm biến riêng biệt trong toàn bộ mạng. Nguyên lý của giao thức này đó là sự thích ứng về tài nguyên và sắp xếp dữ liệu. Ý nghĩa của việc đàm phán dữ liệu (data negotiation) này là các nút trong SPIN sẽ biết về nội dung của dữ liệu trước khi bất kỳ dữ liệu nào được truyền trong mạng. Nơi nhận dữ liệu quan tâm đến nội dung dữ liệu bằng cách gửi yêu cầu để lấy được dữ liệu quảng bá. Điều này tạo ra sự sắp xếp dữ liệu để đảm bảo rằng dữ liệu chỉ được truyền đến nút dữ liệu này. Do đó mà loại trừ khả năng bản tin kép và giảm thiểu đáng kể việc truyền dữ liệu dư thừa qua mạng. Việc sử dụng bộ miêu tả dữ liệu cũng loại trừ khả năng chong chát vì các nút có thể chỉ giới hạn về loại dữ liệu mà chúng quan tâm đến. Mỗi nút có thể dò tìm tới bộ quản lý để theo dõi mức tiêu thụ năng lượng của mình trước khi truyền hoặc xử lý dữ liệu. Khi mức năng lượng còn lại thấp các nút này có thể giảm hoặc loại bỏ một số hoạt động như là truyền thông tin dữ liệu hoặc các gói. Chính việc thích nghi với tài nguyên làm tăng thời gian sống của mạng.

Tuy nhiên giao thức SPIN cũng có hạn chế khi mà nút trung gian không quan tâm đến dữ liệu nào đó, khi đó dữ liệu không thể đến được đích.

2.2.3.2 *Truyền tin trực tiếp (Directed Diffusion)*

Đây là giao thức trung tâm vào dữ liệu [58], [59] đối với việc truyền và phân bố thông tin trong mạng cảm biến không dây. Mục tiêu chính là tiết kiệm năng lượng để tăng thời gian sống của mạng để đạt được mục tiêu này, giao thức này giữ tương tác giữa các nút cảm biến, dựa vào việc trao đổi các bản tin, định vị trong vùng lân cận mạng. Sử dụng sự tương tác về vị trí nhận thấy có tập hợp tối thiểu các đường truyền dẫn. Đặc điểm duy nhất của giao thức này là sự kết hợp với khả năng của nút để có thể tập trung dữ liệu đáp ứng truy vấn của sink để tiết kiệm năng lượng.

Thành phần chính của giao thức này bao gồm 4 thành phần: interest (thông tin yêu cầu), data message (các bản tin dữ liệu), gradient, reinforcements. Directed diffusion sử dụng mô hình publish- and subscribe trong đó một người kiểm tra (tại sink) sẽ miêu tả mối quan tâm (interest) bằng một cặp thuộc tính-giá trị.

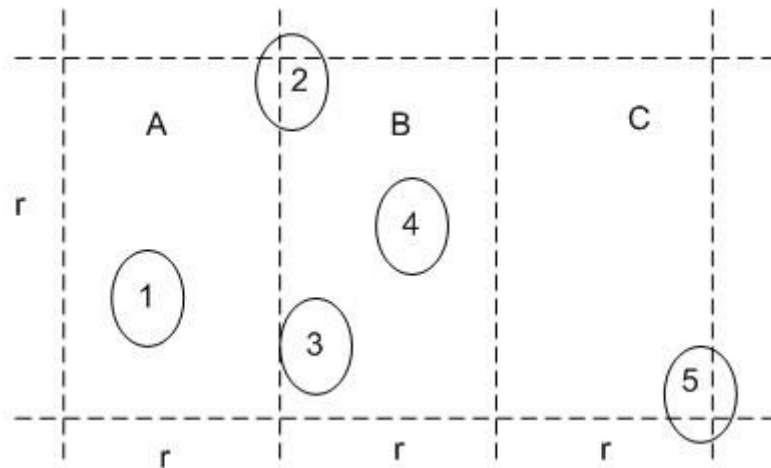
2.2.4 **Giao thức dựa trên vị trí (Location-based protocols)**

Hầu hết các giao thức định tuyến cho mạng cảm ứng đều yêu cầu thông tin về vị trí của các nút cảm biến, để có thể tính toán khoảng cách giữa hai nút xác định, từ

đó có thể ước lượng được năng lượng cần thiết [60]. Vì mạng cảm biến không có chế độ địa chỉ nào như địa chỉ IP và chúng được triển khai trong không gian ở một vùng nào đó, vì vậy thông tin về vị trí cần phải được sử dụng trong các dữ liệu định tuyến theo cách hiệu quả về mặt năng lượng.

2.2.4.1 GAF (Geographic adaptive fidelity)

GAF[61], [62] dự trữ năng lượng bằng cách tắt các nút không cần thiết trong mạng mà không ảnh hưởng đến mức độ chính xác của định tuyến. Nó tạo ra một lưới ảo cho vùng bao phủ. Mỗi nút dùng hệ thống định vị toàn cầu (GPS - Global Positioning System) của nó, xác định vị trí để kết hợp với một điểm trên lưới được gọi là tương đương khi tính đến việc định tuyến gói, để giữ các nút định vị trong vùng lưới xác định ở trạng thái nghỉ để tiết kiệm năng lượng. Vì vậy GAF có thể tăng đáng kể thời gian sống của mạng cảm biến khi mà số lượng các nút tăng lên. Ví dụ được đưa ra ở hình 2.6, nút 1 có thể truyền đến bất kỳ nút nào trong số các nút 2, 3 và 4 và các nút 2, 3, 4 có thể truyền tới nút 5. Do đó các nút 2, 3, và 4 là tương đương và 2 trong số 3 nút đó có thể ở trạng thái nghỉ.

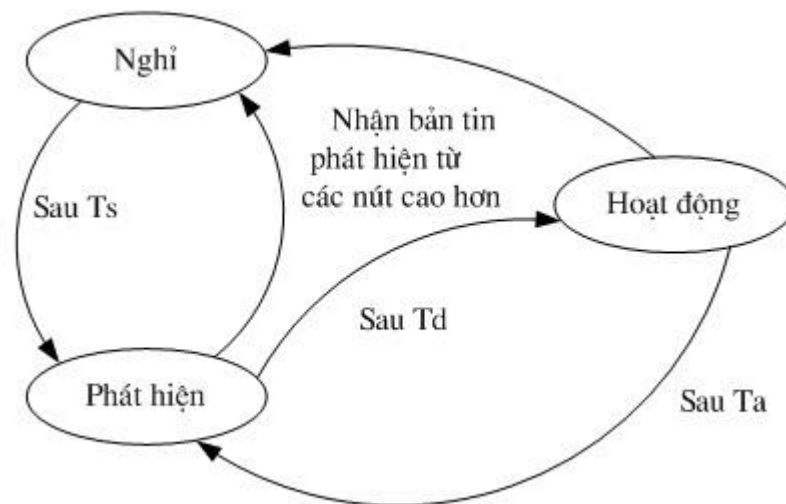


Hình 2-5: Ví dụ về lưới ảo trong GAF

Các nút chuyển trạng thái từ nghỉ sang hoạt động lần lượt để cho các tải được cân bằng. Có ba trạng thái được định nghĩa trong GAF, đó là phát hiện (discovery) để xác định các nút lân cận trong lưới, hoạt động (active) thể hiện sự tham gia vào quá trình định tuyến và nghỉ (sleep) khi sóng được tắt đi. Sự chuyển trạng thái trong GAF (hình 2.5). Để điều khiển độ di động, mỗi nút trong lưới ước đoán thời gian rời khỏi lưới của nó và gửi thông tin này đến nút lân cận. Các nút đang không hoạt động điều chỉnh thời gian nghỉ của chúng cho phù hợp để có thể nhận được các thông tin từ các nút lân cận, để định tuyến được chính xác. Trước khi thời gian rời khỏi lưới của các nút đang hoạt động quá hạn, các nút đang nghỉ thoát khỏi trạng thái đó và

một trong số các nút đó hoạt động trở lại. GAF được triển khai cho cả những mạng bao gồm các nút không di động (GAF cơ bản) và mạng bao gồm các nút di động (GAF thích ứng di động).

GAF giữ mạng hoạt động bằng cách giữ cho các nút đại diện luôn ở chế độ hoạt động trong mỗi vùng ở lưới ảo của nó. Mặc dù GAF là một giao thức dựa trên vị trí, nó cũng có thể được coi là như một giao thức phân cấp khi mà các cụm dựa trên vị trí địa lý. Đối với mỗi vùng lưới xác định, mỗi nút đại diện hoạt động như một nút chủ để truyền dữ liệu đến các nút khác. Tuy nhiên nút chủ này không thực hiện bất cứ một nhiệm vụ hợp nhất hay tập trung dữ liệu nào như trong các giao thức phân cấp thông thường.



Hình 2-6: Sự chuyển trạng thái trong GAF

2.2.4.2 GEAR (*Geographic and Energy-Aware Routing*)

Giao thức GEAR (*Geographic and Energy-Aware Routing*) [61] dùng sự nhận biết về năng lượng và các phương pháp thông báo thông tin về địa lý tới các nút lân cận. Việc định tuyến thông tin theo vùng địa lý rất có ích trong các hệ thống xác định vị trí, đặc biệt là trong mạng cảm biến. Ý tưởng này hạn chế số lượng các yêu cầu ở Directed Diffusion bằng cách quan tâm đến một vùng xác định hơn là gửi các yêu cầu tới toàn mạng. GEAR cải tiến hơn Directed Diffusion ở điểm này và vì thế dự trữ được nhiều năng lượng hơn.

Trong giao thức GEAR, mỗi một nút giữ một chi phí ước tính (*estimated cost*) và một chi phí học (*learned cost*) trong quá trình đến đích qua các nút lân cận. Chi phí ước tính là sự kết hợp của năng lượng còn dư và khoảng cách đến đích. Chi phí học là sự cải tiến của chi phí ước tính giải thích cho việc định tuyến xung quanh các hốc trong mạng. Hốc xảy ra khi mà một nút không có bất kì một nút lân cận nào gần hơn so với vùng đích hơn là chính nó. Trong trường hợp không có một hốc nào thì

chi phí ước tính bằng với chi phí học được. Chi phí học được được truyền ngược lại 1 hop mỗi lần một gói đến đích làm cho việc thiết lập đường cho gói tiếp theo được điều chỉnh.

Có 2 giai đoạn trong giải thuật này:

- Chuyển tiếp gói đến vùng đích: GEAR dùng cách tự chọn nút lân cận dựa trên sự nhận biết về năng lượng và vị trí địa lý để định tuyến gói đến vùng đích. Có 2 trường hợp cần quan tâm:
 - Khi tồn tại nhiều nút lân cận gần hơn so với đích: GEAR sẽ chọn hop tiếp theo trong số tất cả các nút lân cận gần đích hơn.
 - Khi mà tất cả các nút đều xa hơn: trong trường hợp này sẽ có một lỗ hổng. GEAR chọn hop tiếp theo mà làm tối thiểu giá chi phí của nút lân cận này. Trong trường hợp này, một trong số các nút lân cận được chọn để chuyển tiếp gói dựa trên chi phí học được. Lựa chọn này có thể được cập nhật sau theo sự hội tụ của chi phí học được trong suốt quá trình truyền gói.
- Chuyển tiếp gói trong vùng: Nếu gói được chuyển đến vùng, nó có thể truyền dữ liệu trong vùng đó bằng cách chuyển tiếp địa lý đệ quy. Ở những mạng có mật độ cảm biến cao, người ta chia thành 4 vùng nhỏ và tạo ra 4 bản copy của gói đó. Quá trình chuyển tiếp và chia nhỏ này được tiếp tục cho đến khi trong vùng chỉ còn 1 nút.

Để thỏa mãn các điều kiện, dùng giải thuật chuyển tiếp địa lý đệ quy để truyền gói trong vùng này. Tuy nhiên, với những vùng mật độ thấp, chuyển tiếp địa lý đệ quy đôi khi không hoàn thành, định tuyến vô tác dụng trong một vùng đích rộng trước khi số hop gói đi qua vượt quá giới hạn.

2.2.5 Thuật toán phân cụm và A-Sao với logic mờ

CAF (Cluster Algorithm and A-Star with Fuzzy Approach)” [63], được đề xuất với một phương thức định tuyến mới trong mạng cảm biến không dây để mở rộng tuổi thọ mạng sử dụng sự kết hợp của một thuật toán phân cụm, một tiếp cận mờ và một phương thức A-sao. Đầu tiên, mạng cảm biến không dây được phân vào các cụm sử dụng phương thức Stable Election Protocol (SEP). Tiếp theo, kết hợp phương thức tiếp cận mờ và thuật toán A-sao được đề nghị dựa trên các yếu tố như năng lượng còn lại, bước nhảy tối thiểu và lưu lượng của các nút.

Các tác giả đề xuất phương pháp định tuyến CAF sử dụng phương thức SEP, logic mờ và thuật toán A-Sao. Đề xuất chọn nút tối ưu để xây dựng cây đa chặng bằng cách xem xét 3 tiêu chí định tuyến: mức năng lượng còn lại cao nhất, số bước nhảy tối thiểu và số lưu lượng thấp nhất.

Đối với các giao thức đồng nhất Dutts R [64] đã kết hợp các giao thức đồng nhất LEACH với thuật toán FCM tạo ra một giao thức mới LAUCF, nó đã chứng minh được việc tiết kiệm năng lượng và kéo dài tuổi thọ sống cho mạng cảm biến, điều này được tác giả chứng minh khi so sánh LAUCF với LEACH. Với SEP là một giao thức không đồng nhất trong WSN, nó làm tăng thời gian ổn định của mạng. Tuy nhiên việc lựa chọn CH trong giao thức SEP tồn tại một nhược điểm đó là việc lựa chọn các CH từ hai loại nút Advance và Normal là không linh động, do đó các nút ở xa sẽ bị chết đầu tiên. CHEF là một cơ chế lựa chọn trường cụm cục bộ sử dụng logic mờ [65]. CHEF xác định một số yếu tố có thể ảnh hưởng đến tuổi thọ mạng. Như những nhân tố này, CHEF áp dụng hệ thống suy luận mờ FIS vào cơ chế bầu chọn trường cụm cục bộ mà sink không cần phải thu thập thông tin từ tất cả các nút. Bằng cách sử dụng logic mờ, chi phí tính toán được giảm và tuổi thọ mạng được mở rộng. Ngoài ra, hoạt động của cơ chế này được cục bộ hóa, sink không chọn các CH, các nút cảm biến chỉ bầu chọn các trường cụm bằng cách sử dụng logic mờ.

2.3. Thuật toán tối ưu năng lượng trong mạng không dây không đồng nhất dựa trên giao thức không đồng nhất DEC

2.3.1 Giới thiệu

Dựa trên các thuật toán phân cụm trong WSN không đồng nhất hiện có, việc xây dựng một thuật toán định tuyến mới dựa trên các giao thức [51], [53], [54] vẫn dựa trên tỉ lệ giữa mức năng lượng còn lại của nút và năng lượng trung bình của toàn mạng trong vòng hiện tại của từng loại nút không đồng nhất để xây dựng xác suất cho việc lựa chọn một nút trở thành CH đã được nghiên cứu. Tuy nhiên giao thức cải tiến này sẽ bổ sung thêm thành phần ước lượng khoảng cách vào trong xác suất lựa chọn CH cũng như bổ sung thêm thành phần ước lượng năng lượng còn lại vào trong việc xác định ngưỡng cho một nút trong quá trình phân cụm. Mục tiêu chính của giao thức này là giảm tổng tiêu thụ năng lượng trong mạng và kéo dài tuổi thọ mạng. Cải tiến này đã được chấp nhận trên tạp chí với tiêu “Improving Distributed Energy Efficient Clustering Algorithm to Save Lifetime for

2.3.2 Quá trình phân cụm

Trước hết, xét về mức độ không đồng nhất trong mạng thì giao thức đề xuất sẽ giữ ở mức độ 4, bao gồm 4 loại nút normal, advance, super, ultra-super với 4 mức năng lượng khởi tạo khác nhau giống như giao thức của nhóm tác giả đã trình bày nhưng thay vào đó giao thức đề xuất sẽ cải tiến ngưỡng hình thành cụm cũng như bổ sung thành phần ước lượng khoảng cách vào trong quá trình tính toán xác suất của việc lựa chọn CH.

Tương tự như các giao thức trên, mỗi nút sẽ chọn 1 số ngẫu nhiên trong khoảng (0,1). Nếu số này thấp hơn giá trị ngưỡng của nút s_i thì nút đó sẽ trở thành một CH.

Dựa trên giao thức của nhóm tác giả [53], [54] đưa ra để đưa vào giao thức cải tiến nhằm cải thiện ngưỡng T_s của các giao thức dựa trên WSN không đồng nhất đã xây dựng trước đây với mong muốn là những nút có mức năng lượng còn lại cao hơn sẽ có nhiều cơ hội trở thành CH hơn bằng cách thêm vào thành phần ước lượng năng lượng còn lại của một nút s_i , dựa trên tỉ lệ $(\frac{E_i}{E_0})$. Công thức (2.1) sẽ được xây dựng lại trong công thức (2.18)

$$T_{(s_i)} = \begin{cases} \frac{P}{1-P_i \times \lceil r \bmod \frac{1}{P_i} \rceil} \times \frac{E_i}{E_0}, & \text{if } s \in G \\ 0, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2.18)$$

(2.18) Công thức tính ngưỡng cho lựa chọn CH của giao thức đề xuất

Trong đó E_i là năng lượng còn lại của nút s_i ở vòng hiện tại và E_0 là năng lượng ban đầu của nút normal. Với P_i được định nghĩa riêng cho từng loại nút tùy theo mức độ không đồng nhất, ở đây là 4.

Xác suất cho việc lựa chọn CH được sửa đổi trong giao thức đề xuất bằng cách đưa vào thành phần ước lượng khoảng cách. Giả sử ta có $d_{hiện tại}$ là đoạn đường thực tế từ nút thứ i đến SINK. Khi đó ta có:

$$d_{hiện tại} = \sqrt{(X_i - X_{BS})^2 + (Y_i - Y_{BS})^2} \quad (2.19)$$

(2.19) Công thức tính khoảng cách của nút hiện tại đến SINK

Trong đó $d_{hiện tại}$: Khoảng cách hiện tại từ nút thứ i tới Sink.

(X_i, Y_i) : Tọa độ nút i .

(X_{BS}, Y_{BS}) : Tọa độ trạm gốc.

Mặt khác ta lấy $d_{\text{trung bình}}$ là đoạn đường trung bình từ một nút bất kỳ đến Sink, d_{toCH} là khoảng cách trung bình từ CH đến các nút thành viên trong cụm và d_{toSINK} là khoảng cách trung bình của các CH đến Sink. d_{toCH} và d_{toSINK} được xây dựng trong công thức (2.20).

$$d_{\text{trung bình}} = d_{\text{toBS}} + d_{\text{toCH}} \quad (2.20)$$

Nếu khoảng cách hiện tại $d_{\text{hiện tại}} \leq d_{\text{trung bình}}$

Thì xác suất lựa chọn một nút trở thành CH sẽ được tính theo công thức

Nếu $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$, thì

$$P_{(i)\text{cải tiến}} = \begin{cases} \frac{P_{\text{opt}} \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} * \frac{d_{\text{hiện tại}}}{d_{\text{trung bình}}} \text{ cho các normal node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+a) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} * \frac{d_{\text{hiện tại}}}{d_{\text{trung bình}}} \text{ cho các advance node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+b) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} * \frac{d_{\text{hiện tại}}}{d_{\text{trung bình}}} \text{ cho các super node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+u) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} * \frac{d_{\text{hiện tại}}}{d_{\text{trung bình}}} \text{ cho các ultra – super node} \end{cases} \quad (2.21)$$

(2.21) Công thức tính xác suất cải tiến khi $d_{\text{hiện tại}} \leq d_{\text{trung bình}}$ với điều kiện $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$ trong giao thức đề xuất

Nếu $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$, Thì

$$P_{(i)\text{cải tiến}} = c. \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+u) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} * \frac{d_{\text{hiện tại}}}{d_{\text{trung bình}}} \text{ cho tất cả các node}$$

(2.21) Công thức tính xác suất cải tiến khi $d_{\text{hiện tại}} \leq d_{\text{trung bình}}$ với điều kiện $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$ trong giao thức đề xuất

Ngược lại nếu $d_{\text{hiện tại}} > d_{\text{trung bình}}$

Thì xác suất lựa chọn một nút trở thành CH sẽ được tính theo công thức như [54] cho 4 loại nút không đồng nhất.

Nếu $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$, thì

$$P_{(i)} = \begin{cases} \frac{P_{\text{opt}} \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} \text{ cho các normal node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+a) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} \text{ cho các advance node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+b) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} \text{ cho các super node} \\ \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+u) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} \text{ cho các ultra – super node} \end{cases} \quad (2.22)$$

(2.22) Công thức tính xác suất khi $d_{\text{hiện tại}} > d_{\text{trung bình}}$ với điều kiện $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$ trong giao thức đề xuất

Nếu $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$, thì

$$P_{(i)} = c \cdot \frac{P_{\text{opt}} \cdot (1+u) \cdot E_i(r)}{1+m(a+m_0(-a+b+m_1(-b+u))) \cdot \bar{E}(r)} \text{ cho tất cả các node} \quad (2.23)$$

(2.23) Công thức tính xác suất khi $d_{\text{hiện tại}} > d_{\text{trung bình}}$ với điều kiện $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$ trong giao thức đề xuất

Với $T_{\text{absolute}} = z \cdot E_0$ [43]

2.3.3 Hoạt động của giao thức đề xuất

Bước 1: Tính toán năng lượng hiện tại của nút mạng thứ i (E_i), năng lượng của vòng hiện tại (E_r) theo công thức (2.10) và khoảng cách trung bình của một nút bất kỳ đến Sink ($d_{\text{trung bình}}$) theo công thức (2.20).

Bước 2: Ước lượng năng lượng trung bình của toàn mạng ở vòng hiện tại theo công thức 2.7

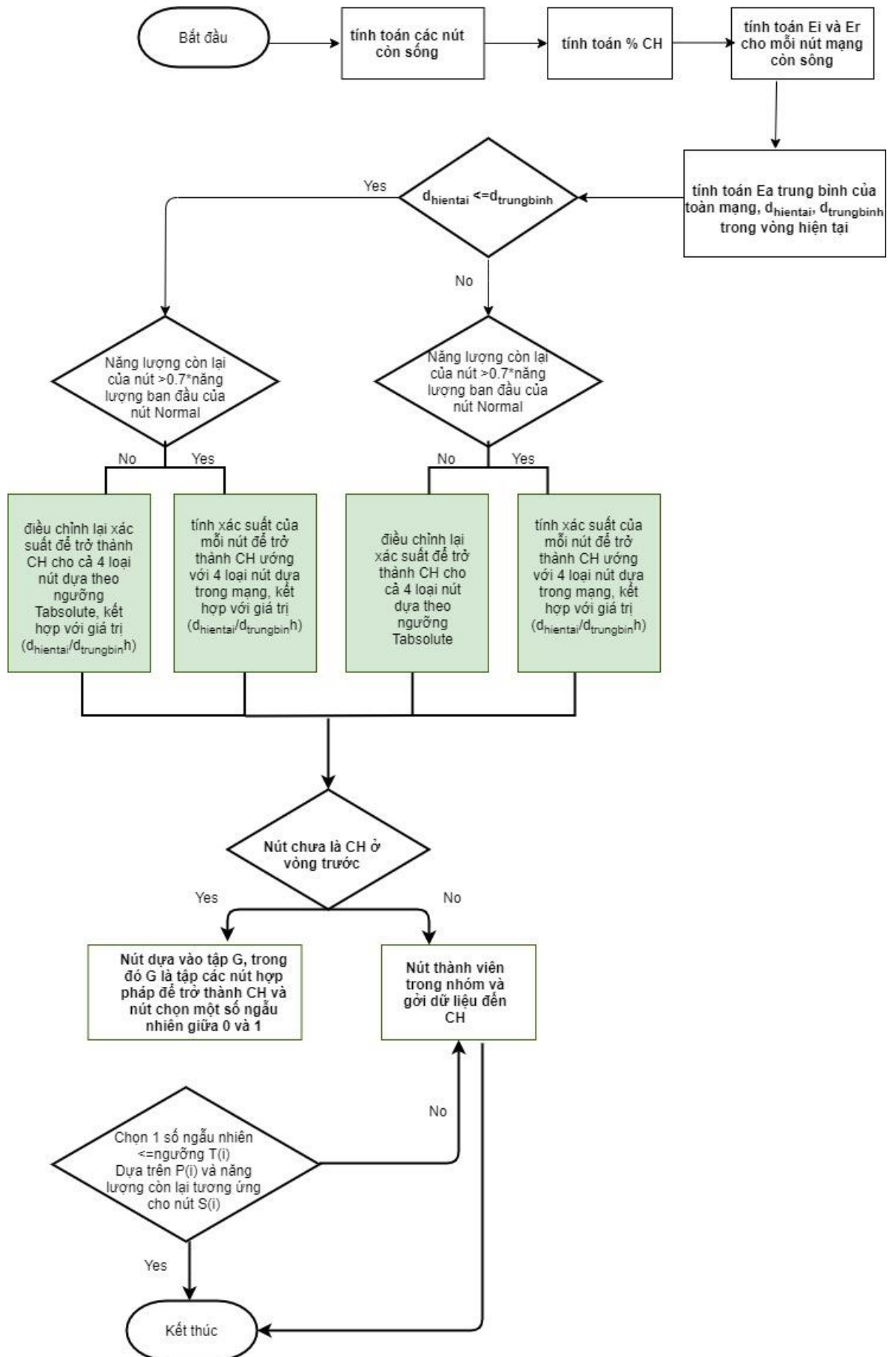
Bước 3: Xem xét nếu $d_{\text{hiện tại}} \leq d_{\text{trung bình}}$ thì xác suất lựa chọn CH $P_{(i)}$ sẽ được tính theo công thức (2.21) (nếu $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$) hoặc (2.22) (nếu $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$).

Ngược lại nếu $d_{\text{hiện tại}} > d_{\text{trung bình}}$ thì xác suất $P_{(i)}$ sẽ được tính theo công thức (2.23) (nếu $E_i(r) > T_{\text{absolute}}$) hoặc (nếu $E_i(r) \leq T_{\text{absolute}}$).

Bước 4: Xét nút được lựa chọn làm CH đã là CH chưa. Nếu chưa thì sẽ chọn nút này làm CH cho vòng tiếp theo và chuyển đến bước 5, ngược lại nếu nút được lựa chọn đã làm CH trong vòng trước đó rồi thì sẽ trở thành nút thành viên cho cụm và kết thúc quá trình lựa chọn CH.

Bước 5: Chọn một số ngẫu nhiên từ 0 đến 1. Sau đó so sánh số này với giá trị ngưỡng T_{s_i} (T_{s_i} dựa trên công thức cải tiến (2.18)). Nếu số ngẫu nhiên $\leq T_{s_i}$ thì sẽ chọn nút thứ i làm CH sau đó kết thúc quá trình chọn CH, ngược lại nếu số ngẫu nhiên $> T_{s_i}$ thì nút i sẽ trở thành nút thành viên cho cụm và kết thúc quá trình lựa chọn CH.

Dựa vào sơ đồ do nhóm tác giả [39], [66] đưa ra. Thuật toán được tiến hành xây dựng với sơ đồ cải tiến như sau:

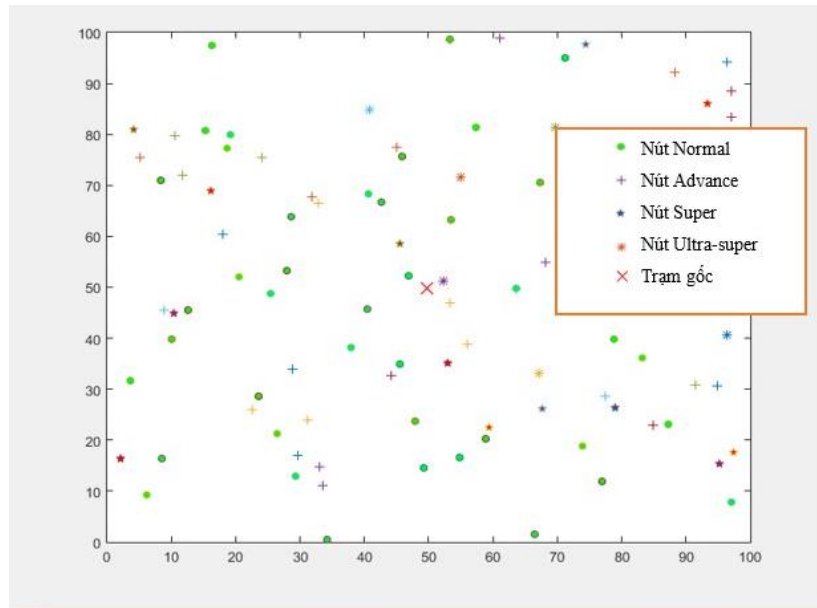


Hình 2-7 Sơ đồ khối cho các giao thức EDEEC, EDDEEC, BEENISH, Giao thức đề xuất trong quá trình lựa chọn CH
Thuật toán trên đã tiến hành mô phỏng và so sánh kết quả với các giao thức khác trên phần mềm mô phỏng MATLAB R2015a.

2.3.4 Đánh giá giải pháp

2.3.4.1 Mô hình mạng

Việc đánh giá kết quả của thuật toán sử dụng chương trình Matlab dựa trên mô hình mạng sử dụng bao gồm N (100) nút trong trường mạng M X M (100m x 100m). Với 4 loại nút cảm biến bao gồm các nút Normal, Advance, Super, Ultra-super được triển khai ngẫu nhiên nhằm chứng tỏ sự không đồng nhất trong mạng cảm biến với trạm gốc SINK được đặt tại trung tâm của trường cảm biến tọa độ (50, 50) như thể hiện trong hình 2.8.



Hình 2-8 Mô hình mạng cảm biến không đồng nhất 4 mức độ

Trong mô hình mạng, một số giả định đã được thực hiện cho các nút cảm biến cũng như cho cấu trúc mạng. Theo đó, các giả định và tính chất của mạng và các nút cảm biến được thể hiện như sau:

- Các nút cảm biến được triển khai một cách ngẫu nhiên trong mạng.
- Có một trạm cơ sở nằm ở trung tâm của trường cảm biến.
- Các nút luôn có dữ liệu để gửi đến trạm cơ sở.
- Các nút không nhận biết được vị trí, tức là không được trang bị ăngten GPS.
- Tất cả các nút có khả năng tương tự về mặt cảm biến và truyền thông. Điều này thúc đẩy sự cần thiết phải kéo dài tuổi thọ của mỗi cảm biến.

Các nút cảm biến có tính không đồng nhất về năng lượng, nghĩa là các mức năng lượng khác nhau. Tất cả các nút có năng lượng ban đầu khác nhau; Một số nút được trang bị nhiều năng lượng hơn các nút bình thường

2.3.4.2 Tham số của giao thức đề xuất

Bảng 2-1: Bảng các tham số mô phỏng

Tham số	Giá trị
Kích thước mạng (m ²)	100 x100
Vị trí nút gốc (m)	(50,50)
Số lượng nút mạng	100
Chiều dài gói tin dữ liệu (bits)	4000
Khoảng cách ngưỡng, d_0 (m)	70
Năng lượng điện tích thu phát, E_{elec}	50 nJ/bit
Năng lượng tổng hợp dữ liệu, E_{DA}	5 nJ/bit
Năng lượng truyền bộ tín hiệu, E_{fs} , nếu $d_{toSINK} < d_0$	10 pJ/bit/m ²
Năng lượng truyền bộ tín hiệu, E_{amp} , nếu $d_{toSINK} \geq d_0$	0.0013 pJ/bit/m ⁴
Xác suất CH tối ưu, P_{opt}	0.1
4 cấp độ không đồng nhất	
Phần trăm số lượng nút Advance, m	0.5
Phần trăm số lượng nút Super, m_0	0.4
Phần trăm số lượng nút Ultra-super, m_1	0.3
Năng lượng cho các nút Advance, a	1.5
Năng lượng cho các nút Super, b	2.5
Năng lượng cho các nút Ultra-super, u	3.5
Năng lượng ban đầu cho các nút Normal (Joules)	0.5

2.3.4.3 Tiêu chí đánh giá hiệu suất

Các chỉ số hiệu suất được sử dụng cho việc đánh giá các giao thức là: thời gian ổn định, tuổi thọ mạng, và số lượng các gói tin được gửi tới BS.

Thời gian ổn định: Theo thời gian ổn định, đến số vòng mà nút đầu tiên chết hoặc số vòng từ khởi tạo mạng cho đến khi nút đầu tiên bị chết.

Tuổi thọ mạng: Số vòng mà tất cả các nút chết hoặc số vòng từ khởi tạo mạng cho đến khi tất cả các nút bị chết.

Số lượng gói tin được gửi đến BS: Tổng số gói tin được gửi trực tiếp đến BS từ các kênh CHs hoặc các nút không phải CH.

2.3.4.4 Kịch bản mô phỏng

Tọa độ trạm gốc	Tiêu chí đánh giá	Giao thức đánh giá
(50,50)	<ul style="list-style-type: none"> • Độ ổn định (nút đầu tiên chết) • Thời gian sống (nút cuối cùng chết) • Thông lượng (Số lượng gói tin gửi đến BS) • Năng lượng còn lại trung bình của các nút mạng 	EDEEC, EDDEEC, BEENISH, Giao thức đề xuất

Bảng 2-2: Kịch bản mô phỏng

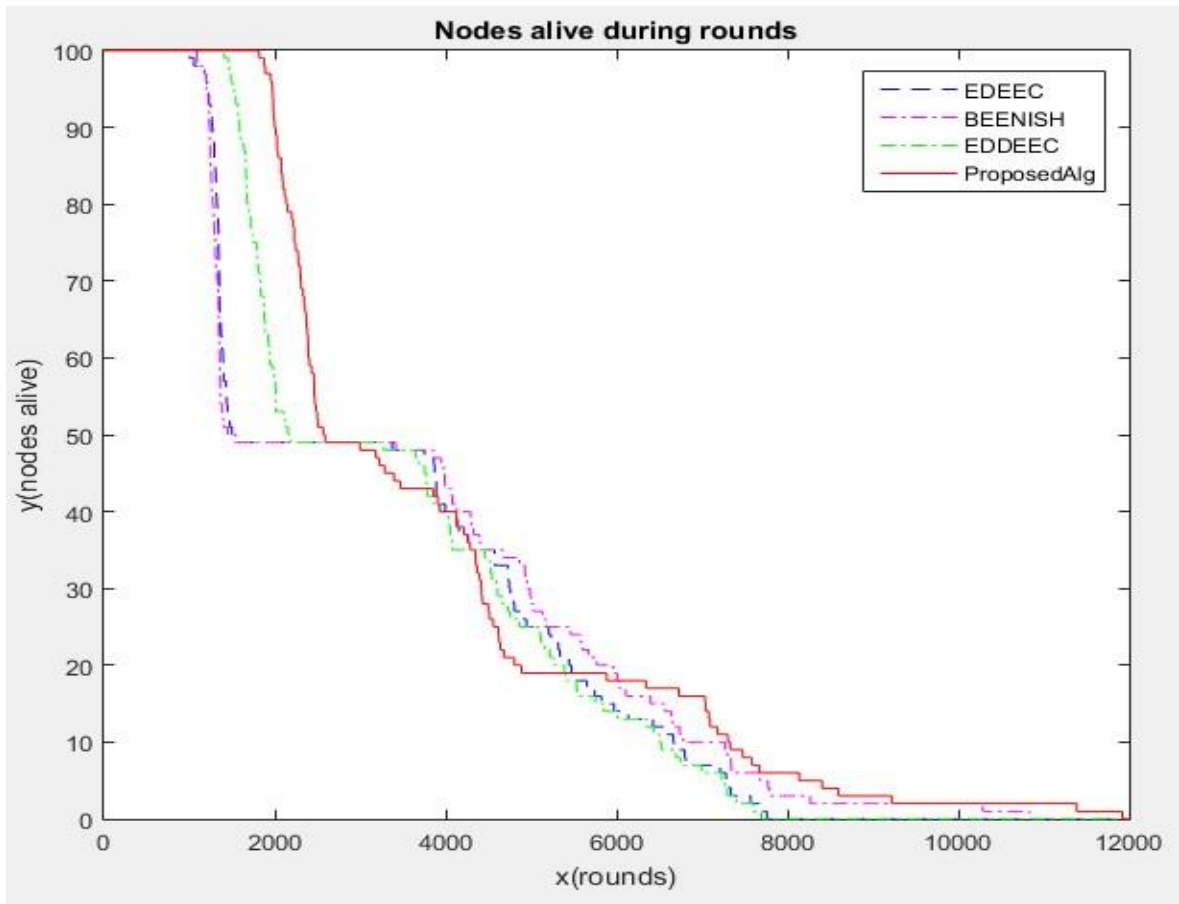
2.3.4.5 Kết quả mô phỏng và đánh giá

Độ ổn định và tuổi thọ mạng

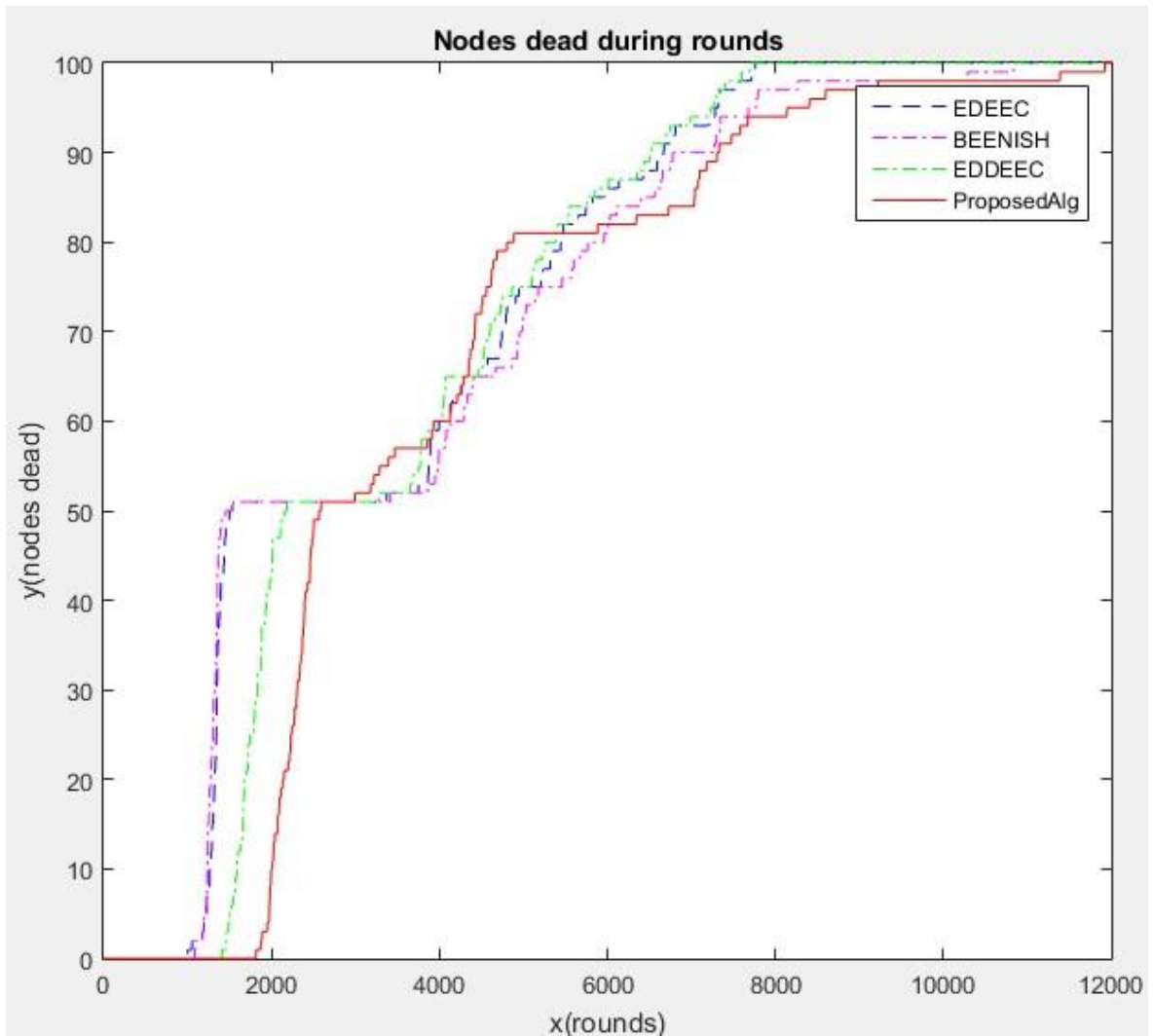
Thuật toán được mô phỏng trên một mạng có 50 nút normal có năng lượng E0, 30 nút advance có năng lượng gấp 2 lần so với các nút normal, 14 nút super có năng lượng gấp 5 lần so với các nút normal và 6 nút ultra-super có năng lượng gấp 7 lần các nút normal.

Bảng 2-3: Bảng so sánh tuổi thọ mạng của các giao thức tham gia mô phỏng

Giao thức	Nút đầu tiên chết (vòng)	Nút cuối cùng chết (vòng)
EDEEC	1003	7761
EDDEEC	1409	7697
BEENISH	1087	10839
Đề xuất	1817	11923



Hình 2-9- Đồ thị so sánh thời gian sống của các giao thức tham gia mô phỏng



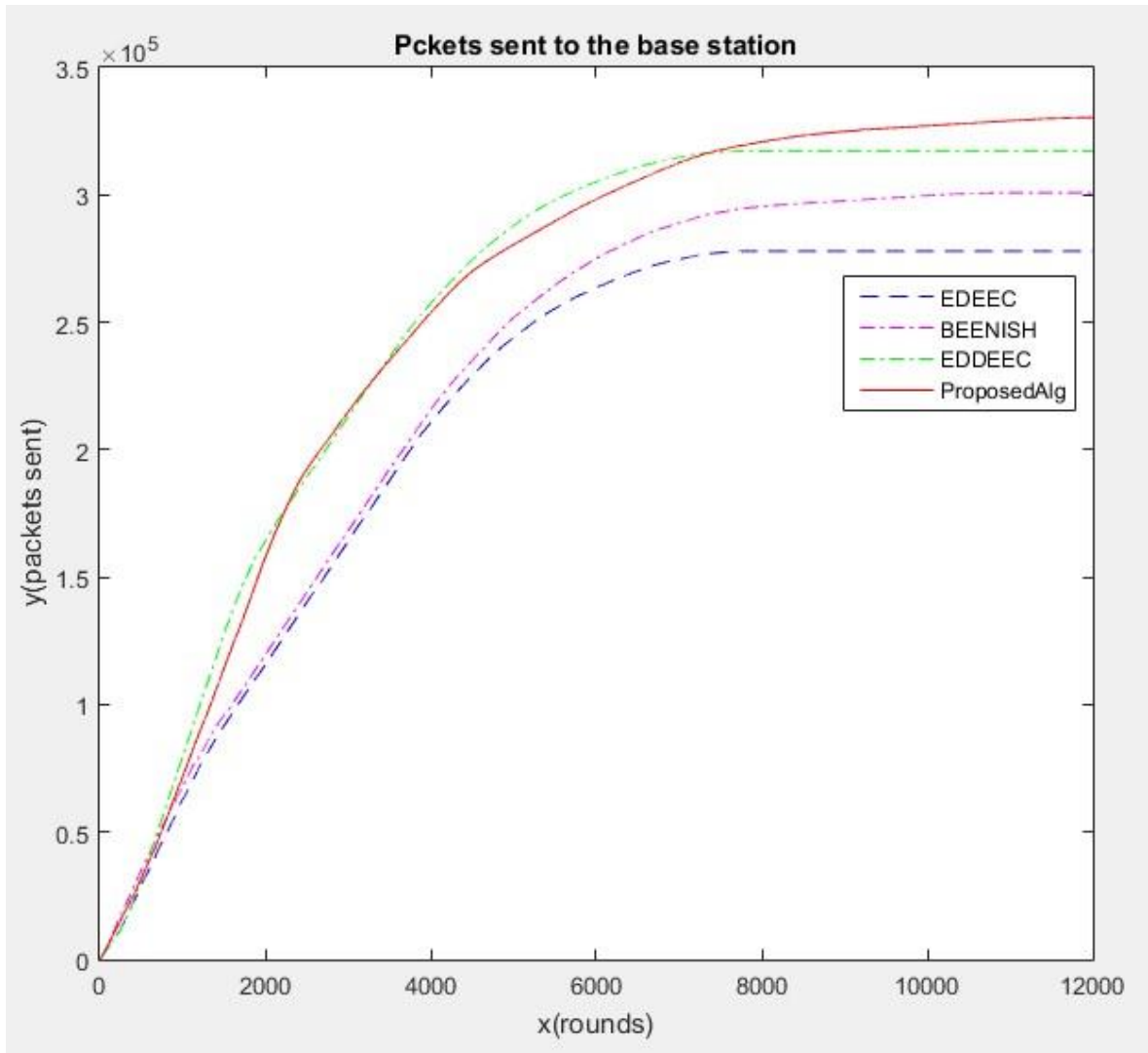
Hình 2-10: Đồ thị so sánh thời gian các nút chết của các giao thức tham gia mô phỏng

Hình 2.9 và 2.10 cho thấy số lượng các nút còn lại và chết trong suốt thời gian sống của mạng. Nút đầu tiên của EDEEC, EDDEEC, BEENISH, và giao thức được đề xuất chết ở các vòng 1003, 1409, 1087 và 1817, giao thức EDEEC cao hơn 81%, EDDEEC 28%, 67% BEENISH số vòng mà nút đầu tiên chết. Và tất cả các nút chết ở các dãy 7761, 7697, 10839 và 11923, giao thức đề xuất là cao hơn 53% EDEEC, 54% EDDEEC, 10% BEENISH của số vòng mà nút cuối cùng chết. Như vậy, giao thức đề xuất thực hiện tốt hơn so với các giao thức khác đã chọn hiện có về tuổi thọ mạng, thời gian ổn định.

Bảng 2-4: Bảng so sánh thông lượng và năng lượng còn lại trung bình của các giao thức tham gia mô phỏng

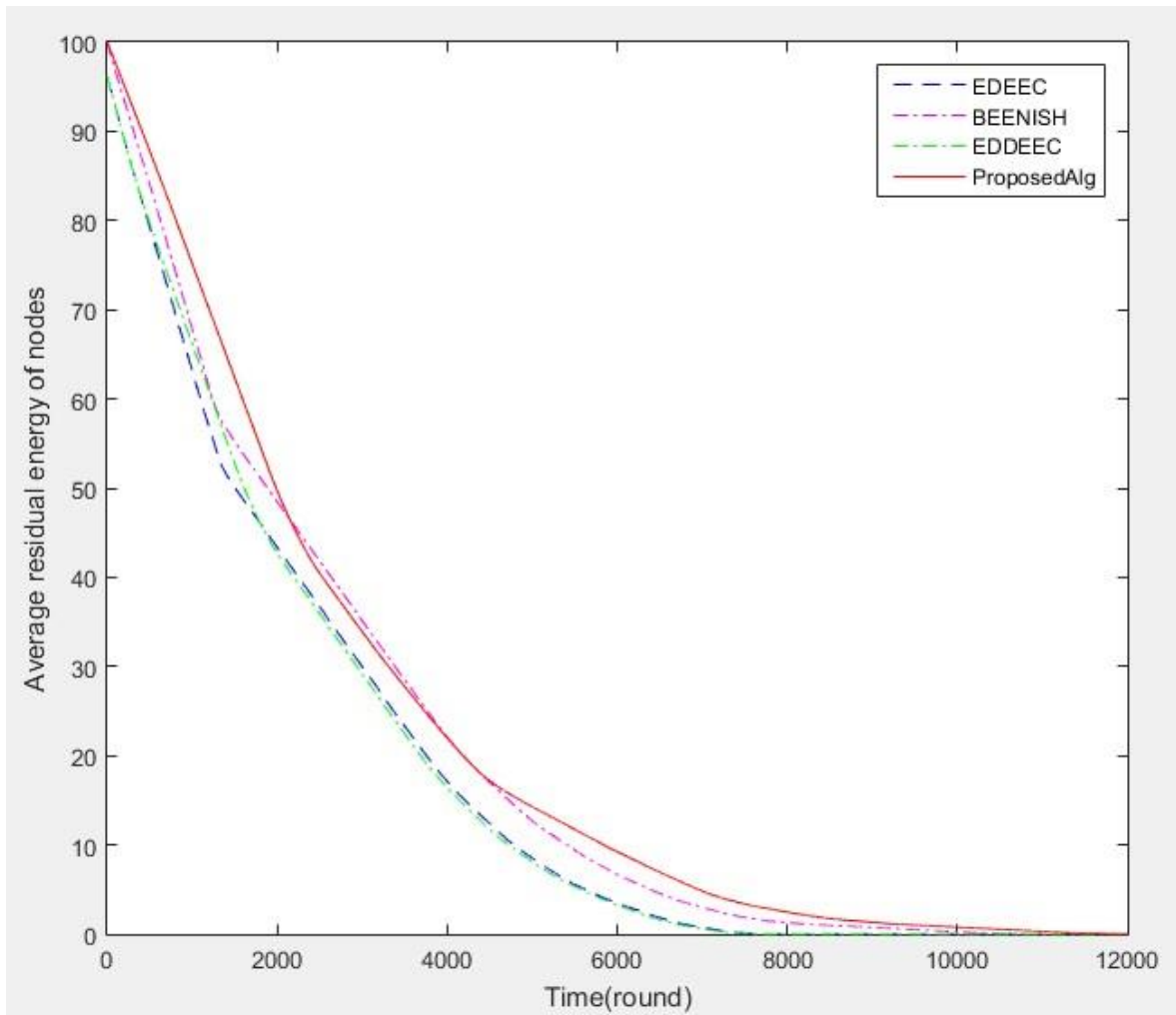
Giao thức	Thông lượng (gói tin/vòng)	Năng lượng còn lại trung bình của các nút (vòng)
EDEEC	277879	7813
EDDEEC	317084	7832
BEENISH	300801	10241
Đề xuất	330375	11712

Thông lượng (Số gói tin được gửi đến SINK)



Hình 2-11 Đồ thị so sánh thông lượng của các giao thức tham gia mô phỏng

Hình 2.11 cho thấy rằng dữ liệu được gửi đến SINK là nhiều hơn cho giao thức đề xuất so với các giao thức khác. Thông lượng cho EDEEC, EDDEEC, BEENISH, và giao thức đề xuất là 277879, 317084, 300801 và 330375. Giao thức đề xuất là cao hơn EDEEC 18,9% cao hơn, 4,1% EDDEEC, 9,8% BEENISH số lượng gói tin.



Hình 2-12. Đồ thị so sánh năng lượng còn lại trung bình của các giao thức tham gia mô phỏng

Hình 2.12 cho thấy năng lượng còn lại trung bình của các giao thức mô phỏng. Kết quả cho thấy giao thức được đề xuất là hiệu quả nhất giữa các giao thức khác về thời gian ổn định, tuổi thọ mạng, và số lượng các gói được gửi đến SINK.

2.4. Cải tiến việc phân cụm trong mạng cảm biến không dây

2.4.1 Giới thiệu thuật toán

Giao thức không đồng nhất SEP [64] đã được Smaragdakis chứng minh là tạo được sự ổn định và tuổi thọ hơn so với giao thức đồng nhất. Tuy nhiên chúng vẫn còn chứa một số hạn chế trong việc phân cụm đối với cụm có mật độ nút cao và phân bố trong không gian nhiều chiều phức tạp, việc phân cụm sẽ dẫn tới các cụm không đồng đều (cụm ít nút và cụm nhiều nút) điều này gây ra mất cân bằng tải cho mạng.

Thuật toán đề xuất này đã được nhóm tác giả công bố trong công trình [CT3] “A Proposal to Improve SEP Routing Protocol Using Insensitive Fuzzy C-Means in Wireless Sensor Network”

2.4.2 Thuật toán đề xuất

2.4.2.1 Phân cụm thuật toán ε FCM

Sử dụng thuật toán ε FCM [67], [68] trong việc lựa chọn nút CH và phân cụm thay cho cơ chế bầu chọn nút CH và phân cụm trong giao thức SEP. Hàm mục tiêu của thuật toán ε FCM được định nghĩa như sau:

$$J_{m\varepsilon}(U, V) = \sum_{k=1}^n \sum_{i=1}^c (u_{ik})^m \|x_k, v_i\|_\varepsilon \quad (2.24)$$

Trong đó $\|x_k, v_i\|_\varepsilon = \sum_{l=1}^p \|x_{kl} - v_{il}\|_\varepsilon$ Với ε là tham số phi nhạy cảm với nhiễu được Vapnick đề xuất năm 1998 như sau :

$$\|t\|_\varepsilon = \begin{cases} 0, & \|t\| \leq \varepsilon \\ \|t\| - \varepsilon & \|t\| > \varepsilon \end{cases} \quad (2.25)$$

$$u_{ik} = \begin{cases} \frac{1}{\sum_{j=1}^c \left(\frac{d_{ik}}{d_{jk}}\right)^{\frac{2}{m-1}}}; & I_k = \emptyset \\ 0; & i \neq I_k \\ \sum_{i \in I_k} u_{ik} = 1; & i \neq I_k, I_k \neq \emptyset \end{cases} \quad (2.26)$$

$$\forall_{1 \leq i \leq c} \forall_{1 \leq l \leq p} v_{il} = \frac{1}{\text{card}(A_i^+ \cup A_i^-)} \left[\sum_{\{k | \lambda_k^+ \in A_i^+\}} (x_{kl} + \varepsilon) + \sum_{\{k | \lambda_k^- \in A_i^-\}} (x_{kl} - \varepsilon) \right] \quad (2.27)$$

Các bước của thuật toán ε FCM:

Input : Số cụm c và các tham số m, ε cho hàm mục tiêu J;

Output : Các cụm dữ liệu sao cho hàm mục tiêu (2.27) đạt giá trị cực tiểu;

Begin

1. Nhập tham số số cụm c ($1 < c < n$), m ($1 < m < +\infty$), và $\varepsilon \geq 0$;
Khởi tạo ma trận $V = [v_{ij}]$, $V^{(0)} \in R^{s \times c}$, thiết lập j=0;
2. Repeat
 - 2.1 J:=j+1;
 - 2.2 Tính ma trận phân hoạch mờ $U^{(j)}$ theo công thức (2.26);
 - 2.3 Cập nhật các trung tâm cụm $V^{(j)} = [v_1^{(j)}, v_2^{(j)}, \dots, v_c^{(j)}]$ dựa vào công thức (2.27) và $U^{(j)}$
3. Until $(\|U^{(j+1)} - U^j\|_F \leq \varepsilon)$;
4. Trình diễn các cụm kết quả;

2.4.2.2 Phân cụm định tuyến SEP trong WSN

Giao thức SEP [42], [49], [64] xem xét đến mức năng lượng trong quá trình lựa chọn nút chính. SEP cải thiện vùng ổn định của tiến trình phân nhóm theo hình thức phân cấp sử dụng các thông số đặc trưng của tính không đồng nhất, bổ sung năng lượng giữa nút advance và nút normal. Để kéo dài thời gian ổn định, SEP cố gắng duy trì hạn tiêu thụ năng lượng. Các nút advance trở thành CH thường xuyên hơn các nút normal. Các nút advance thường được cấp năng lượng nhiều hơn so với nút normal. Tổng năng lượng của hệ thống thay đổi. Giả sử E_0 là năng lượng ban đầu nút normal thì năng lượng của nút advance sẽ được cài đặt $E_0(1+\alpha)$. Tổng năng lượng cần thiết lập (không đồng nhất) mới tương đương với: $n(1-m)E_0 + n m E_0(1+\alpha) = n E_0(1+\alpha m)$. Vì vậy tổng số năng lượng của hệ thống được tăng lên $(1+\alpha m)$ lần. Chúng ta có thể tăng vùng ổn định của mạng cảm biến $(1+\alpha m)$ lần.

Xác suất để những nút normal trở thành CH là 1 và nút advance trở thành CH là $1+\alpha$. Nếu ngưỡng $T(n)$ cùng được thiết lập cho nút normal và advance khác biệt ở chỗ nút normal thuộc G trở thành cụm đầu một lần và nút advance thuộc G trở thành cụm đầu $1+\alpha$ lần. P_{nrm} được định nghĩa là xác suất tuyển chọn trọng lượng cho các normal node và P_{adv} xác suất tuyển chọn trọng lượng cho các nút advance. Vậy xác suất trọng lượng cho nút normal và nút advance lần lượt là:

$$P_{nrm} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha m}$$

$$P_{adv} = \frac{P_{opt}}{1 + \alpha m} \alpha (1 + \alpha)$$

Hàm $T(n)$ được thay thế P_{opt} bởi xác suất trọng lượng để có được ngưỡng tuyển chọn CH trong mỗi vòng. Ngưỡng cho nút normal:

$$T(S_{nrm}) = \begin{cases} \frac{P_{nrm}}{1 - P_{nrm}(r \bmod \frac{1}{P_{nrm}})} & \text{nếu } S_{nrm} \in G' \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases} \quad (2.28)$$

Trong đó:

- r : vòng lặp hiện tại
- G' : nút normal chưa trở thành CH với $\frac{1}{P_{nrm}}$ vòng cuối cùng mỗi giai đoạn.
- $T(S_{nrm})$ là ngưỡng áp dụng cho $n(1-m)$ nút normal. Điều này đảm bảo rằng mỗi nút normal sẽ trở thành CH một lần trong $\frac{1}{P_{opt}} (1+\alpha m)$ vòng mỗi giai đoạn và đó là số trung bình những nút normal trở thành CH mỗi vòng là $n(1-m)P_{nrm}$.

Ngưỡng cho nút advance:

$$T(Sadv) = \begin{cases} \frac{Padv}{1 - Padv(r \cdot \text{mod } \frac{1}{Padv})} & \text{nếu } Snrm \in G'' \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases} \quad (2.29)$$

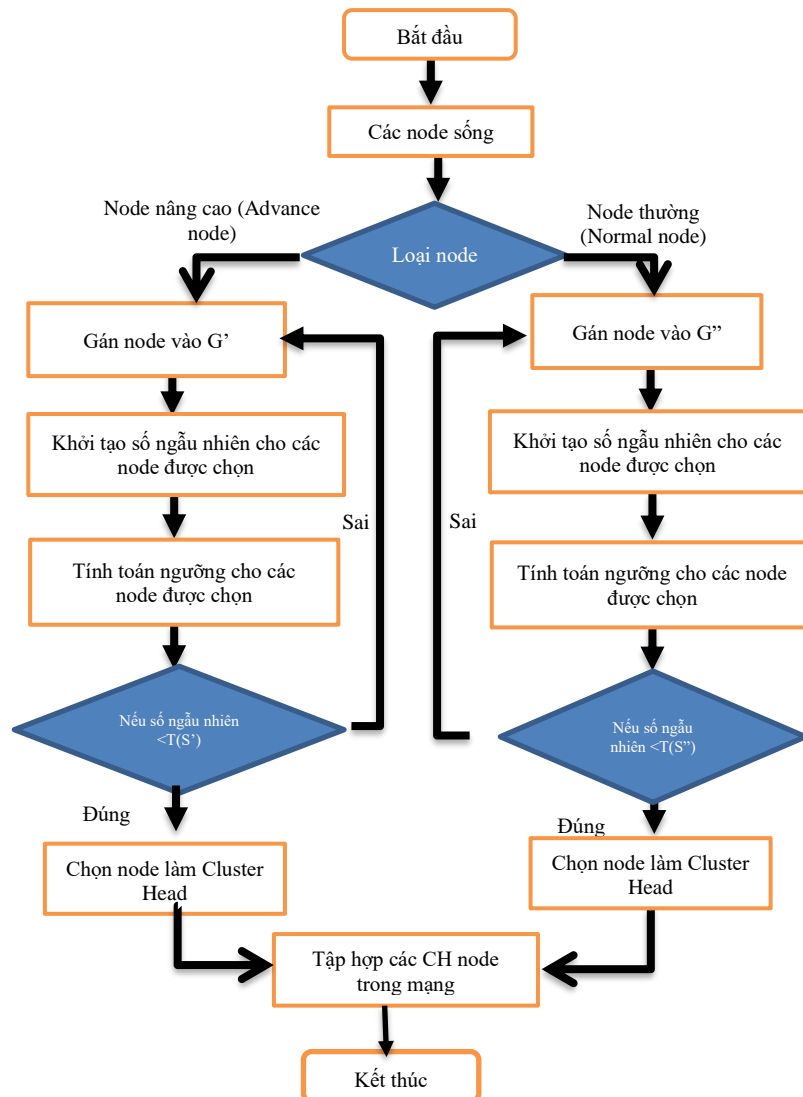
G'' : nút advance chưa trở thành CH trong $\frac{1}{Padv}$ vòng cuối cùng mỗi giai đoạn. $T(Sadv)$ là ngưỡng áp dụng cho $n \cdot m$ nút advance.

Chúng ta hãy xem giai đoạn này như giai đoạn phụ. Mỗi giai đoạn có $1 + \alpha$ giai đoạn con và nút advance trở thành CH chính xác $1 + \alpha$ lần trong giai đoạn. Trung bình nút advance trở thành CH mỗi vòng là $n \cdot Padv$.

Như vậy số lượng trung bình CH mỗi vòng là: $n \cdot (1 - m) \cdot Pnrm + n \cdot m \cdot Padv = n \cdot Popt$. Đây là số lượng mong muốn của CH trên vòng mỗi giai đoạn.

2.4.2.3 Đề xuất kết hợp thuật toán ϵFCM vào trong giao thức định tuyến SEP

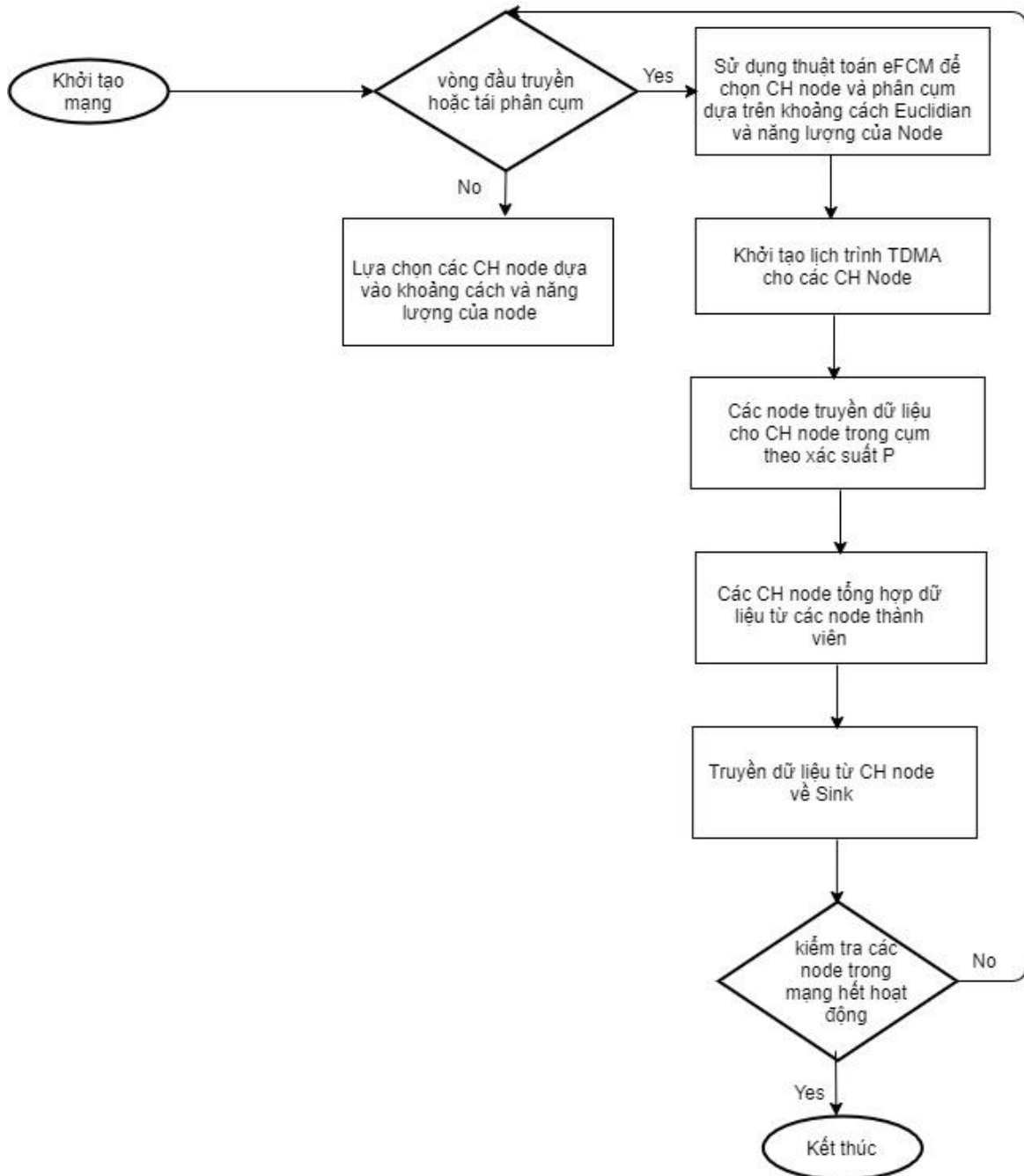
Với SEP là một giao thức không đồng nhất trong WSN, nó làm tăng thời gian ổn định của mạng. Tuy nhiên việc lựa chọn Cluster Head trong giao thức SEP tồn tại một nhược điểm là việc lựa chọn các Cluster Head từ hai loại node Advance node và Normal node không linh động, do đó các node ở xa sẽ bị chết đầu tiên.



Hình 2-13: Lược đồ chọn CH node trong giao thức SEP

Trong luận án này, việc cải tiến cải tiến quy trình trong việc lựa chọn cụm chủ và phân cụm được đề xuất một hướng tiếp cận mới đó là việc kết hợp thuật toán ϵ FCM vào giao thức SEP

Sơ đồ các bước của thuật toán kết hợp này được thể hiện trong hình sau:



Hình 2-14: Lược đồ các bước chạy của thuật toán SEP_ ϵ FCM

Đối với vòng truyền dữ liệu (truyền thông) đầu tiên chúng ta sử dụng thuật toán ϵ FCM để khởi tạo cụm để đảm bảo việc tất cả các node đều phân vào các cụm một cách tốt nhất dựa vào khoảng cách Euclidian tới tâm cụm và các tâm cụm được lựa chọn dựa trên mức năng lượng còn lại của node. Việc này làm cho mạng WSN tiết kiệm năng lượng hơn, qua đó tăng tuổi thọ của mạng WSN lên.

2.4.3 Đánh giá giải pháp

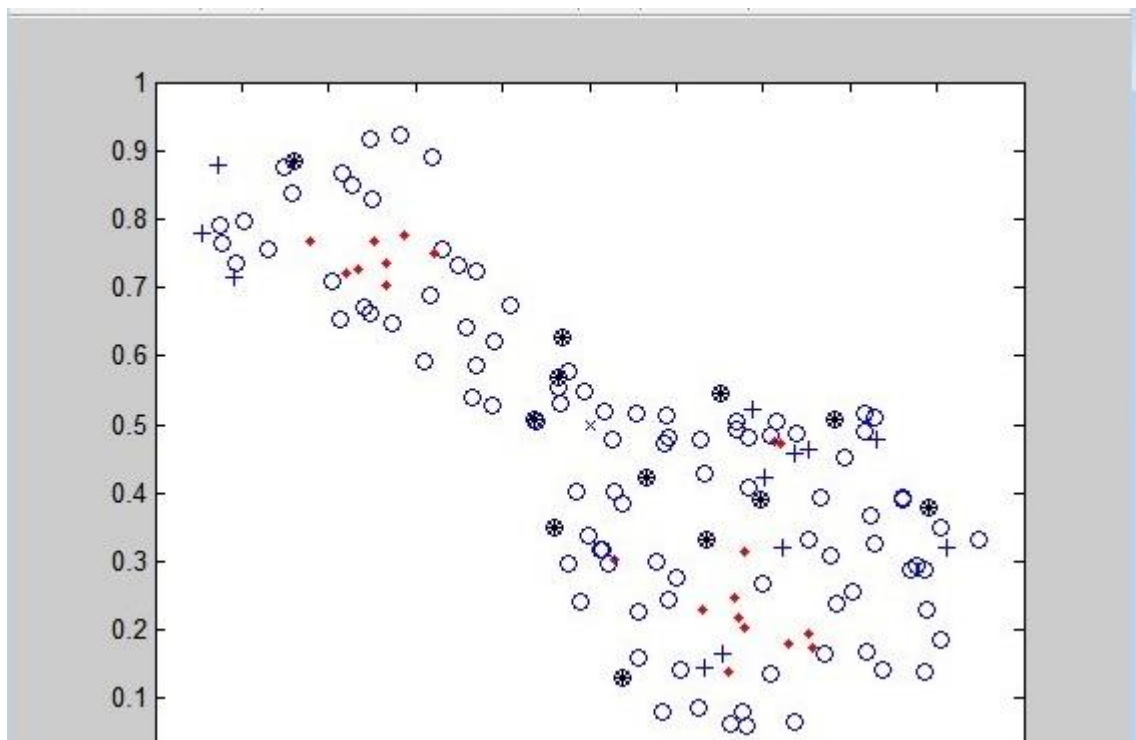
Việc sử dụng phần mềm Matlab để thực hiện mô phỏng cho thuật toán được đề xuất trên 140 node có tọa độ cố định trong mạng lưới 500x500, với năng lượng không đồng đều giữa các node để thể hiện ảnh hưởng không đồng đều giữa các node trong mạng, 10% các node có năng lượng 1 Joules ($a=1$, $P_{opt}=0.1$), 90% các node có năng lượng 0.5 Joules. Vị trí sink đặt tại (250, 250), độ dài mỗi thông điệp 500 bytes, hệ số khuếch đại $\epsilon_{fs}=10\text{pJ/bit/m}^2$ và $\epsilon_{mp}=0.0013\text{pJ/bit/m}^4$, số vòng lặp tối đa là 6000. Các tham số đầu vào là cố định, sẽ lần lượt đưa các tham số này vào chạy giao thức SEP và giao thức đề xuất SEP_ ϵ FCM. Sau đó so sánh kết quả giữa giao thức đề xuất SEP_ ϵ FCM với giao thức SEP dựa trên các chỉ số như: Số lượng các node sống, số lượng các node chết và năng lượng còn lại của các node.

Bảng 2-5: Bảng mô tả các ký hiệu trong hình mô phỏng

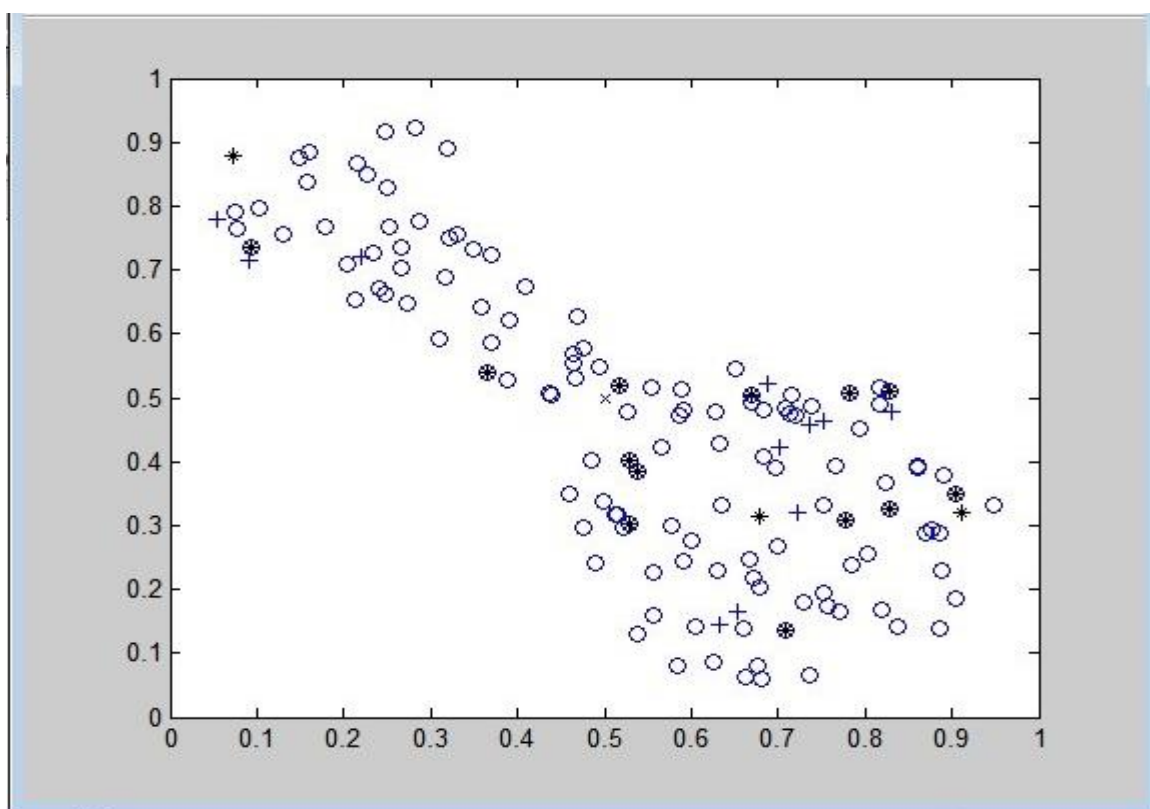
THAM SỐ	GIÁ TRỊ
Kích thước mạng	500x500
SINK	(250, 250)
Rounds	6000
ϵ_{fs}	10pJ/bit/m^2
ϵ_{mp}	0.0013pJ/bit/m^4
EDA	5 nJ/bit/packet
E_0	0.5J
N	140
A	1
K	15
P_{opt}	0.1

Sau 1200 vòng chạy, kết quả cho thấy trong khi giao thức SEP các node bắt đầu chết (Hình 2.17), trong khi đó ở giao thức kết hợp SEP_ ϵ FCM chưa xuất hiện node chết (Hình 2.18). Điều này chứng minh giao thức kết hợp SEP_ ϵ FCM có hiệu quả sử dụng năng lượng cao hơn giao thức SEP thông thường.

Kết quả sau 1200 vòng chạy đầu tiên



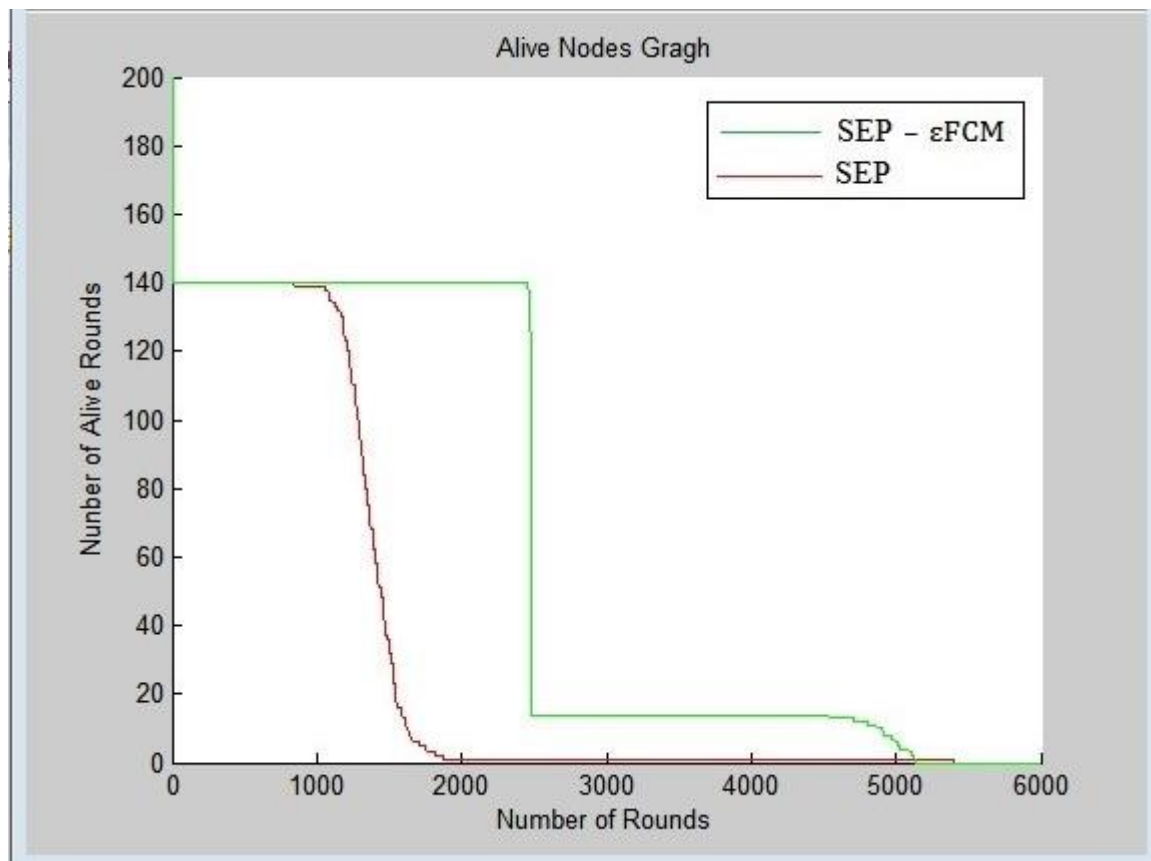
Hình 2-15: Giao thức SEP sau 1200 vòng chạy



Hình 2-16: Giao thức kết hợp SEP_εFCM sau 1200 vòng chạy

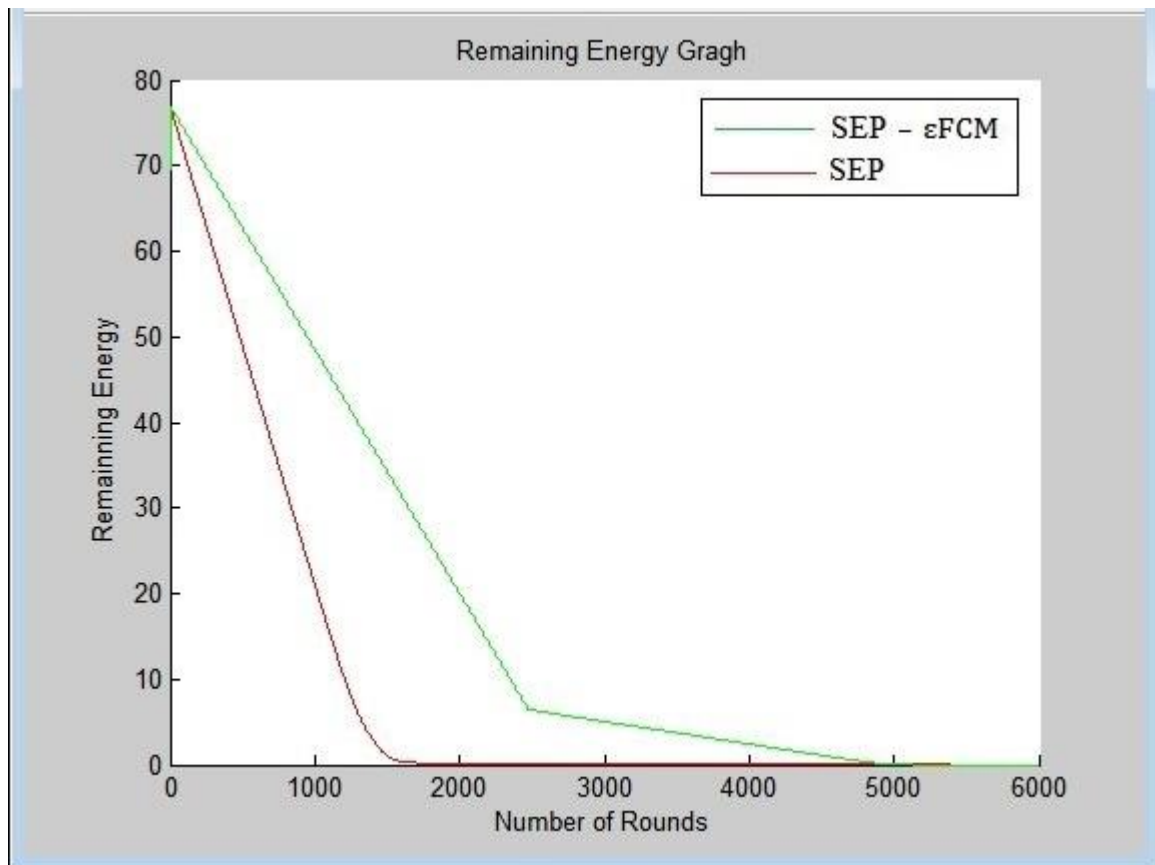
Hình 2.16 cho ta thấy các node sống trong giao thức kết hợp giữa SEP_εFCM có số node sống nhiều hơn so với giao thức SEP. Sau vài vòng đầu chưa ổn định, nhưng sau đó số node sống bắt đầu tăng lên, điều này chứng minh giao thức kết hợp SEP_εFCM tiêu thụ năng lượng hiệu quả hơn giao thức SEP. Kết quả cho thấy giao

thức kết hợp SEP_εFCM đã cải thiện được các node sống nhiều hơn so với giao thức SEP. Kết quả cho thấy rằng thời gian ổn định tăng và số node sống của giao thức kết hợp tăng 21 % so với giao thức cũ (sau 800 vòng chạy thì SEP xuất hiện node chết đầu tiên, sau 2790 vòng SEP_εFCM xuất hiện node chết đầu tiên → $(2465-798)/798=2.08897243 \sim 2.1=21 \%$))



Hình 2-17: Nút sống

Trong hình 2.17, năng lượng còn lại của giao thức kết hợp SEP_εFCM nhiều hơn so với giao thức SEP. Kết quả cho thấy giao thức kết hợp SEP_εFCM đã cải thiện được năng lượng còn lại so với giao thức SEP. Nhờ có việc phân cụm linh động do đó năng lượng toàn mạng đã tăng lên được 3.3% (sau 4985 vòng chạy thì các node trong SEP chết hết, sau 5150 vòng SEP_εFCM các node chết hết → $(5150-4985)/4985=0.0330993 = 3.3 \%$)



Hình 2-18: Năng lượng còn lại

Trong thuật toán này, việc kết hợp thuật toán phân cụm mờ ϵ FCM trong việc lựa chọn CH node vào giao thức SEP đã cho thấy giao thức mới được đề xuất có mức tiêu thụ năng lượng thấp và có thời gian sống của toàn mạng lâu hơn so với giao thức SEP. Điều này giúp cho mạng kéo dài thời gian sống. Do hạn chế của các nguồn năng lượng và do thực tế rằng giao tiếp làm tiêu hao điện năng đáng kể trong một nút cảm biến, phạm vi truyền dẫn của các nút này được giới hạn cho mục đích năng lượng hiệu quả, các nút cảm biến xa sink sẽ sử dụng chuyển tiếp đa chặng (multi hop) để truyền dữ liệu đến sink. Kết quả truyền thông đa chặng cho thấy tiêu hao năng lượng không cân bằng trong các phần khác nhau trong mạng, các nút xung quanh sink thì cạn kiệt năng lượng nhanh hơn nhiều so với các nút ở xa. Điều này không chỉ gây ra những cảm biến gần sink ngưng hoạt động, mà còn làm cho sink không thể truy cập bởi các nút cảm biến khác. Trong trường hợp này, các dữ liệu cảm biến không thể gửi thành công đến sink, dữ liệu chuyển tiếp đến các bộ cảm biến gần sink bị tắc nghẽn theo dạng thắt nút cổ chai có thể làm cho mạng ngưng hoạt động, đây là một kết quả trực tiếp của việc có một sink tĩnh (cố định). Do đó, để đạt được kết quả tiết kiệm năng lượng cao hơn, tính di động của trạm thu phát nhằm tăng tuổi thọ WSN. Vì vậy NCS cũng đang tiếp tục nghiên cứu để áp dụng các giải thuật toán Sink di động để nâng cao hiệu quả tiết kiệm năng lượng hơn nữa

2.5. Phương pháp lựa chọn tuyến đường giữa các nút và cân bằng giữa chúng để kéo dài tuổi thọ cho mạng cảm biến

2.5.1 Giới thiệu thuật toán

Mục tiêu chính của đề xuất này là thiết kế một thuật toán để kéo dài tuổi thọ mạng cảm biến không dây thông qua việc hạn chế chi phí năng lượng cũng như phân phối đồng đều mức tiêu thụ năng lượng. Đề xuất này đưa ra một cách tiếp cận mới bằng cách kết hợp phương pháp tiếp cận mờ và thuật toán A-Sao để chọn tuyến đường định tuyến tối ưu từ nguồn đến đích bằng cách cân nhắc 3 tiêu chuẩn định tuyến (Năng lượng còn lại cao nhất, số hop tối thiểu và tải lưu lượng thấp nhất) kết hợp với biến α (xác định nút thường và nút tốt) để chọn nút lân cận tối ưu so với việc để thuật toán tự chọn ngẫu nhiên các nút và cân bằng giữa chúng để kéo dài tuổi thọ cho mạng cảm biến. Đề xuất này được công bố trong [CT4, CT5]

2.5.2 Mô hình giải pháp

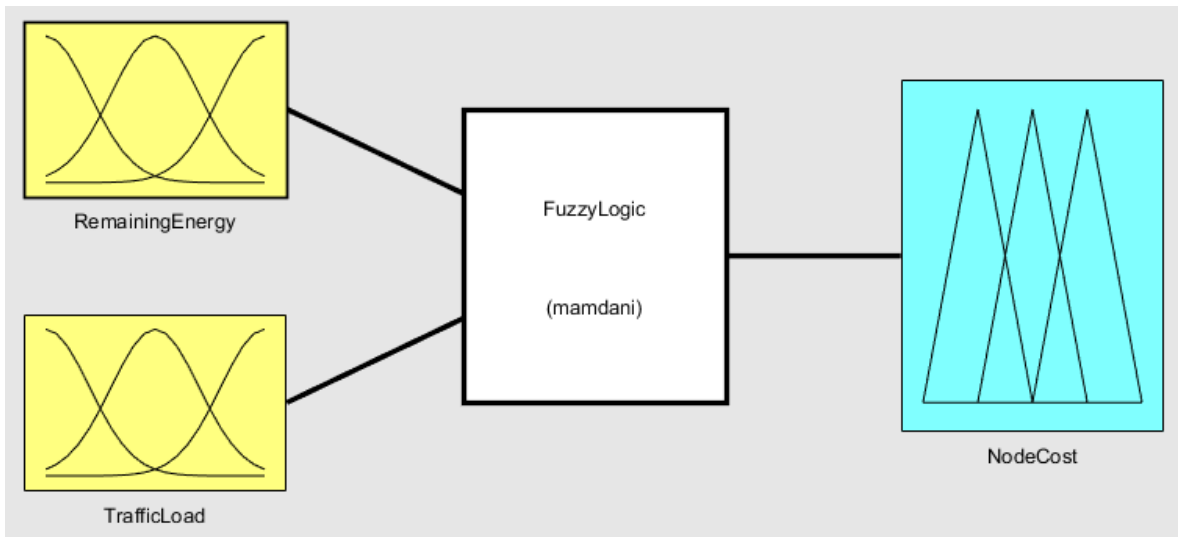
a) Cài đặt logic mờ

Việc sử dụng logic mờ trong đề xuất là xác định giá trị chi phí tối ưu cho một liên kết giữa hai nút cảm biến sao cho tuổi thọ mạng đạt tối đa. Tuổi thọ của các mạng cảm biến không dây thường được định nghĩa là thời điểm khi mức năng lượng của nút cảm biến đầu tiên trở thành mức 0. Cơ sở quy tắc mờ đã được điều chỉnh để không chỉ kéo dài tuổi thọ của mạng cảm biến mà còn để cân bằng tải định tuyến giữa các nút cảm biến một cách hiệu quả sao cho số nút tối đa có đủ năng lượng để tiếp tục thực hiện nhiệm vụ cảm biến của riêng chúng.

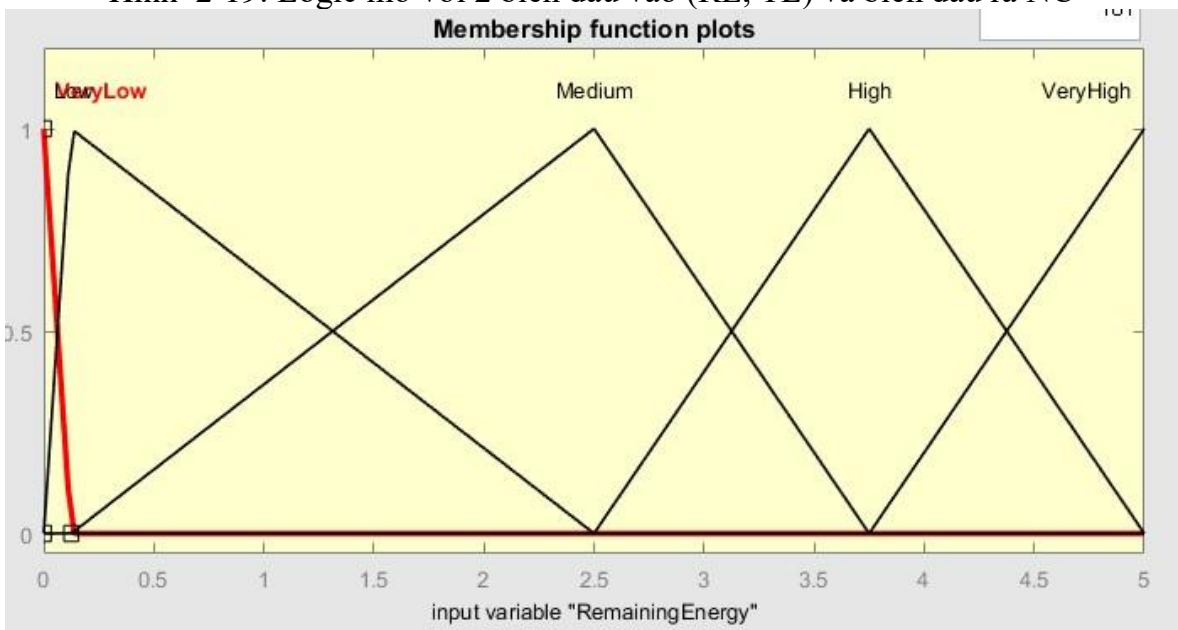
Một số các chỉ số khác nhau được sử dụng để kéo dài tuổi thọ của các mạng cảm biến. Các chỉ số này như sau:

Năng lượng còn lại (Remaining Energy – RE), Bước nhảy tối thiểu (Minimum Hop – MH), Tải lưu lượng (Traffic Load – TL).

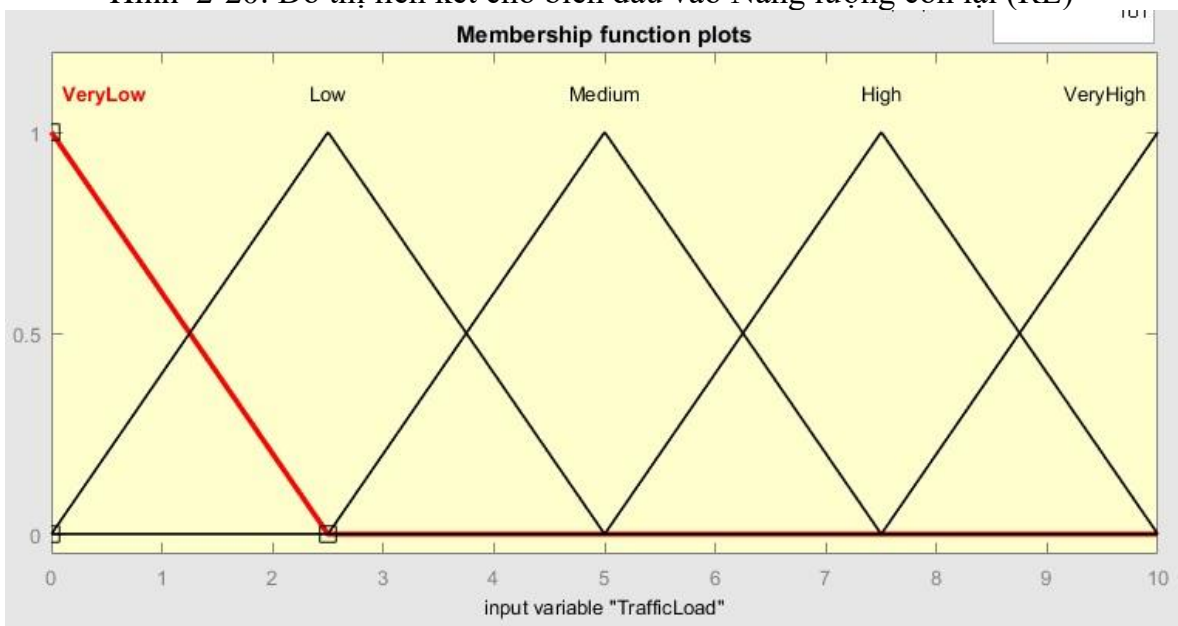
Giao thức được đề xuất xác định giá trị tối ưu chi phí $NC(n)$ của nút n phụ thuộc vào năng lượng còn lại $RE(n)$ và tải lưu lượng $TL(n)$, sử dụng 5 hàm liên kết cho mỗi tập đầu vào (RE, TL) và một biến đầu ra (NC) như hình 2.19, 2.20, 2.21, 2.22.



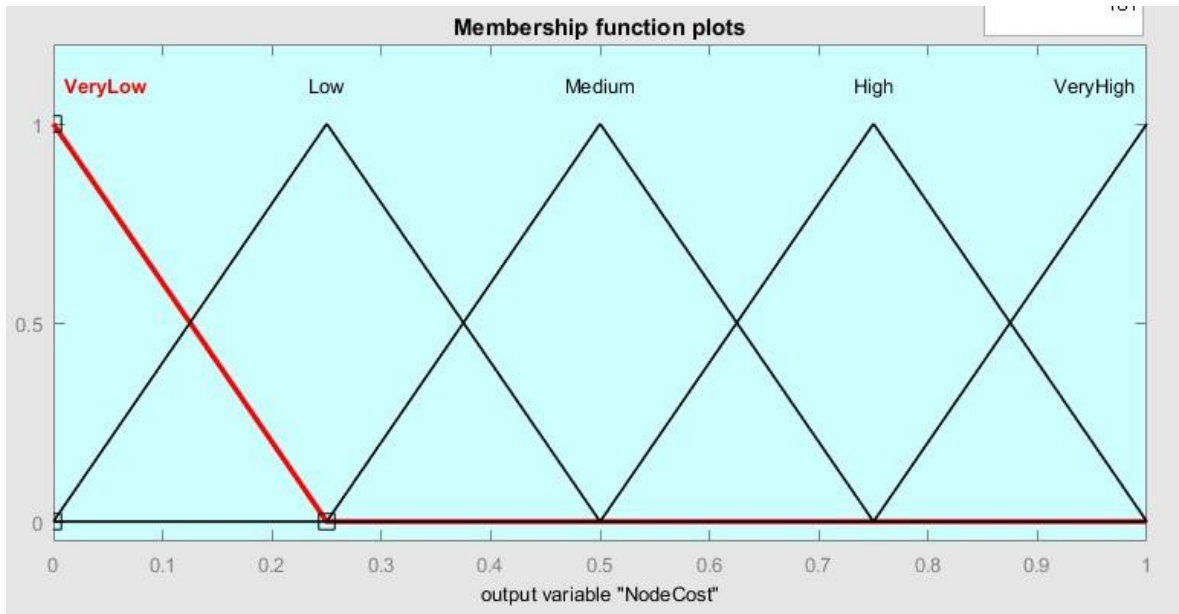
Hình 2-19: Logic mờ với 2 biến đầu vào (RE, TL) và biến đầu ra NC



Hình 2-20: Đồ thị liên kết cho biến đầu vào Năng lượng còn lại (RE)



Hình 2-21: Đồ thị liên kết cho biến đầu vào Tải lưu lượng (TL)



Hình 2-22: Đồ thị liên kết cho biến đầu ra Chi phí nút (NC)

Đối với phương pháp tiếp cận mờ, các giá trị mờ được xử lý bởi cơ chế suy luận, bao gồm một cơ sở quy tắc và các phương pháp khác nhau để suy luận các quy tắc. Bảng 2.6 cho thấy các quy tắc Nếu-Thì được sử dụng trong phương pháp đề xuất với tổng số $5^2 = 25$ cơ sở quy tắc mờ. Ví dụ, nếu $RE(n)$ là rất cao và $TL(n)$ là rất thấp thì $NC(n)$ là rất cao. Tất cả các quy tắc này được xử lý theo cách song song bằng một cơ cấu suy luận mờ.

Bảng 2-6: Các quy tắc Nếu-Thì

$RE(n)$ \ $TL(n)$	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao	Rất cao
Thấp	Rất thấp	Trung bình	Trung bình	Cao	Rất cao
Trung bình	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao	Rất cao
Cao	Rất thấp	Thấp	Thấp	Trung bình	Cao
Rất cao	Rất thấp	Rất thấp	Thấp	Trung bình	Cao

Cuối cùng, giải mờ sẽ tìm ra một giá trị xuất ra duy nhất từ giải pháp không gian mờ. Giá trị này thể hiện chi phí của nút. Giải mờ được tính bởi công thức 2.30:

$$Node_Cost = \frac{\sum_{i=1}^n U_i * C_i}{\sum_{i=1}^n U_i} \quad (2.30)$$

U_i là đầu ra của cơ sở quy tắc i , C_i là trung tâm đầu ra của hàm liên kết

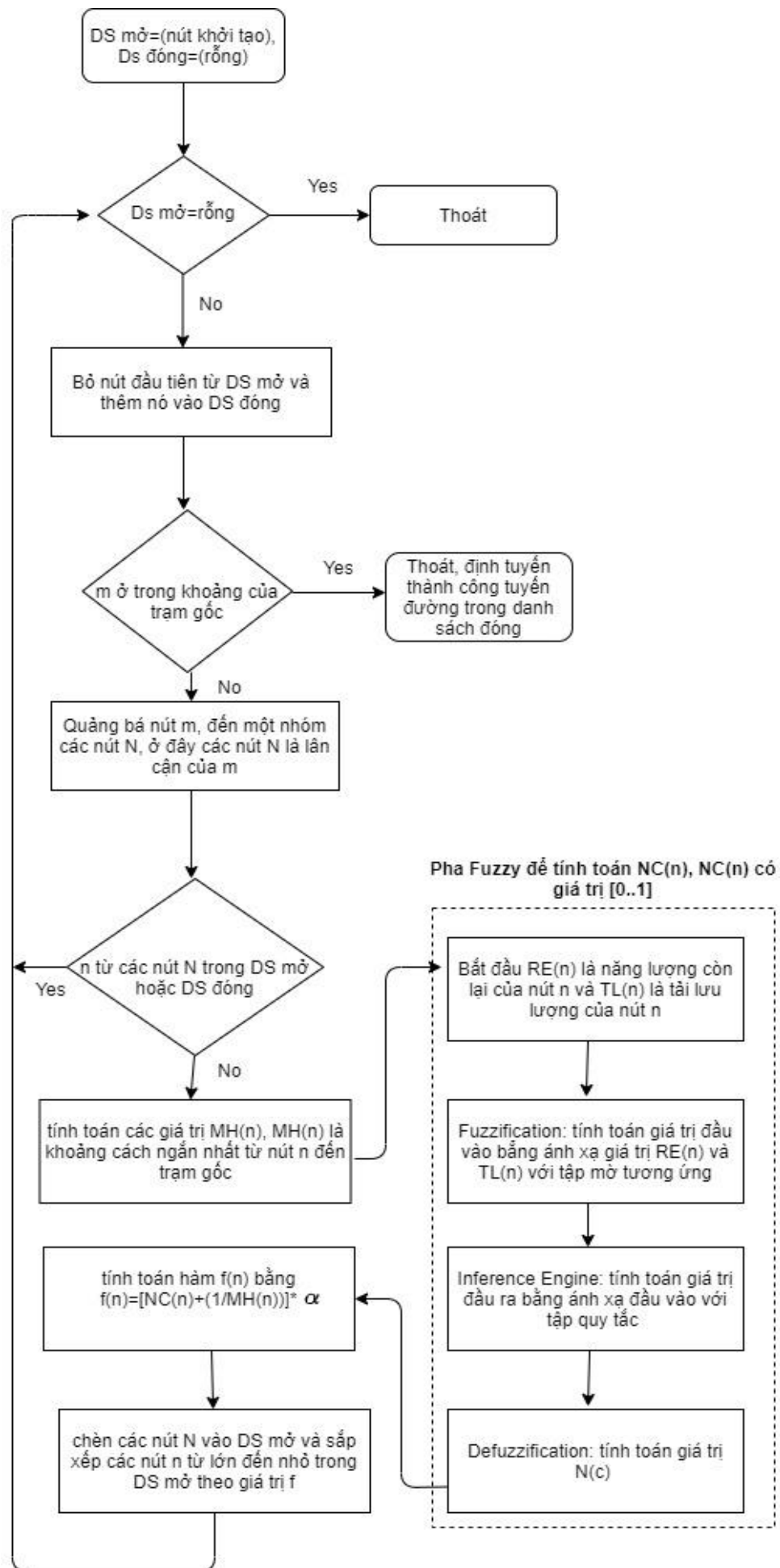
b) Cài đặt thuật toán A-Sao:

Mô hình năng lượng tiêu thụ: Mức tiêu thụ năng lượng của mỗi nút cảm biến bao gồm ba thành phần: năng lượng cảm biến, năng lượng truyền nhận, và năng lượng

xử lý dữ liệu. Cảm biến và xử lý dữ liệu đòi hỏi ít năng lượng hơn truyền nhận. Đề xuất này sử dụng mô hình tiêu thụ năng lượng giống như Heinzelman đã sử dụng cho phân cứng truyền nhận không dây [57], [69], [70].

Phương pháp đề xuất sẽ ưu tiên chọn nút tốt nếu cùng nằm trên tuyến đường định tuyến thay vì chọn ngẫu nhiên nút lân cận theo hàm $f(n)$ mà không có trọng số ưu tiên. Việc chọn lựa ưu tiên nút tốt này giúp đưa ý tưởng bài toán rằng khi thiết kế mạng cảm biến không dây sẽ chèn vào mạng một số nút cảm biến có năng lượng tiêu hao khi truyền thấp hơn nút thường, từ đó cải tiến thuật toán định tuyến để trong trường hợp thuật toán lựa chọn tuyến đường nút tốt sẽ được ưu tiên lựa chọn, điều này giúp trong một số trường hợp (ngoại trừ các trường hợp đặc biệt) đề xuất mới sẽ tối ưu hơn trong việc tiêu hao năng lượng khi truyền và làm tăng vòng đời mạng.

Hình 2.23 mô tả lưu đồ của thuật toán đề xuất kết hợp giữa logic mờ và thuật toán A-sao trong việc lựa chọn tuyến đường (có xem xét độ ưu tiên) định tuyến tối ưu để tăng tuổi thọ mạng cảm biến không dây.



Hình 2-23: Lưu đồ thuật toán đề xuất

Trong mạng cảm biến không dây các nút hoạt động giới hạn bởi năng lượng pin nên việc sử dụng hiệu quả năng lượng là rất quan trọng. Một đặc điểm nữa là tuổi thọ của mạng liên quan đến việc lựa chọn tuyến đường. Không cân bằng năng lượng là một vấn đề trong mạng WSN. Chính vì vậy đề xuất phương thức mới này là lựa chọn tuyến đường tối ưu từ nút nguồn đến điểm thu phát dựa vào năng lượng còn lại, bước nhảy tối thiểu, tải lưu lượng thấp nhất sử dụng kết hợp phương pháp tiếp cận mờ và thuật toán A-sao để tăng tuổi thọ cho mạng cảm biến không dây.

2.5.3 Đánh giá giải pháp

Để minh chứng tính hiệu quả của thuật toán đề xuất về cân bằng tiêu thụ năng lượng và tối đa tuổi thọ mạng, thuật toán kết hợp tiếp cận mờ với thuật toán A-sao được sử dụng trong [69], [71]. Các thuật toán này sử dụng cùng một tiêu chí định tuyến, năng lượng còn lại, bước nhảy tối thiểu và tải lưu lượng trong việc lựa chọn tuyến đường tối ưu từ nút nguồn đến nút thu phát.

Cài đặt mô phỏng:

Các nút trong mạng đều biết topology của mạng. Biết vị trí của mình, vị trí nút lân cận và trạm gốc. Có cùng khoảng cách truyền tối đa và phân làm hai loại (nút thường và nút tốt). Tất cả các nút trong toàn mạng đều có thể truyền dữ liệu trực tiếp đến trạm gốc (Sink).

Số nút trong mạng $N=100$ nút (có 20 nút tốt có năng lượng tiêu hao khi truyền, khuếch đại thấp hơn nút thường). Phạm vi mô phỏng mạng (100m x 100m). Trạm gốc đặt ở vị trí (0, 50). Giới hạn khoảng cách truyền là 30m. Năng lượng ban đầu của tất cả các nút i $Energy_i = 0.5J$.

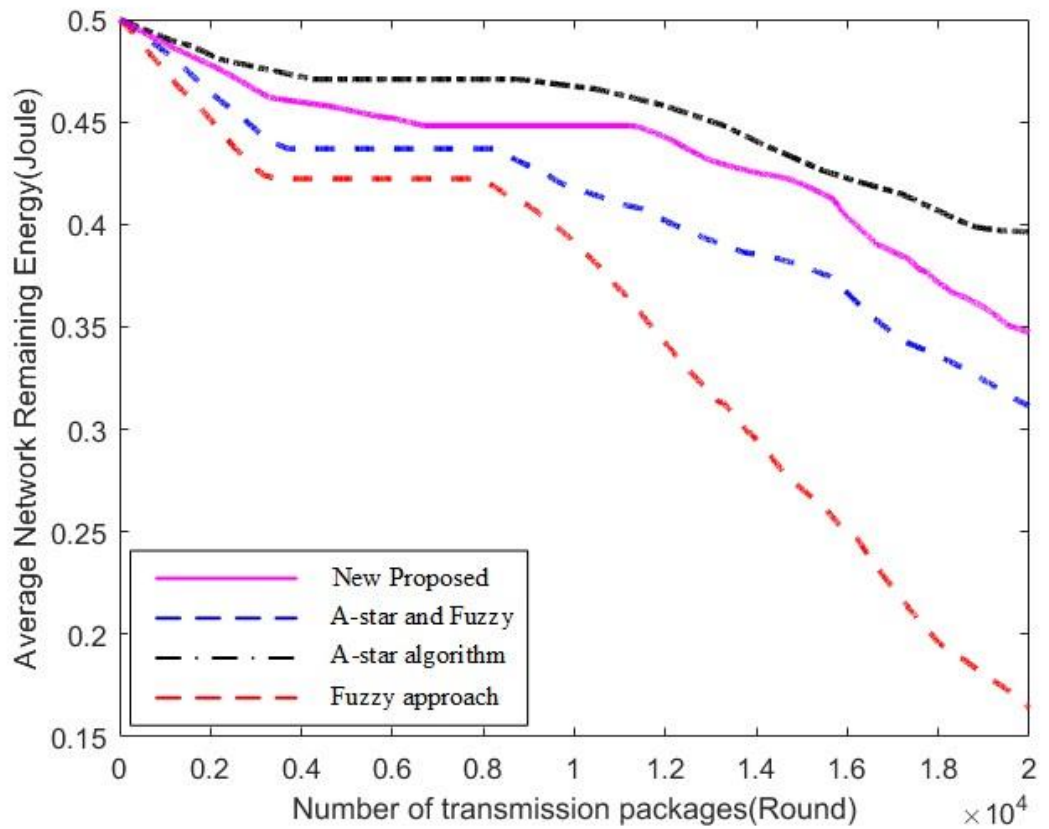
Năng lượng tiêu tốn khi xử lý một bit: $E_{elec} = 50nJ/bit$ (nút thường), $E_{elec} = 10nJ/bit$ (nút tốt). Hệ số khuếch đại: $E_{amp} = 100pJ/bit/m^2$ (nút thường), $E_{amp} = 20pJ/bit/m^2$ (nút tốt).

Chiều dài mỗi gói tin $k = 2000$ bit. Số gói tin truyền: 5000, 10000, 15000, 20000.

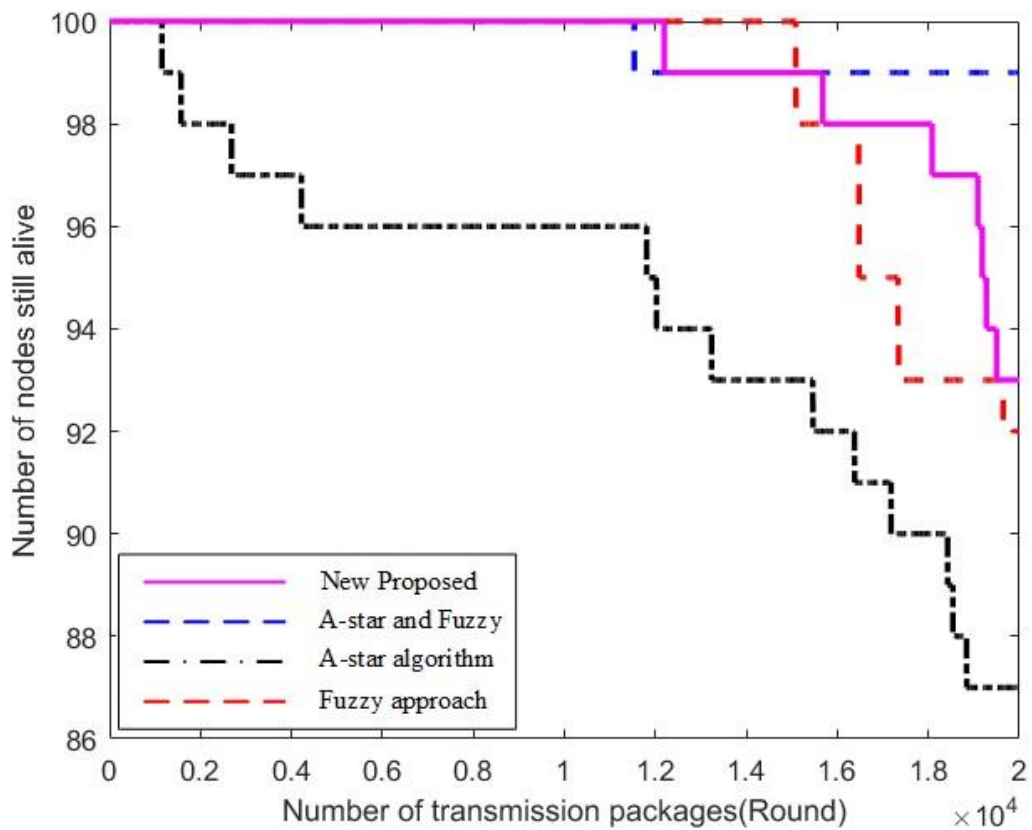
Số lưu lượng tối đa trong hàng đợi của nút là 10.

Thực hiện mô phỏng trên MATLAB. Các nút trong mạng được phân bố vị trí một cách ngẫu nhiên.

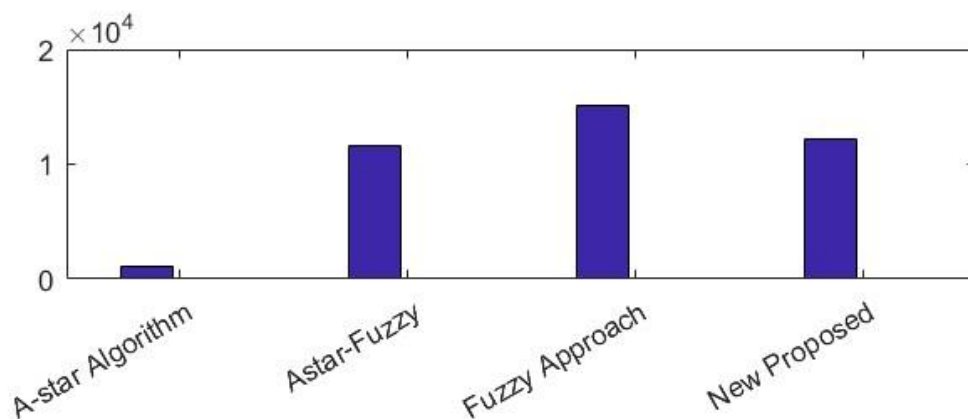
Kết quả mô phỏng:



Hình 2-24 Trung bình năng lượng còn lại sau 20000 vòng truyền



Hình 2-25 Số nút sống sau 20000 vòng truyền



	1st	50th
Astar-Fuzzy	11537	0
New Proposed	12196	0
Fuzzy Approach	15088	0
A-star Algorithm	1153	0

Hình 2-26: Thống kê số vòng khi nút đầu tiên và nút thứ 50 chết (lần 4)

Nhận xét: Hình 2.24 cho thấy trung bình năng lượng còn lại của phương thức đề xuất thấp hơn A-sao nhưng cao hơn hai phương thức còn lại. Sau 20000 vòng thì số nút sống còn lại của phương thức đề xuất là 93 thấp hơn A-sao & Fuzzy với 99 nút, cao hơn A-sao, tiếp cận mờ lần lượt là 92, 87 nút như hình 2.25. Thống kê hình 2.26 đề xuất mới có nút đầu tiên chết ở vòng 12196 trong khi A-sao là 1153, A-sao & Fuzzy là 11537, tiếp cận mờ là 15088. Qua kết quả thu được ta thấy rõ hiệu quả của phương thức đề xuất trong việc cân bằng năng lượng tiêu thụ và tối đa tuổi thọ mạng.

Việc đề xuất thuật toán sử dụng kết hợp cả hai phương pháp tiếp cận mờ và thuật toán A-sao có cải tiến độ ưu tiên trong việc lựa chọn nút hình thành tuyến đường. Các kết quả đánh giá đã cho thấy phương thức đề xuất có mặt vượt trội so với các giao thức được đề xuất ở [71] khi chạy cùng điều kiện mô phỏng, ở lần thứ tư với số vòng đạt 20000 mức trung bình năng lượng còn lại là 0.35 cao hơn mức 0.25, số nút sống là 93 cao hơn mức 79 của phương thức A-sao & Fuzzy ở [71]. Vì vậy, thuật toán này có khả năng chọn tuyến đường định tuyến tối ưu từ nút nguồn đến trạm gốc bằng cách ưu tiên năng lượng còn lại cao nhất, số bước nhảy tối thiểu, tải lưu lượng thấp nhất và là nút tốt. Hiệu suất của phương thức đề xuất được đánh giá và so sánh với ba phương pháp khác theo cùng tiêu chí. Kết quả mô phỏng cho thấy hiệu quả của

phương thức tiếp cận mới trong việc tăng cường tuổi thọ mạng cảm biến không dây với các nút ngẫu nhiên phân tán.

2.6. Kết chương

Những đề xuất trong mô hình sink tĩnh được xem xét trên một mạng lưới cảm biến không dây với các nút cảm biến được triển khai ngẫu nhiên. Do hạn chế trong vấn đề tiêu thụ năng lượng, phạm vi truyền dẫn của các nút cảm biến gây ảnh hưởng đến thời gian sống của mạng và việc thu thập dữ liệu, truyền dữ liệu về trạm gốc. Các cảm biến tiêu hao năng lượng không đồng đều, dẫn đến ngưng hoạt động và làm cho sink không thể truy cập đến các nút cảm biến khác, gây mất thông tin ảnh hưởng đến hoạt động thu thập dữ liệu. Do đó, để đạt được hiệu quả tiết kiệm năng lượng hơn, việc xác định hướng di chuyển của các trạm thu phát sóng di động nhằm thu được dữ liệu đầy đủ và tăng tuổi thọ WSN là vấn đề được xem xét trong phần đề xuất tiếp theo.

CHƯƠNG 3. KỸ THUẬT ĐỊNH TUYẾN PHÂN CỤM HIỆU QUẢ DỰA TRÊN SINK DI ĐỘNG

Vấn đề lỗ năng lượng là một vấn đề quan trọng trong mạng cảm biến không dây. Trong suốt quá trình chuyển dữ liệu đến sink, những node mà gần sink sẽ tiêu tốn nhiều năng lượng hơn những node ở xa sink. Điều này là nguyên nhân dẫn đến sự mất cân bằng năng lượng giữa các node, và cũng là nguyên nhân dẫn đến vấn đề lỗ năng lượng. Để giải quyết vấn đề này, trong chương 3 đã sử dụng Sink di động là giải pháp đã được chú ý bởi các nhà nghiên cứu trong những năm gần đây. Đề xuất này giúp kéo dài được thời gian sống của mạng và được công bố trong công trình [CT6, CT7, CT8, CT9] của nhóm nghiên cứu.

3.1. Mô hình sink di động

Gần đây, sử dụng trạm thu phát di động [72], [73], [74] đã bắt đầu được coi là một cách tiếp cận mới để nâng cao hiệu suất của các WSN. Các giao thức định tuyến năng lượng hiệu quả là một lĩnh vực nghiên cứu nóng, nhưng yếu tố di động không được giải quyết ở một mức độ thích hợp vì nó là hiển nhiên rằng đa số các giao thức định tuyến giả định các nút là tĩnh. Nhưng trong hầu hết các ứng dụng mà các mạng cảm biến không dây có liên quan như các ứng dụng cảnh báo hiểm họa hoặc chăm sóc y tế thì các nút có thể di động. Vì vậy, tính di động của các nút hoặc sink phải được xem xét. Các công trình nghiên cứu liên quan đã chỉ ra rằng việc định tuyến được hỗ trợ sink di động giúp giảm tiêu thụ năng lượng đến một mức độ lớn. Kết quả là nhiều mô hình sink di động đã được đề xuất bởi các nhà nghiên cứu trong những năm qua mà mỗi mô hình di động có những đặc tính riêng của nó có thể ảnh hưởng đến hiệu suất của mạng theo một cách nhất định. Thông thường, Sink nằm bên ngoài khu vực cảm biến. Do đó, tất cả các cảm biến sẽ sử dụng công suất cao cho việc gửi dữ liệu đến sink ở xa và điều này sẽ dẫn đến năng lượng tiêu thụ cao để gửi dữ liệu đi. Trong một số trường hợp, sink có thể được đưa vào trung tâm một khu vực cảm biến. Tuy nhiên, trong trường hợp này, một cảm biến ở rìa của khu vực cảm biến, không giống như cảm biến nằm gần sink, sẽ chi tiêu nhiều năng lượng hơn cho dữ liệu được gửi đến sink. Điều này sẽ tạo ra mất cân bằng năng lượng tiêu thụ trong số tất cả các cảm biến do đó làm giảm hiệu quả năng lượng trong toàn mạng. Để có một chiến lược tốt hơn, vị trí thuận lợi nhất của sink là môi quan tâm chính trong trường hợp này vì sink có công suất xử lý cao, dung lượng lưu trữ cao, không hạn chế năng

lượng, sink có thể được sử dụng để thu thập dữ liệu từ mỗi cảm biến trong vùng cảm biến bằng cách di động đến gần nút gửi dữ liệu [74]. Lý do chính cho sự di động sink được giới thiệu trong WSN là giảm số lượng bước nhảy cần thiết để phân phối dữ liệu từ các nút cảm biến tới Sink. Do đó, giảm sự chậm trễ và kéo dài tuổi thọ mạng bằng cách giảm lượng năng lượng cần thiết để gửi và nhận dữ liệu. Có 3 chiến lược di động sink cơ bản đã được nghiên cứu bao gồm: di động ngẫu nhiên (Random walk mobility), di động có thể dự đoán hoặc cố định (predictable or fixed mobility), và chiến lược di động có kiểm soát (controlled mobility).

Các tác giả [9], cho biết rằng sự di chuyển như vậy có thể làm giảm tiêu thụ năng lượng truyền thông và tăng thời gian sống mạng, nhưng nó thiếu tính linh hoạt và khả năng mở rộng. Bởi vì con đường di chuyển được cố định, do đó không thể thay đổi được trong trường hợp thay đổi mạng do một số tình huống nhất định. Một khuyết điểm trong chiến lược di động cố định nữa là dễ bị theo dõi và phát hiện các trạm thu phát di động.

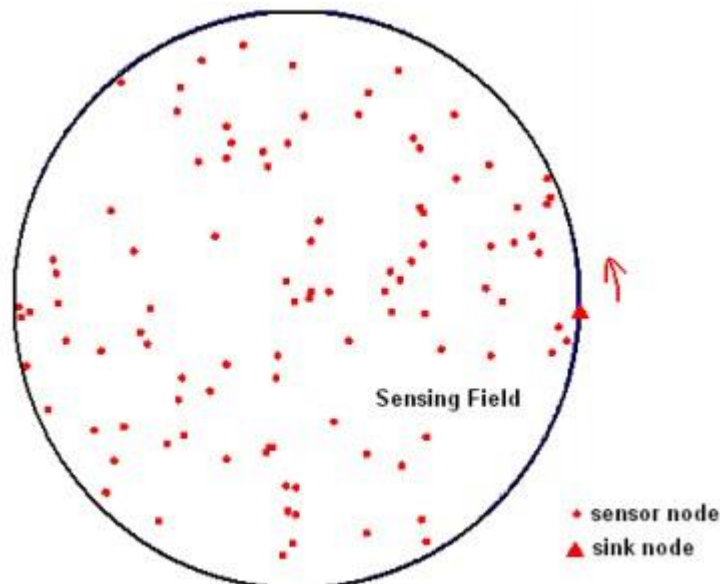
Mô hình này được giả định là không phụ thuộc vào cấu trúc mạng [10], trạm thu phát di chuyển tự do không thể đoán trước và lựa chọn một cách ngẫu nhiên thời gian để đi qua một phần của phân đoạn trong khu vực mạng. Khi trạm thu phát di chuyển, nó rút ngắn khoảng cách giữa nó và các node hàng xóm một chặng (one-hop) khác làm cho thời gian sống của mạng kéo dài. Tính di động ngẫu nhiên có thể phù hợp để theo dõi liên tục, nhưng nó cũng có thể gây ra sự chậm trễ và mất gói. Trong [34], mặc dù bất lợi về di động ngẫu nhiên, các tác giả nhận thấy rằng chiến lược này có thể cải thiện đáng kể dung lượng dữ liệu và tốc độ. Tuy nhiên, các tác giả [10], cho rằng di động ngẫu nhiên không phù hợp, bởi vì hành vi chuyển động này đe dọa việc theo dõi trong mạng, phân tích lưu lượng, và cũng có thể gây ra tỷ lệ mất mát dữ liệu cao.

Trong [75], các tác giả đã đề xuất một thuật toán mới về kiểm soát di động để cải thiện thời gian sống mạng. Họ phân chia các khu vực mạng trong các vùng khác nhau. Khi trạm thu phát chuyển từ nơi này sang nơi khác, nó sẽ gửi một gói tin đến tất cả các cảm biến để thông báo cho chúng biết về vị trí mới của nó và nó sẽ rời khỏi vị trí cũ. Bộ cảm biến ngừng truyền dữ liệu trong khi trạm thu phát đang di chuyển và cấp phát bộ đệm cho dữ liệu cảm biến mới. Kỹ thuật này thậm chí nếu nó mang lại thời gian sống mạng tốt hơn, việc lưu trữ dữ liệu không phải lúc nào cũng tương thích với tình huống khẩn cấp và đối phó với kiến trúc bằng phẳng đặt ra vấn đề về khả năng mở rộng và thiếu hiệu quả sử dụng năng lượng.

3.2. Thuật toán MECA (Mobile sink based Energy Efficient Clustering Algorithm)

Mạng cảm biến không dây với một sink cố định thường gặp vấn đề lãng phí năng lượng, có nghĩa là tiêu thụ năng lượng của một số cảm biến gần sink hoặc trên các đường dẫn quan trọng nhanh hơn nhiều so với các nút khác. Để giải quyết vấn đề này, một thuật toán phân cụm hiệu quả năng lượng dựa trên sink di động MECA đã được đề xuất [76], [77]. Mạng được chia thành nhiều cụm khác nhau. CH được chọn trong mỗi cụm dựa trên năng lượng dư, mỗi CH thu thập dữ liệu và gửi nó đến sink di động. Thuật toán định tuyến là sử dụng lược đồ đa chặng.

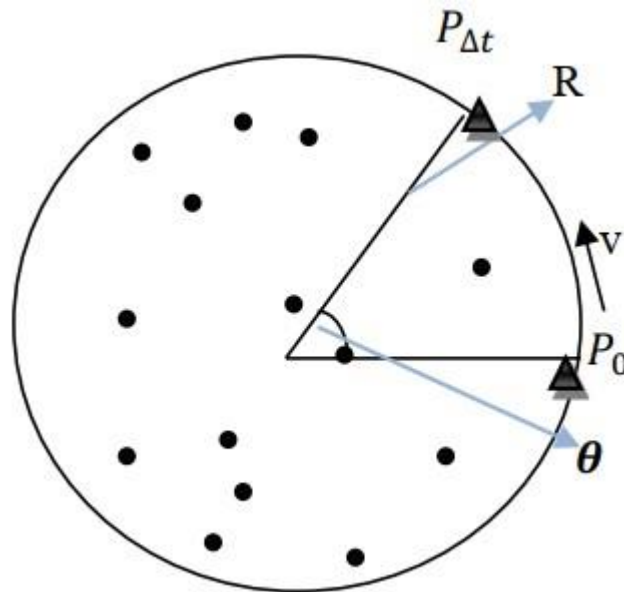
Giả định rằng mạng bao gồm N nút cảm biến, được biểu diễn như sau: $\{S_1, S_2, \dots, S_N\}$ tương ứng. Các nút cách đều nhau được đặt trong một môi trường với bán kính R và liên tục giám sát môi trường xung quanh. Ban đầu được triển khai một sink di động ở rìa quanh khu vực cảm biến, sink di động theo chiều kim đồng hồ (hoặc ngược chiều kim đồng hồ) với vận tốc nhất định dọc theo đường tròn, hướng di chuyển của nó cố định và chuyển động được dự đoán, như thể hiện trong hình 3.1 Tuy nhiên, các nghiên cứu trước đây về di chuyển sink hoặc cho rằng thông tin về mạng đã có sẵn hoặc sink di động truyền đạt thông tin toàn mạng thông qua việc lặp lại mạng lưới phát sóng. Trong thuật toán MECA, hướng di chuyển và vận tốc v của sink đều được xác định trước.



Hình 3-1. Hướng di chuyển của Sink trong MECA

Do đó sink chỉ cần phát sóng trên mạng để thông báo cho tất cả các nút cảm biến vị trí hiện tại của nó P_0 ngay từ đầu. Sau đó, khi các nút cảm biến ghi lại vị trí ban đầu của sink, chúng có thể thay đổi góc θ sau một khoảng thời gian Δt :

$$v = \frac{\theta * R}{\Delta t} \Rightarrow \theta = \frac{v * \Delta t}{R} \quad (3.1)$$



Hình 3-2 Mô hình sink di động trong thuật toán MECA

Sau khi kết thúc, sink được chuẩn bị thu thập dữ liệu. Tại đây, sink di động sẽ ở tại một vị trí trong một khoảng thời gian đủ dài để mạng hoàn tất việc thu thập dữ liệu và sau đó chuyển sang vị trí tiếp theo [78].

Khi bắt đầu lựa chọn CH, nút cảm biến nằm ở trung tâm của mỗi cụm như S_i . Nó được coi là ứng cử viên CH. Nó phát đi một thông báo trong khu vực có bán kính R . Thông điệp này nhằm mục đích thúc đẩy các nút khác cho sự cạnh tranh để chọn CH. Nó chứa ID của nút và năng lượng dư của nó. Chỉ có các nút trong phạm vi truyền có thể nhận được thông báo và hoạt động, trong khi các nút bên ngoài vẫn không hoạt động. Nếu bất kỳ nút S_j nào có năng lượng dư lớn hơn S_i , nó sẽ trở thành ứng cử viên CH mới và truyền phát thông điệp mới với thông tin của chính nó cho những nút khác. Nếu S_j có năng lượng dư thừa bằng S_i , thì so sánh ID, nút có ID nhỏ hơn sẽ được chọn. Nếu S_j có năng lượng dư nhỏ hơn S_i , nó vẫn phát ra thông điệp của S_i . Ngay sau khi so sánh được thực hiện, nút không được chọn sẽ trở lại trạng thái nhàn rỗi (idle). Tất cả các nút trong cụm chỉ nên được so sánh một lần. Theo cách này, nút có năng lượng dư lớn nhất được chọn làm CH. Thuật toán chọn cụm có thể được xây dựng như để tìm $\text{Max}(E_{\text{residual}})$.

MECA thiết lập một giao thức định tuyến đa chặng cho định tuyến trong cụm. Đối với bất kỳ nút thành viên S_i nào trong một cụm, mức tiêu thụ năng lượng mà dữ liệu gửi trực tiếp đến cụm chủ CH_{S_i} của nó được biểu diễn như $E_l(S_i, CH_{S_i})$:

$$E_1(S_i, CH_{S_i}) = \begin{cases} lE_{elec} + l\varepsilon_{fs}d(S_i, CH_{S_i})^2, & d(S_i, CH_{S_i}) < d_0 \\ lE_{elec} + l\varepsilon_{fs}d(S_i, CH_{S_i})^4, & d(S_i, CH_{S_i}) \geq d_0 \end{cases} \quad (3.2)$$

Trong thời gian trung bình, S_i cố gắng tìm một nút cảm biến S_j để chuyển tiếp dữ liệu có thể tiêu tốn ít năng lượng hơn thông qua giao tiếp trực tiếp với CH_{S_i} . Vì hướng truyền dữ liệu có thể được lựa chọn ngẫu nhiên, các nút khác nhau có thể được lựa chọn, dẫn tới việc tiêu hao nhiều năng lượng khác nhau. Giả sử S_i chọn S_j là nút chuyển tiếp của nó và để cho S_j có giao tiếp trực tiếp với cụm chủ CH_{S_i} . Để cung cấp một gói tin độ dài l tới CH, năng lượng tiêu thụ bởi S_i và S_j được tính theo công thức:

$$\begin{aligned} E_2(S_i, S_j, CH_{S_i}) &= E_{Tx}(l, d(S_i, S_j)) + E_{Rx}(l) + E_{Tx}(l, d(S_j, CH_{S_i})) \\ &= l(E_{elec} + \varepsilon d^\alpha(S_i, S_j)) + lE_{elec} + l(E_{elec} + \varepsilon d^\alpha(S_j, CH_{S_i})) \\ &= 3lE_{elec} + \varepsilon d^\alpha(S_i, S_j) + \varepsilon d^\alpha(S_j, CH_{S_i}) \end{aligned} \quad (3.3)$$

Mỗi S_i chọn S_j với giá trị nhỏ nhất của năng lượng tiêu thụ $E_2(S_i, S_j, CH_{S_i})$ như là node chuyển tiếp nếu cần thiết:

$$E_2(S_i, CH_{S_i}) = \text{Min}(E_2(S_i, S_j, CH_{S_i})) \quad (3.4)$$

So sánh công thức (3.2) và công thức (3.3), cái nào nhỏ hơn sẽ được chọn:

$$E(S_i, CH_{S_i}) = \text{Min}(E_1(S_i, CH_{S_i}), E_2(S_i, CH_{S_i})) \quad (3.5)$$

Tuy nhiên, trong thuật toán MECA, sink thay đổi vị trí theo thời gian. Do đó, một số nút có thể tiêu tốn năng lượng ít hơn thông qua việc gửi dữ liệu trực tiếp đến sink thay vì đến CH. Vì vậy, nó là cần thiết để so sánh $E(S_i, CH_{S_i})$ và $E(S_i, \text{SINK})$ và quyết định tuyến đường cuối cùng. Thuật toán cụm nội bộ có thể được xây dựng như :

$$\text{Min}(E(S_i, CH_{S_i}), E(S_i, BS)) \quad (3.6)$$

Để duy trì tuổi thọ của mạng, lựa chọn duy nhất là sử dụng hiệu quả năng lượng có sẵn ở mức tối đa. Mỗi lớp giao thức có các chiến lược riêng để giảm tiêu thụ năng lượng. Trong đó định tuyến đóng một vai trò quan trọng. So với các chức năng cảm biến và xử lý, quá trình truyền thông tiêu tốn nhiều năng lượng hơn và do đó tầm quan trọng của một giao thức định tuyến năng lượng hiệu quả để nâng cao tuổi thọ của các mạng cảm biến không dây. Một cách tiếp cận mới mà trong đó các sink di động có được đề xuất với các mô phỏng mở rộng thể hiện hiệu quả của thuật toán MSA (Mobile Sink Assisted) [79].

3.3. Thuật toán MSA (Mobile Sink Assisted):

Giả định rằng có một sink cố định và 4 sink di động được cho là có năng lượng không giới hạn [24], [79], [80]. Sự di chuyển của sink di động có thể được quyết định bởi sink cố định. Vì các nút được giả định là được triển khai ngẫu nhiên mỗi lần, để có cách thức di chuyển đồng bộ, các sink di động được thực hiện để di chuyển từ trung tâm đến bốn góc của khu vực cảm biến hình chữ nhật được triển khai. Số lượng các nút, diện tích triển khai, năng lượng ban đầu của các nút, phạm vi của các cảm biến,...có thể được thay đổi để có một kết quả mô phỏng mở rộng. Giả sử các cảm biến được phân bố ngẫu nhiên, sink di động có thể điều hướng mạng để thu thập các gói tin và chuyển tiếp dữ liệu tới sink cố định. Đường đi cho sink di động được giả định là không có trở ngại. Các sink di động được giả định có phạm vi truyền thông cao hơn, do đó nó có thể tiếp cận được nút cảm biến tĩnh.

Thuật toán MSA bao gồm ba giai đoạn: Giai đoạn phân cụm mạng, giai đoạn điều hướng sink di động, giai đoạn thu thập dữ liệu.

Giai đoạn phân cụm mạng

Mạng được phân chia thành các cụm bằng cách sử dụng thuật toán phân cụm LEACH. Khi các nút CH được chọn, sẽ phát ra tín hiệu để quảng cáo sự hiện diện của chúng trong phạm vi truyền thông của các CH. Dựa vào cường độ tín hiệu nhận được, mỗi nút thành viên sẽ chọn các CH mà chúng thuộc về. Các CH cũng gửi thông tin của chúng đến sink tĩnh. Bởi vì các nút cảm biến thành viên chỉ cần năng lượng thấp để truyền dữ liệu tới các nút CH. Các nút CH sẽ tổng hợp các dữ liệu và giữ nó trong bộ nhớ và chờ đợi các sink di động tiếp cận gần chúng để thu thập dữ liệu.

Giai đoạn điều hướng Sink di động

Một khi Sink cố định nhận được thông tin CH; nó thực hiện lập một kế hoạch đường dẫn để tìm số lượng cảm biến tối ưu để điều hướng mạng. Từ các CH có sẵn, sink cố định chọn từng CH một và bắt đầu đưa vào một nhóm cho đến khi thời gian vòng lại trong nhóm đó bị giới hạn bởi một thời hạn T_d . Nếu thời gian cho mỗi vòng vượt quá T_d thì một nhóm mới được tạo ra. Đối với mỗi nhóm, một sink di động được cấp phát. Nếu có nhiều sink di động ngay cả sau khi phân bổ cho mỗi nhóm, các nhóm được sắp xếp theo thứ tự giảm dần dựa trên thời gian của vòng và các sink di động được phân bổ cho nhóm cho đến khi số sink di động hết. Một khi các đường đi cho các sink di động được quyết định, chúng được thực hiện để di chuyển trên đường đi giữa các CH. Nếu có nhiều sink di động cho mỗi nhóm, thì mỗi sink di động bắt đầu từ các nút khác nhau.

Giai đoạn thu thập dữ liệu

Sink di động một khi đến gần nút CH, sẽ phát tín hiệu quảng bá yêu cầu nút CH gửi tất cả các dữ liệu lưu trữ đến sink di động. Nút CH sẽ chuyển tiếp tất cả các dữ liệu tổng hợp đến sink di động. Nút sink di động sẽ chuyển tiếp dữ liệu đến sink cố định. Sink cố định chuyển tiếp dữ liệu tới bất kỳ ứng dụng nào cần để xử lý dữ liệu. Việc triển khai nút được thực hiện ngẫu nhiên và chúng được giả định là đồng nhất. Các cụm được hình thành dựa trên cường độ tín hiệu thu được và hành vi chung của các nút. Năng lượng còn lại của các nút cũng được xem xét. Sự di động của các sink đóng một vai trò quan trọng trong việc giảm tiêu thụ năng lượng. Các CH sẽ quyết định khoảng thời gian cho mỗi nút để gửi dữ liệu đến nó, sẽ được tổng hợp và chuyển đến các sink di động gần nhất. Các sink di động thu thập tất cả các dữ liệu cảm biến từ các CH, tổng hợp nó một lần nữa và cuối cùng chuyển tiếp đến sink cố định nơi người dùng có thể nhận được thông tin. Quá trình tổng hợp hai lần làm giảm tiêu thụ năng lượng tối thiểu so với mỗi CH truyền dữ liệu trực tiếp đến sink cố định.

Nhưng mức năng lượng của các nút không cân bằng trong mạng là một yếu tố chính dẫn đến mất kết nối mạng, LEACH là một thuật toán định tuyến hiệu suất năng lượng truyền thống sử dụng kỹ thuật phân cụm. Ở đây, nhược điểm chính là trong khi lựa chọn các CH nó chỉ phụ thuộc vào một phương pháp xác suất và không xem xét mức năng lượng của các nút. Đó cũng là lý do làm giảm hiệu suất của MSA.

3.4. Giới thiệu các công trình nghiên cứu theo hướng Mobile Sink

Trong [CT6, CT7], triển khai sink di động giúp giải quyết vấn đề tiêu hao quá nhiều năng lượng. Việc sử dụng phân cụm LEACH_C kết hợp thuật toán xác định đường đi ngắn nhất cho mobile sink. Với hướng di chuyển sink trong nhiều vòng thử nghiệm thu được kết quả tốt lẫn xấu, vì vậy việc lựa chọn mô hình và cách thức di chuyển hiệu quả nhất của sink là một phần chức năng của công việc đề xuất. Qua đó, khi xem xét sink di động theo các vòng xác định CH đã cho thấy hiệu suất kém dần đi khi xuất hiện nút chết đầu tiên, và việc xác định CH trong khu vực cảm biến cũng ảnh hưởng đáng kể đến đường đi của mobile sink. Đề xuất kết hợp hiệu quả năng lượng dựa trên giao thức định tuyến LEACH_C được phát triển cho sink di động là cơ sở trong bước đầu nghiên cứu. Đề xuất được thiết kế là LEACH_CD, được so sánh với LEACH, LEACH_C và cho thấy hiệu quả hơn để làm việc với môi trường cảm biến đồng nhất. Do đó, kết hợp chiến lược di chuyển sink theo đường dẫn cố định với giải thuật Dijkstra giúp cải thiện thời gian sống của mạng. Tuy nhiên, đề xuất cần cải

thiện và tối ưu hơn khi xác định hướng di chuyển cho sink di động để tránh bỏ sót gói tin đối với các CHs vượt quá phạm vi cảm biến.

3.5. Phân cụm mờ kết hợp với Mobile Sink để kéo dài thời gian sống của mạng cảm biến không dây

3.5.1 Giới thiệu thuật toán

Trong [CT6], với hướng di chuyển sink liên tục tạo ra hiệu suất tốt và xấu, vì vậy việc lựa chọn mô hình và cách thức di chuyển sink hiệu quả là một phần chức năng của công việc đề xuất. Qua đó, khi xem xét sink di động theo các vòng tròn bán kính khác nhau đã cho thấy hiệu suất mạng cải thiện khác nhau, càng gần trung tâm khu vực cảm biến có thể mang lại hiệu quả cao hơn. Đề xuất 1 trong [CT6] kết hợp hiệu quả năng lượng dựa trên giao thức định tuyến LEACH được phát triển cho sink di động là cơ sở trong bước đầu nghiên cứu. Đề xuất 2 trong [CT6] đã mang lại hiệu quả cao nhất khi xem xét kết hợp phân cụm dựa trên logic mờ với mô hình sink di động. Hai đề xuất được thiết kế, so sánh với LEACH, CHEF và cho thấy hiệu quả hơn để làm việc với môi trường cảm biến đồng nhất. Cả hai đề xuất được giới thiệu đều được tăng cường với sink di động theo đường dẫn có thể dự đoán được cho cơ chế thu thập dữ liệu, xác định trạng thái chuyển động sink tốt hơn liên quan đến tuổi thọ của mạng. Tóm lại, đề xuất kết hợp phân cụm mờ với sink di động cho thấy sự vượt trội hơn các giao thức LEACH, CHEF về thời gian sống của mạng.

Kết quả của đề xuất 1 trong CT[6], như sau:

Bảng 3-1 Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa các đề xuất 1 với LEACH

Giao thức	Nút đầu tiên chết (vòng)	Nút cuối cùng chết (vòng)
LEACH	121	339
Đề xuất 1 R=100m	112	257
Đề xuất 1 R=75m	125	312
Đề xuất 1 R=50m	124	320
Đề xuất 1 R=25m	124	352
Đề xuất 1 R=15m	131	497

Căn cứ vào kết quả mô phỏng và bảng 3-1 có các đánh giá sau:

- Số lượng nút còn sống của cơ chế LEACH thấp hơn so với đề xuất 1 với R=15m, R=25m.

- Trong đề xuất 1 khi thay đổi bán kính di chuyển thì số lượng nút còn sống và năng lượng trung bình của mạng tăng lên. Khi sink di chuyển gần về trung tâm khu vực cảm biến thì kết quả có sự thay đổi, nhưng các thay đổi không cao.
- Căn cứ vào bảng kết quả 3 nêu trên, điều tất yếu phải tiến hành cải tiến đề xuất 1 bằng cách kết hợp với các phương pháp khác để tăng hiệu quả của đề xuất 1 hơn nữa. Do đó, đề xuất 2 sử dụng phân cụm mờ kết hợp với sink di động để tăng tính hiệu quả của đề xuất 1.

Đối với đề xuất 2 trong [CT6]

Trong đề xuất 2 sử dụng logic mờ dựa trên thuật toán CHEF hay nói cách khác sử dụng hệ thống suy luận mờ (FIS) để xác định các CH. Căn cứ để sử dụng phương pháp này là dựa vào năng lượng (energy) của từng nút và khoảng cách trong cùng cụm (local distance). Tính local distance: $D = \sum_{k=1}^n d_k$ với d_k là khoảng cách của các nút nằm trong đường tròn bán kính r_0 với r_0 là bán kính truyền lớn nhất của từng nút và n là tổng số các nút có trong khu vực đó.

Các bước tiến hành mô phỏng như sau:

- Các hàm (energy và local distance) đầu vào cho hệ thống suy luận mờ (FIS).
- Tiến hành thiết lập các luật.
- Áp dụng hệ thống suy luận mờ (FIS) để tính xác suất của từng nút.
- Căn cứ vào xác suất của từng nút, chúng ta chọn những nút có xác suất lớn nhất làm CH.
- Cho sink thay đổi vị trí trong quá trình mô phỏng, lựa chọn bán kính $R=50m, 15m$.
- Quá trình sink thu thập dữ liệu từ các CH trong mạng.

Bảng 3-2 Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất 2 với LEACH, CHEF, đề xuất 1

Giao thức	Nút đầu tiên chết (vòng)	Nút cuối cùng chết (vòng)
LEACH	114	386
CHEF	273	478
Đề xuất 1 R=15m	131	497
Đề xuất 2 R=50m	568	825
Đề xuất 2 R=15m	722	936

Căn cứ vào kết quả mô phỏng có nhận xét như sau:

- Số lượng các nút còn sống và năng lượng trung bình của đề xuất 2 R=15m, đề xuất 2 R=50m cao hơn LEACH, CHEF, đề xuất 1.

- Trong đó đề xuất $2R=15m$ cho kết quả cao nhất.

Để giảm tiêu hao năng lượng của CH, Sink phải di chuyển gần các CH để thu thập dữ liệu nhận được từ các CH, sử dụng một phạm vi truyền dẫn ngắn và do đó chi tiêu năng lượng thấp. Vì vậy, vấn đề là làm sao tìm ra một chiến lược hiệu quả của sink di động xung quanh các CH. Trong thuật toán này, việc đề xuất một chiến lược kết hợp giữa di chuyển sink theo đường dẫn cố định kết hợp với thuật toán phân cụm mờ được mô phỏng bằng phần mềm Matlab dựa trên [81].

[CT7] đề xuất một giải pháp lựa chọn cụm chủ tốt hơn, qua đó cải tiến thời gian sống của mạng. Việc lựa chọn các CH được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận dựa trên logic mờ, các CH được lựa chọn dựa trên ba tham số đầu vào hệ thống suy luận mờ (FIS) là: năng lượng còn lại (residual energy), khoảng cách cục bộ (local distance) và khoảng cách đến sink (distance to sink) của mỗi nút.

3.5.2 Mô hình tiêu thụ năng lượng

Trong thuật toán này, việc sử dụng mô hình năng lượng sóng vô tuyến được đề xuất bởi Heinzelman trong giao thức LEACH 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 (3.7):

$$E_{Tx}(k, d) = \begin{cases} kE_{elec} + kE_{fs}d^2, & d < d_0 \\ kE_{elec} + kE_{mp}d^4, & d \geq d_0 \end{cases} \quad (3.7)$$

Và để nhận thông điệp này thì mức năng lượng tiêu hao sẽ được tính theo công thức (3.8):

$$E_{Rx}(k) = kE_{elec} \quad (3.8)$$

Trong đó:

- E_{elec} là năng lượng tiêu thụ khi truyền hay nhận 1 bit thông điệp
- Trong mô hình này, cả hai thông số của bộ khuếch đại là (E_{fs} free space) và (E_{mp} - multipath) đã được sử dụng, tùy thuộc vào khoảng cách d giữa máy phát và máy thu. Giá trị ngưỡng khoảng cách truyền d_0 được cho bởi công thức (3.9):

$$d_0 = \sqrt{\frac{E_{fs}}{E_{mp}}} \quad (3.9)$$

3.5.3 Mô hình sink di động

Dựa trên ý tưởng thuật toán MECA về mô hình sink di động theo vòng tròn như trình bày ở phần 3.2, ban đầu triển khai một sink di động bên ngoài quanh khu vực cảm biến, sink di động theo chiều kim đồng hồ (hoặc ngược chiều kim đồng hồ) với

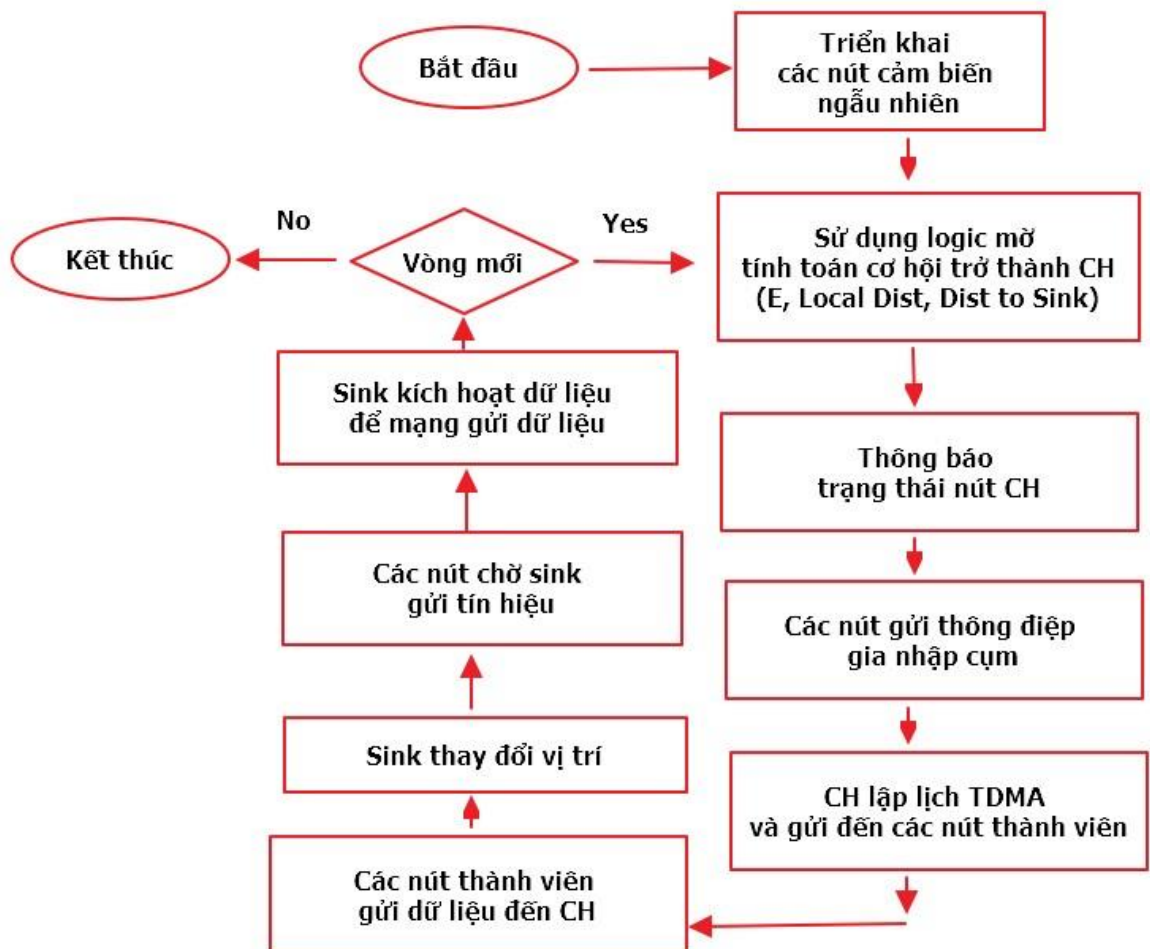
vận tốc nhất định dọc theo đường tròn, con đường của nó cố định và chuyển động được dự đoán. Trong LEACH và CHEF thì vị trí sink cố định, còn trong cơ chế đề xuất tọa độ sink thay đổi theo thời gian. Tại từng vị trí thì sink có khoảng thời gian dừng nhất định để tổng hợp thông tin từ các CH. Hướng di chuyển của sink ngược chiều kim đồng hồ và vận tốc v của sink đều được xác định trước. Do đó sink chỉ cần phát sóng trên mạng để thông báo cho tất cả các nút cảm biến vị trí hiện tại của nó P_0 ngay từ đầu với chỉ trong một khoảng thời gian giới hạn. Sau khi các nút cảm biến ghi nhận lại vị trí ban đầu của sink, sink có thể di động theo góc teta (xét từ tâm khu vực cảm biến) sau một khoảng thời gian Δt :

$$v = \frac{\theta * R}{\Delta t} \Rightarrow \theta = \frac{v * \Delta t}{R} \quad (3.10)$$

Trong đề xuất này, việc xem xét sink di chuyển theo quỹ đạo đường tròn, với bán kính tính từ tâm khu vực cảm biến $R = 10m, 20m, 30m, 40m, 50m$ và sau khoảng thời gian $\Delta t = 30s$ thì sink thay đổi vị trí 1 lần và tốc độ di chuyển $v = 10m/s$. Xem xét sink di chuyển với quỹ đạo bán kính R khác nhau cho các kết quả khác nhau.

3.5.4 Hoạt động của giải pháp đề xuất

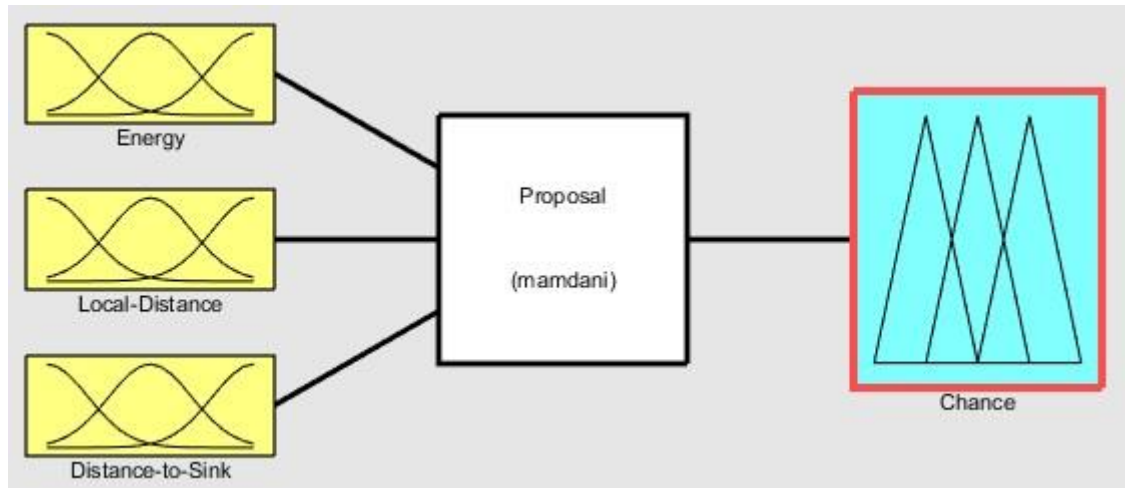
Lưu đồ hoạt động của giải pháp đề xuất như sau:



Hình 3-3 Lưu đồ hoạt động của đề xuất
 Việc thực hiện của thuật toán được chia làm 3 giai đoạn: Giai đoạn phân cụm mạng, Giai đoạn điều hướng sink di động, Giai đoạn thu thập dữ liệu

Giai đoạn phân cụm mạng

Việc lựa chọn các CH được thực hiện bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận dựa trên logic mờ, các CH được lựa chọn dựa trên 3 tham số đầu vào hệ thống suy luận mờ (FIS) là: năng lượng còn lại (residual energy), khoảng cách cục bộ (local distance) và khoảng cách đến sink (distance to sink) của mỗi nút.



Hình 3-4. Các tham số của hệ thống mờ

Các cụm chủ được lựa chọn sẽ quảng cáo cho các nút lân cận của chúng trong mạng rằng chúng là những cụm chủ mới. Khi các nút CH được chọn, sẽ phát ra tín hiệu để quảng cáo sự hiện diện của chúng trong phạm vi truyền thông của các CH. Dựa vào cường độ tín hiệu nhận được, mỗi nút thành viên sẽ chọn các CH mà chúng thuộc về. Cuối cùng, giai đoạn tạo lịch trình được thực hiện, trong đó cụm chủ chỉ định thời gian mà các nút cảm biến có thể gửi dữ liệu đến cụm chủ dựa trên phương pháp đa truy cập phân chia thời gian TDMA và lịch trình này được quảng cáo cho các nút thành viên trong cụm. Bởi vì các nút cảm biến thành viên chỉ cần năng lượng thấp để truyền dữ liệu tới các nút CH. Các nút CH sẽ tổng hợp các dữ liệu và giữ nó trong bộ nhớ và chờ đợi các sink di động tiếp cận gần chúng để thu thập dữ liệu.

Để lấy 1 cơ hội (chance), thuật toán sử dụng ba tập mờ và các quy luật mờ if-then được định nghĩa như sau:

Bảng 3-3 Quy luật mờ If-Then của đề xuất

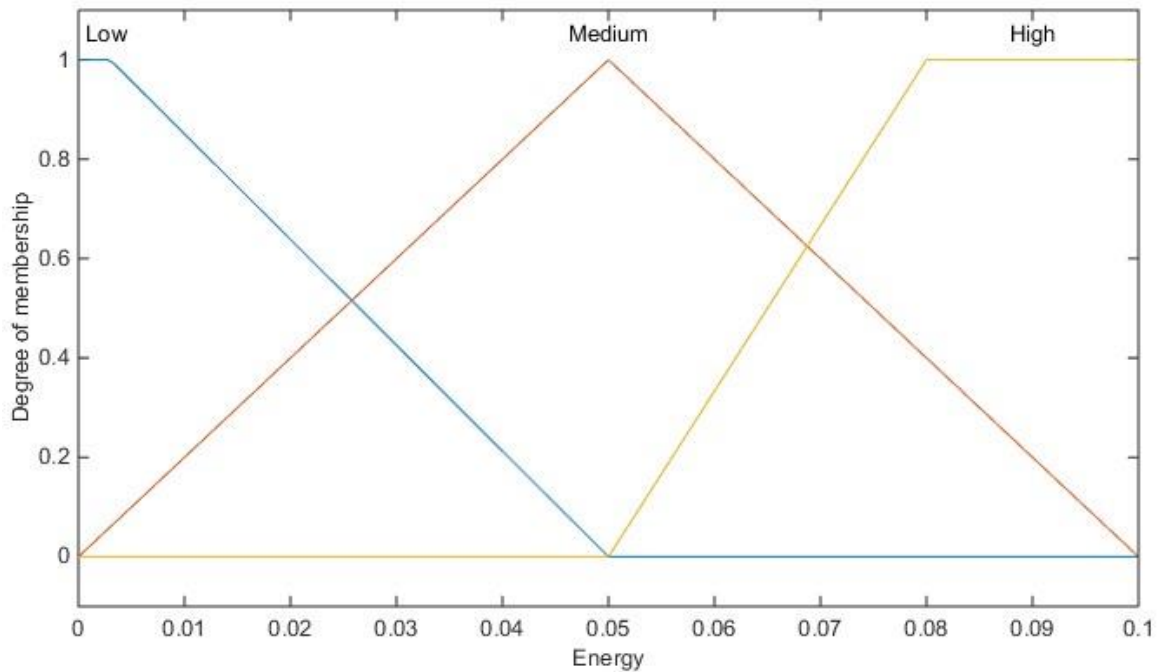
	Energy	Local Distance	Distance to Sink	Chance
1	Low	Close	Close	Rather low

2	Low	Medium	Close	Low
3	Low	Far	Close	Very low
4	Low	Close	Medium	Rather low
5	Low	Medium	Medium	Low
6	Low	Far	Medium	Very low
7	Low	Close	Far	Rather low
8	Low	Medium	Far	Low
9	Low	Far	Far	Very low
10	Medium	Close	Close	Rather medium
11	Medium	Medium	Close	Medium
12	Medium	Far	Close	Low medium
13	Medium	Close	Medium	Rather medium
14	Medium	Medium	Medium	Medium
15	Medium	Far	Medium	Low medium
16	Medium	Close	Far	Rather medium
17	Medium	Medium	Far	Medium
18	Medium	Far	Far	Low medium
19	High	Close	Close	Very high
20	High	Medium	Close	High
21	High	Far	Close	Rather high
22	High	Close	Medium	Very high
23	High	Medium	Medium	High
24	High	Far	Medium	Rather high
25	High	Close	Far	Very high
26	High	Medium	Far	High
27	High	Far	Far	Rather high

Các biến mờ được sử dụng trong luật mờ If-then được định nghĩa như sau:

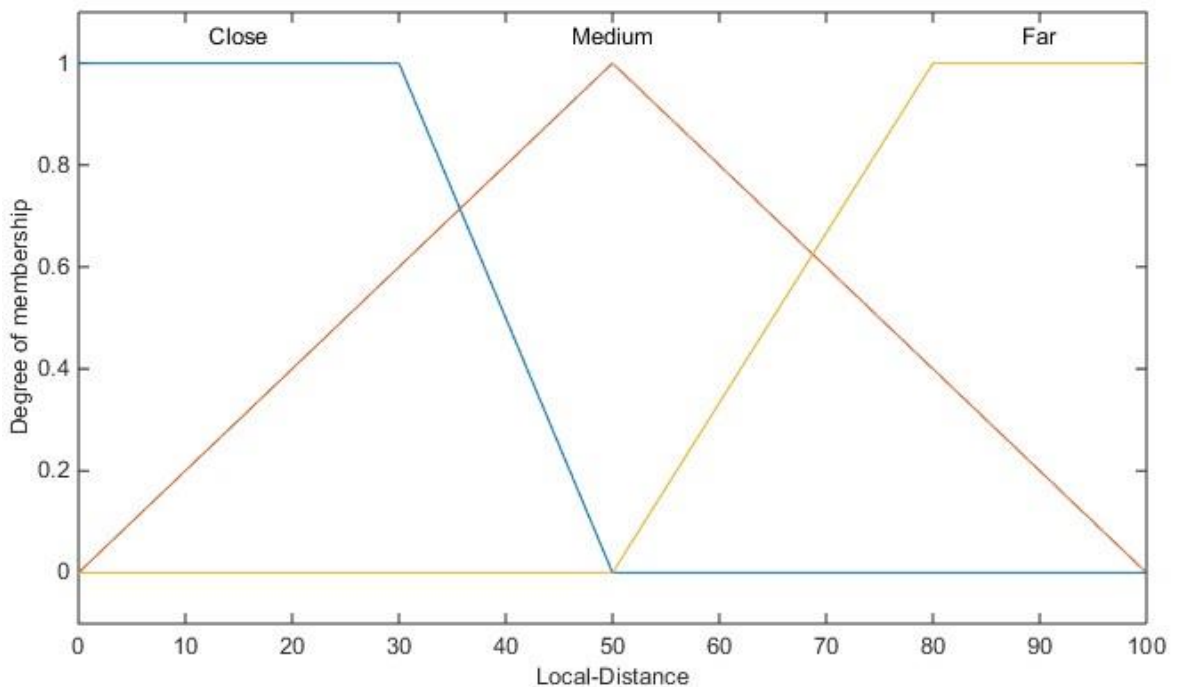
- Residual Energy là năng lượng còn lại của nút. Nó là một yếu tố quan trọng để chọn một nút như CH vì nút CH phải tiêu tốn nhiều năng lượng hơn một nút thành viên. Nút CH thu thập dữ liệu từ các thành viên, tổng hợp dữ liệu đã thu thập và truyền dữ liệu đến SINK. Vì vậy, mức năng lượng là cần thiết cho một CH để thực

hiện các hoạt động nêu trên. Low, Medium và High là các biến ngôn ngữ mờ cho năng lượng còn lại.



Hình 3-5. Hàm mờ cho biến năng lượng

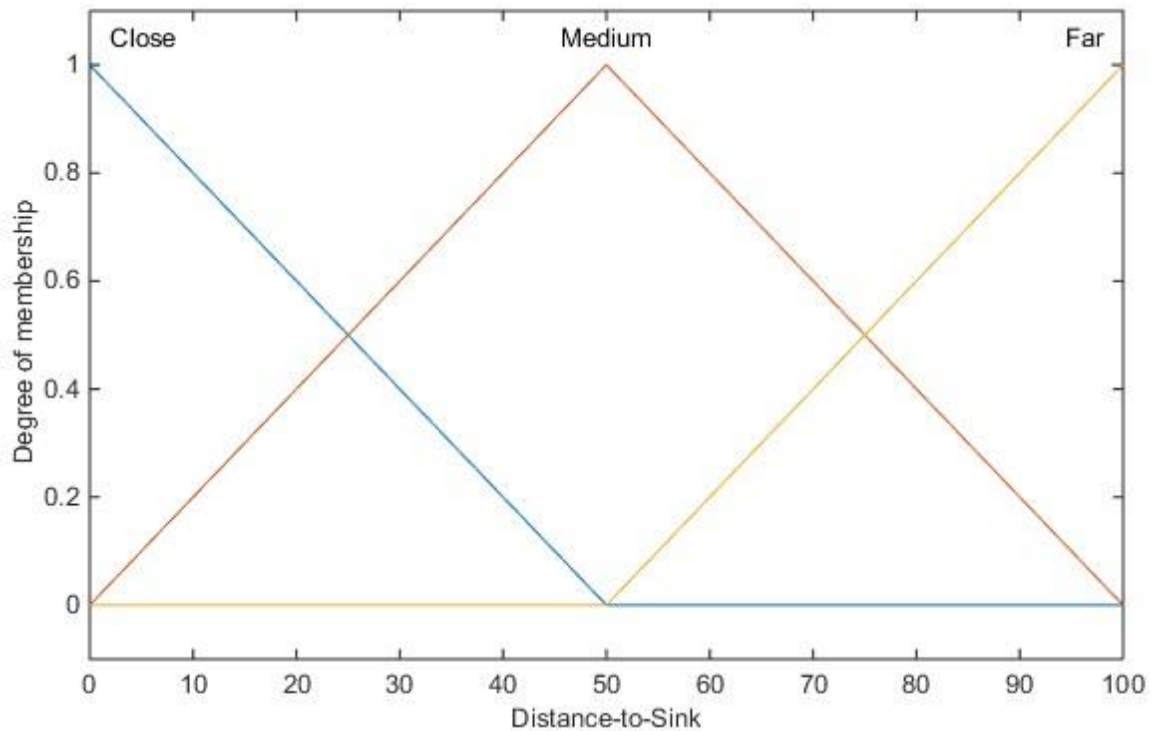
- Khoảng cách cục bộ (Local Distance) là khoảng cách từ nút hiện tại đến các nút xung quanh trong phạm vi bán kính R. Khoảng cách ở đây là khoảng cách Euclid. Close, Medium, và Far là các biến ngôn ngữ mờ cho khoảng cách cục bộ.



Hình 3-6. Hàm mờ cho biến khoảng cách cục bộ

- Khoảng cách đến sink (Distance to sink) là khoảng cách từ nút hiện tại đến sink. Tiêu thụ năng lượng để truyền dữ liệu tăng lên cùng với sự gia tăng khoảng cách giữa các nút phát và sink. Từ quan điểm bảo toàn năng lượng, cần giảm thiểu

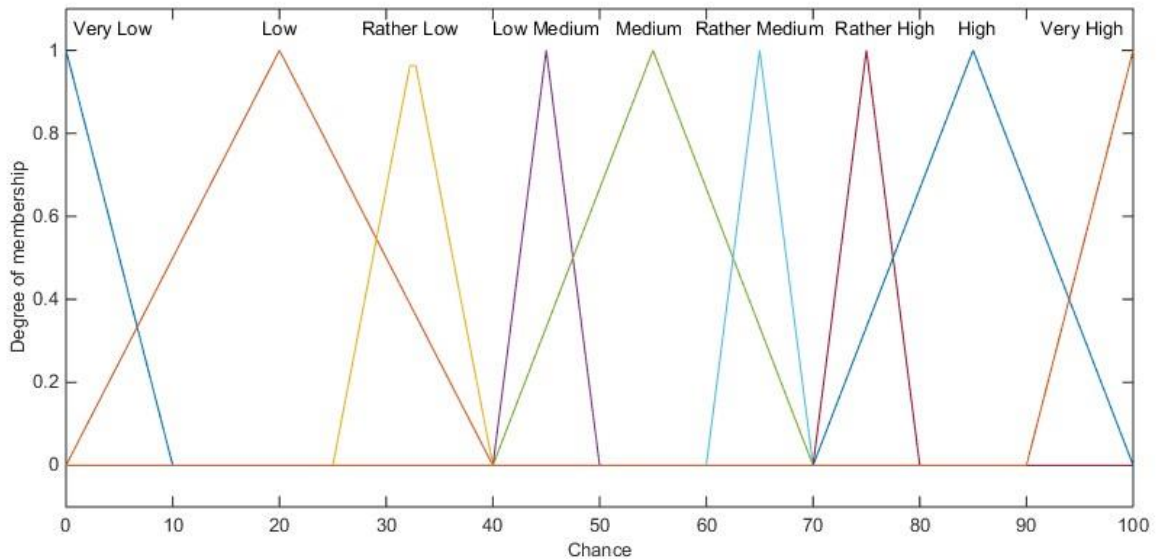
khoảng cách giữa CH và sink. (Close, Medium, và Far) là các biến ngôn ngữ mờ cho khoảng cách đến sink.



Hình 3-7. Hàm mờ cho biến khoảng cách đến sink

(Low, High, Close và Far) sử dụng hàm thành viên hình thang, trong khi Medium sử dụng hàm thành viên hình tam giác.

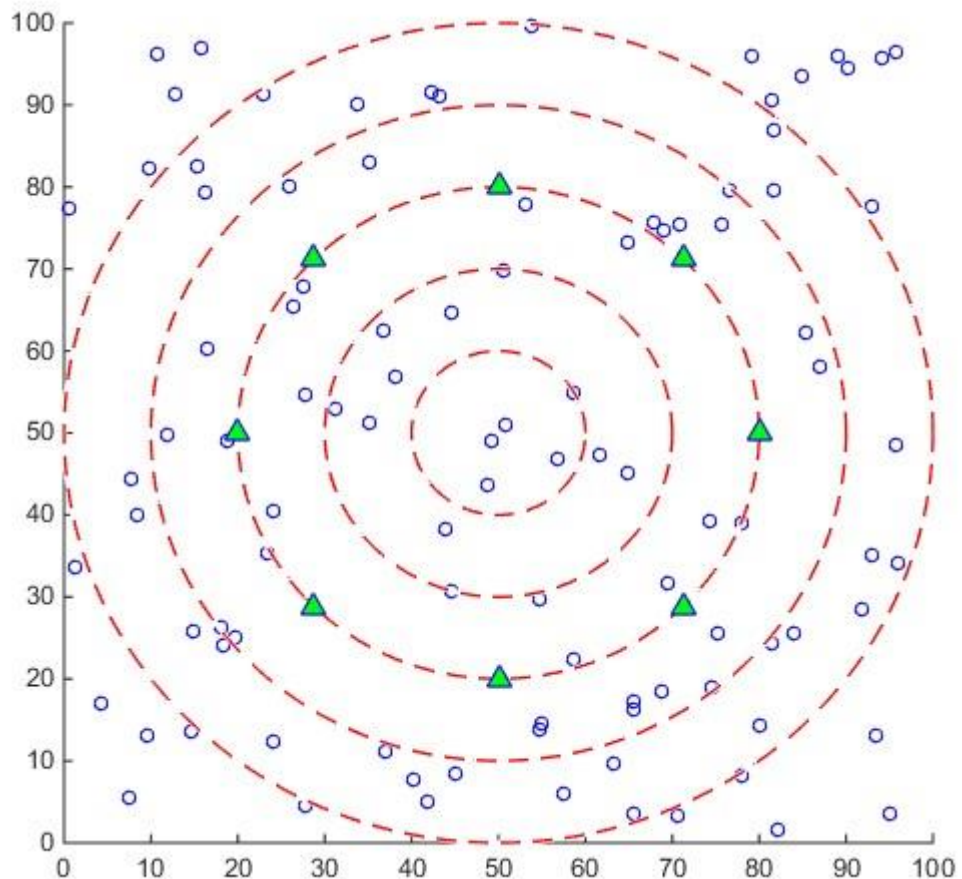
- Cơ hội (Chance) là tỷ lệ một nút được chọn làm cụm chủ. Nó là một giá trị đầu ra dựa trên khả năng CH của một nút được xác định. Giá trị *cơ hội* càng cao thì cơ hội của một nút trong việc được bầu làm CH sẽ càng cao. Có chín biến ngôn ngữ đầu ra và chúng là Very low, Low, Rather low, Low medium, Medium, High medium, Rather high, High, và Very high. Trong đó, Very low và Very high sử dụng hàm thành viên hình thang trong khi các biến ngôn ngữ còn lại sử dụng hàm thành viên hình tam giác.



Hình 3-8. Hàm mờ cho biến cơ hội

Giai đoạn điều hướng sink di động

Sink di động dựa trên mô hình sink di động của thuật toán MECA, tọa độ sink thay đổi theo thời gian. Tại từng vị trí thì sink có khoảng thời gian dừng nhất định để tổng hợp tín hiệu từ các CH. Trong đề xuất này, sink di động theo quỹ đạo đường tròn, với bán kính tính từ tâm khu vực cảm biến $R = 10m, 20m, 30m, 40m, 50m$ và sau khoảng thời gian $t = 30s$ thì sink thay đổi vị trí 1 lần và tốc độ di chuyển $V=10m/s$.



Hình 3-9 Minh họa các vị trí của sink

Giai đoạn thu thập dữ liệu

Sink di động một khi đến gần nút CH, sẽ phát tín hiệu quảng cáo yêu cầu nút CH gửi tất cả các dữ liệu lưu trữ đến sink di động. Nút CH sẽ chuyển tiếp tất cả các dữ liệu tổng hợp đến sink di động

Để kiểm tra và phân tích giải pháp đề xuất, mô phỏng được thực hiện thông qua phần mềm mô phỏng Matlab. Giả định rằng tất cả các nút cảm biến được phân bố một cách ngẫu nhiên trong một khu vực $100m \times 100m$, sink không có hạn chế về năng lượng và có thể di động, các nút thông thường có năng lượng giới hạn. Cuối cùng, các chỉ số hiệu suất khác nhau sẽ được đánh giá cho đề xuất và so sánh với các thuật toán LEACH, CHEF.

Bảng 3-4 Bảng tham số mô phỏng

Đại lượng	Giá trị
Diện tích mạng (Area)	100m x 100m
Số nút cảm biến (N)	100
Phần trăm mong muốn trở thành CH trong tổng số nút toàn mạng (p)	0.05
Số bit truyền (k)	4000
Năng lượng khởi tạo của các nút (E_0)	0.1
Hệ số năng lượng tiêu hao của các mạch truyền và nhận (E_{elec})	50nJ/bit
E_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴
E_{fs}	10pJ/bit/m ²
Năng lượng tổng hợp dữ liệu, E_{DA}	5 nJ/bit
Hệ số năng lượng của mạch khuếch đại truyền (E_{TX} , E_{RX})	50nJ/bit
Thời gian mô phỏng (R_{max})	1000 vòng

3.5.5 Đánh giá giải pháp

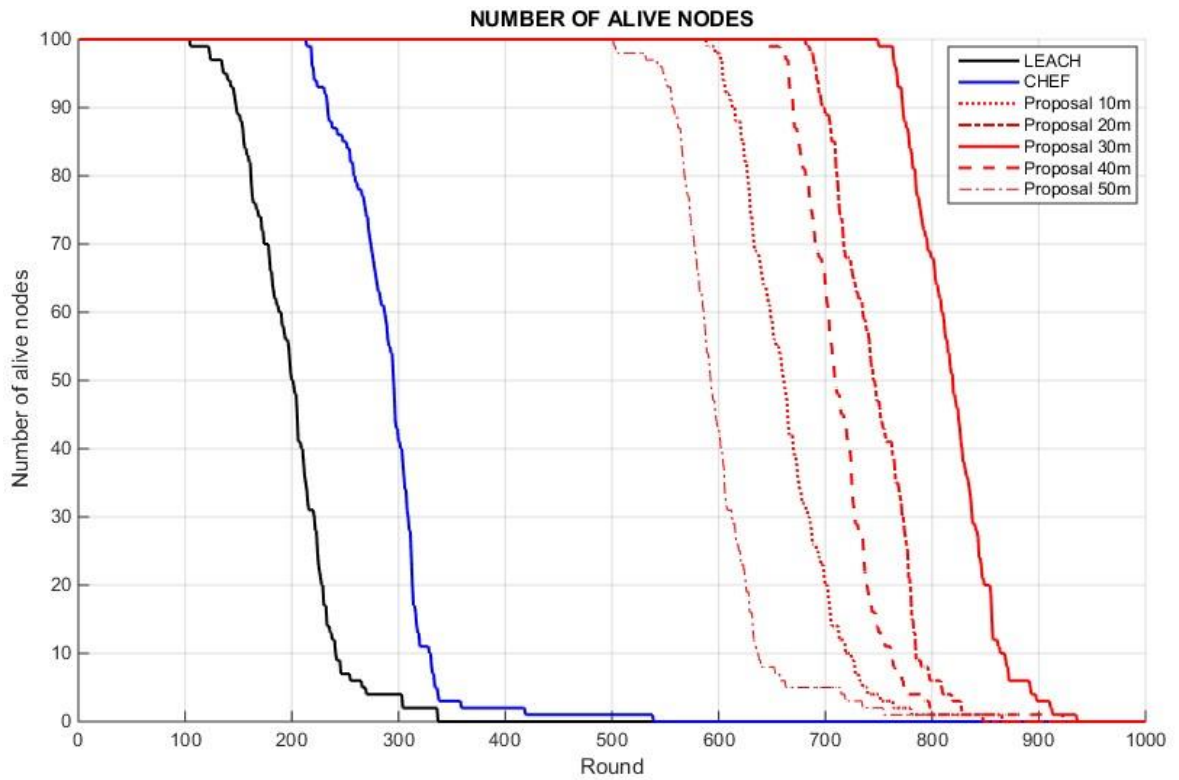
Đề xuất sử dụng logic mờ hay nói cách khác sử dụng hệ thống suy luận mờ (FIS) để xác định các CH. Căn cứ để sử dụng phương pháp này là dựa vào năng lượng (Energy) của từng nút, khoảng cách địa phương (Local distance) và khoảng cách đến sink (Distance to sink).

Các bước tiến hành mô phỏng như sau:

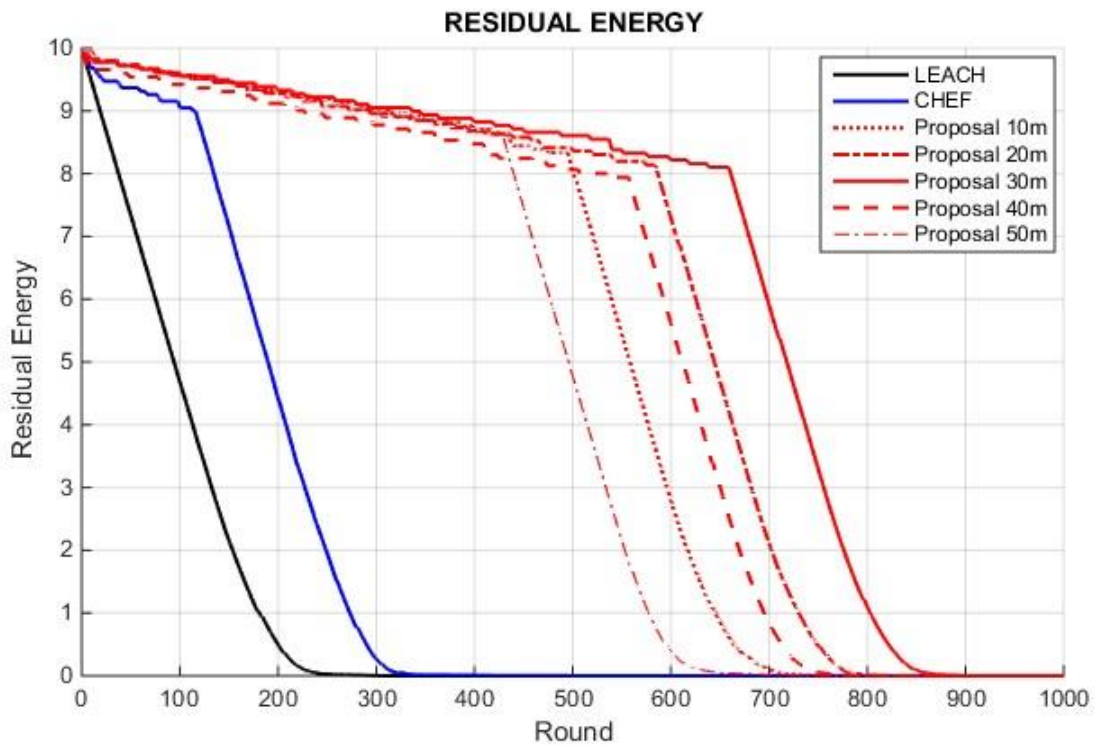
- a) Các hàm energy, local distance và distance to sink là các biến đầu vào cho hệ thống suy luận mờ (FIS).
- b) Tiến hành thiết lập các luật (27 luật)
- c) Áp dụng hệ thống suy luận mờ (FIS) để tính xác suất của từng nút.
- d) Căn cứ vào xác suất của từng nút, chúng ta chọn những nút có xác suất lớn nhất làm CH.
- e) Cho sink thay đổi vị trí trong quá trình mô phỏng, lựa chọn bán kính R=10m, 20m, 30m, 40m, 50m
- f) Quá trình sink thu thập dữ liệu từ các CH trong mạng.

Bảng 3-5. Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất với LEACH, CHEF

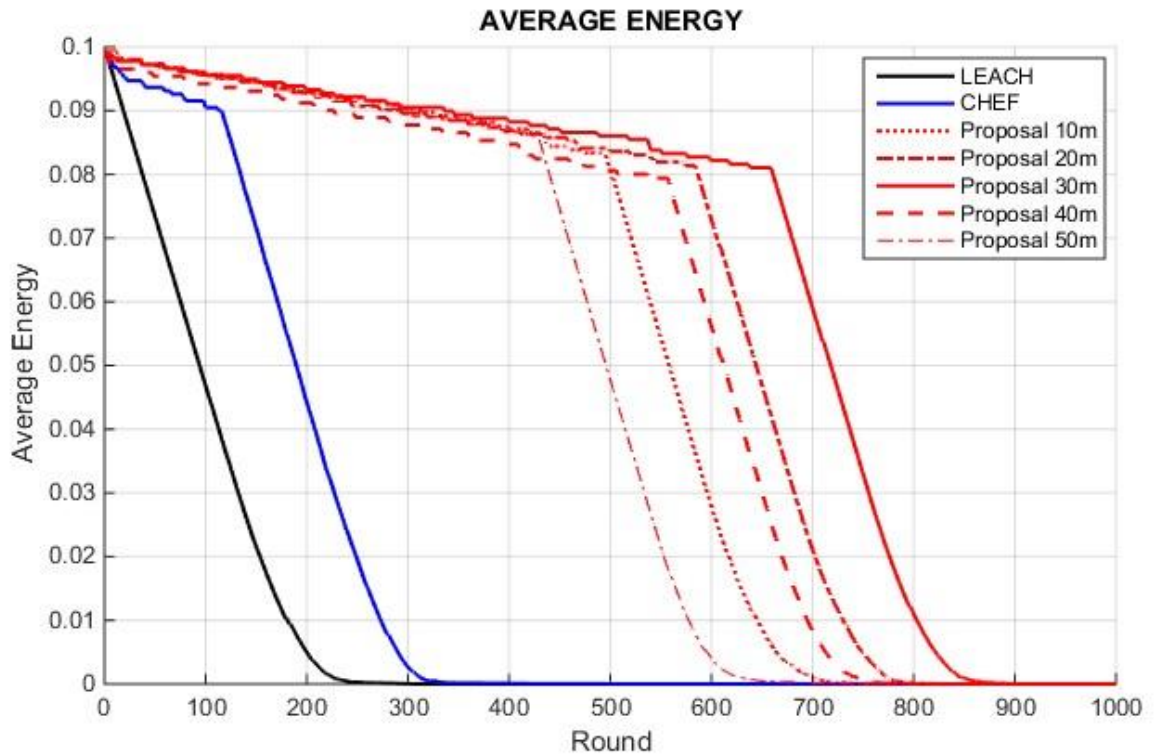
Giao thức	Nút đầu tiên chết	Nút cuối cùng chết
LEACH	104	336
CHEF	213	538
Đề xuất R = 10	588	865
Đề xuất R = 20	681	847
Đề xuất R = 30	749	935
Đề xuất R = 40	644	922
Đề xuất R = 50	501	881



Hình 3-10. Đồ thị số nút còn sống giữa đề xuất với LEACH, CHEF



Hình 3-11. Đồ thị năng lượng còn lại giữa đề xuất với LEACH, CHEF



Hình 3-12. Đồ thị năng lượng trung bình giữa đề xuất với LEACH, CHEF

Dựa trên kết quả bảng 3.5 và các đồ thị:

- Giải pháp đề xuất cho kết quả tốt hơn so với LEACH, CHEF khi so sánh dựa trên các tiêu chí: số nút còn sống của mạng, năng lượng còn lại của mạng, năng lượng trung bình của mạng.

- Trong đề xuất với các bán kính khác nhau, $R = 30$ cho kết quả tốt nhất.

Như vậy, việc phân cụm kết hợp với logic mờ và sink di động đã cải tiến thời gian sống của mạng. Đề xuất này là một cách cải tiến thời gian sống của mạng cảm biến không dây sử dụng phân cụm mờ, kết hợp với sink di động có dự đoán trước. Trong đó, việc chọn cụm chủ dựa trên ba thông số năng lượng còn lại, khoảng cách cục bộ và khoảng cách đến sink. Việc triển khai sink di động đã góp phần giải quyết vấn đề lỗ năng lượng, sink di chuyển ở khu vực giữa và gần trung tâm mạng sẽ cho kết quả tốt hơn.

Tuy nhiên, do hạn chế của các nguồn năng lượng và thực tế rằng giao tiếp làm tiêu hao điện năng đáng kể trong một nút cảm biến, phạm vi truyền dẫn của các nút này được giới hạn cho mục đích năng lượng hiệu quả, các nút cảm biến xa sink sẽ sử dụng chuyển tiếp đa chặng (multi hop) để truyền dữ liệu đến sink. Kết quả truyền thông đa chặng cho thấy tiêu hao năng lượng không cân bằng trong các phần khác nhau trong mạng, các nút xung quanh sink thì cạn kiệt năng lượng nhanh hơn nhiều so với các nút ở xa. Điều này không chỉ gây ra những cảm biến gần sink ngưng hoạt

động, mà còn làm cho sink không thể truy cập bởi các nút cảm biến khác. Trong trường hợp này, các dữ liệu cảm biến không thể gửi thành công đến sink, dữ liệu chuyển tiếp đến các bộ cảm biến gần sink bị tắc nghẽn theo dạng thắt nút cổ chai có thể làm cho mạng ngưng hoạt động, đây là một kết quả trực tiếp của việc có một sink tĩnh (cố định). Do đó, để đạt được kết quả tiết kiệm năng lượng cao hơn, tính di động của trạm thu phát nhằm tăng tuổi thọ WSN được xem xét trong nghiên cứu này.

Với hướng di chuyển sink liên tục tạo ra hiệu suất tốt và xấu, vì vậy việc lựa chọn mô hình và cách thức di chuyển sink hiệu quả nhất của sink là một phần chức năng của công việc đề xuất. Qua đó, khi xem xét sink di động theo các vòng tròn bán kính khác nhau đã cho thấy hiệu suất mạng cải thiện khác nhau, càng gần trung tâm khu vực cảm biến có thể mang lại hiệu quả cao hơn.

Trong [CT6, CT7], có 2 đề xuất. Trong đề xuất 1 kết hợp hiệu quả năng lượng dựa trên giao thức định tuyến LEACH được phát triển cho sink di động là cơ sở trong bước đầu nghiên cứu. Đề xuất 2 đã mang lại hiệu quả cao nhất khi xem xét kết hợp phân cụm dựa trên logic mờ với mô hình sink di động. Hai đề xuất được thiết kế, so sánh với LEACH, CHEF và cho thấy hiệu quả hơn để làm việc với môi trường cảm biến đồng nhất. Cả hai đề xuất được giới thiệu đều được tăng cường với sink di động theo đường dẫn có thể dự đoán được cho cơ chế thu thập dữ liệu, xác định trạng thái chuyển động sink tốt hơn liên quan đến tuổi thọ của mạng. Giao thức LEACH được xem như là một giao thức định tuyến nền tảng; trong công việc này LEACH được tăng cường để hoạt động như một giao thức định tuyến dựa trên cụm với việc thực hiện thuật toán logic mờ hiệu quả để lựa chọn cụm chủ tốt hơn. Sự áp dụng logic mờ trong quá trình lựa chọn trưởng cụm tốt hơn LEACH và ý tưởng kết hợp thuật toán phân cụm mờ CHEF với sink di động sẽ cân bằng mức tiêu thụ năng lượng giữa các nút CH vì có thể giảm phạm vi truyền dẫn giữa các nút đó với sink. Do đó, kết hợp chiến lược di chuyển sink theo đường dẫn cố định với phân cụm mờ giúp cải thiện thời gian sống của mạng. Tóm lại, đề xuất kết hợp phân cụm mờ với sink di động cho thấy sự vượt trội hơn các giao thức LEACH, CHEF về thời gian sống của mạng.

3.6. Sử dụng chiến lược di chuyển để tiết kiệm năng lượng của Mobile Sink trong mạng cảm biến không dây

3.6.1 Giới thiệu

Trong [CT1], công trình nghiên cứu thuật toán định tuyến sử dụng năng lượng của nút cảm biến hiệu quả và kéo dài tuổi thọ mạng cảm biến không dây (Tựa đề: A Proposal to Reduce Energy Consumption for Wireless Sensor Network). Việc nghiên cứu để lựa chọn cụm chủ (CH) và sử dụng thuật toán Dijkstra để tìm đường đi ngắn nhất tới các cụm chủ và tới các trạm gốc (SINK), thuật toán này tìm một đường đi ngắn nhất giữa cụm chủ và nút lân cận, đảm bảo rằng thuật toán này cung cấp truyền và tiêu thụ năng lượng chi phí thấp. Việc chỉ ra vấn đề tối ưu năng lượng là một vấn đề lớn trong WSN. Thuật toán mới đề xuất đã giảm được tiêu thụ năng lượng như là cách phân cụm để tính khoảng cách đến trạm gốc, khoảng cách đến cụm chủ và năng lượng giữa các nút.

Với [CT8], đề xuất một chiến lược xác định đường đi cho sự di chuyển của mobile sink về tiết kiệm năng lượng tiêu thụ trên sink di động và cải thiện thời gian sống WSN. Thuật toán cải tiến được thời gian sống của mobile sink bằng phương pháp tiếp cận giao thức định tuyến phân cụm LEACH-C [81] kết hợp với giải thuật Dijkstra tìm đường đi ngắn nhất cho sink di động từ trạm SINK đến các cụm chủ CH để thu thập thông tin cảm biến.

Định tuyến phân cụm LEACH-C kết hợp với giải thuật Dijkstra tìm đường đi ngắn nhất cho sink di động (Mobile sink - MS) đến các cụm chủ CH để thu thập thông tin.

Các nút cảm biến được triển khai ngẫu nhiên trong khu vực, cảm biến được tổ chức thành các cụm và các CH được chọn dựa trên thuật toán LEACH-C.

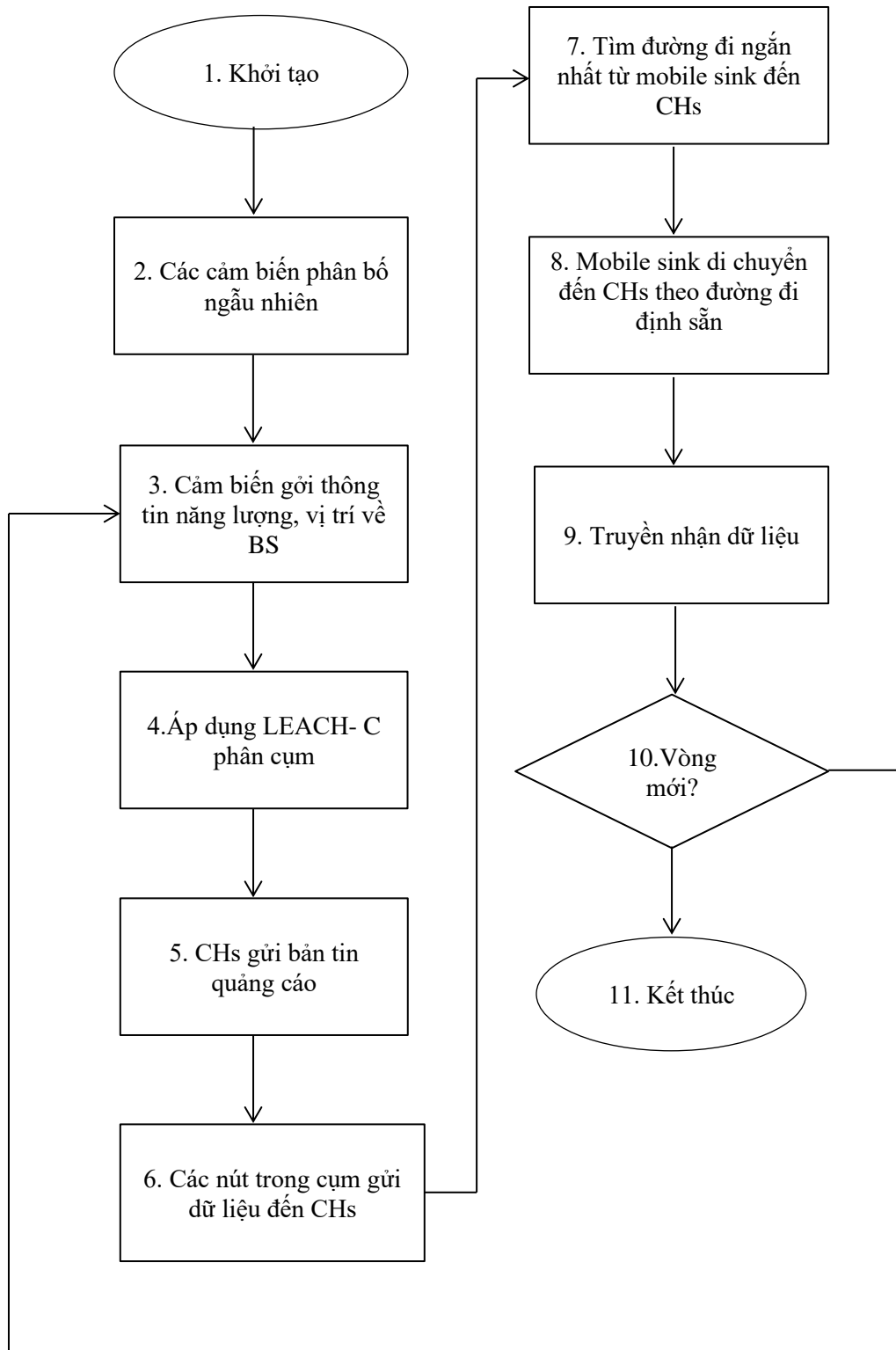
Trong giai đoạn thiết lập của LEACH-C, mỗi nút gửi thông tin về vị trí hiện tại của nó (có thể được xác định bằng GPS) và mức năng lượng còn lại cho trạm gốc SINK. SINK tính năng lượng trung bình của mạng và lựa chọn cụm chủ bằng cách so sánh giữa mức năng lượng còn lại của nút cảm biến với mức năng lượng trung bình của mạng. Các cụm chủ 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 sink di động khi nó ở trong phạm vi truyền thông.

3.6.2 Thuật toán tìm đường đi ngắn nhất Dijkstra

Thuật toán Dijkstra cho phép tìm đường đi ngắn nhất từ một đỉnh s đến các đỉnh còn lại của đồ thị và chiều dài (trọng số) tương ứng. Thuật toán được xây dựng trên cơ sở gán cho mỗi đỉnh các nhãn tạm thời. Nhãn tạm thời của các đỉnh cho biết cận trên của chiều dài đường đi ngắn nhất từ s đến đỉnh đó. Nhãn của các đỉnh sẽ biến đổi trong các bước lặp, mà ở mỗi bước lặp sẽ có một nhãn tạm thời trở thành chính thức. Nếu nhãn của một đỉnh nào đó trở thành chính thức thì đó cũng chính là chiều dài ngắn nhất của đường đi từ s đến đỉnh đó.

3.6.3 Lưu đồ hoạt động của thuật toán đề xuất

Dựa vào [81], [82], [83] trong cơ chế đề xuất này hướng di chuyển của sink thay đổi dựa trên thuật toán tìm đường đi ngắn nhất từ vị trí bắt đầu đến các nút cụm chủ CH, tại mỗi điểm dừng của mobile sink, nó sẽ có khoảng thời gian dừng nhất định để tổng hợp thông tin từ điểm dừng



Hình 3-13: Lưu đồ hoạt động của thuật toán đề xuất

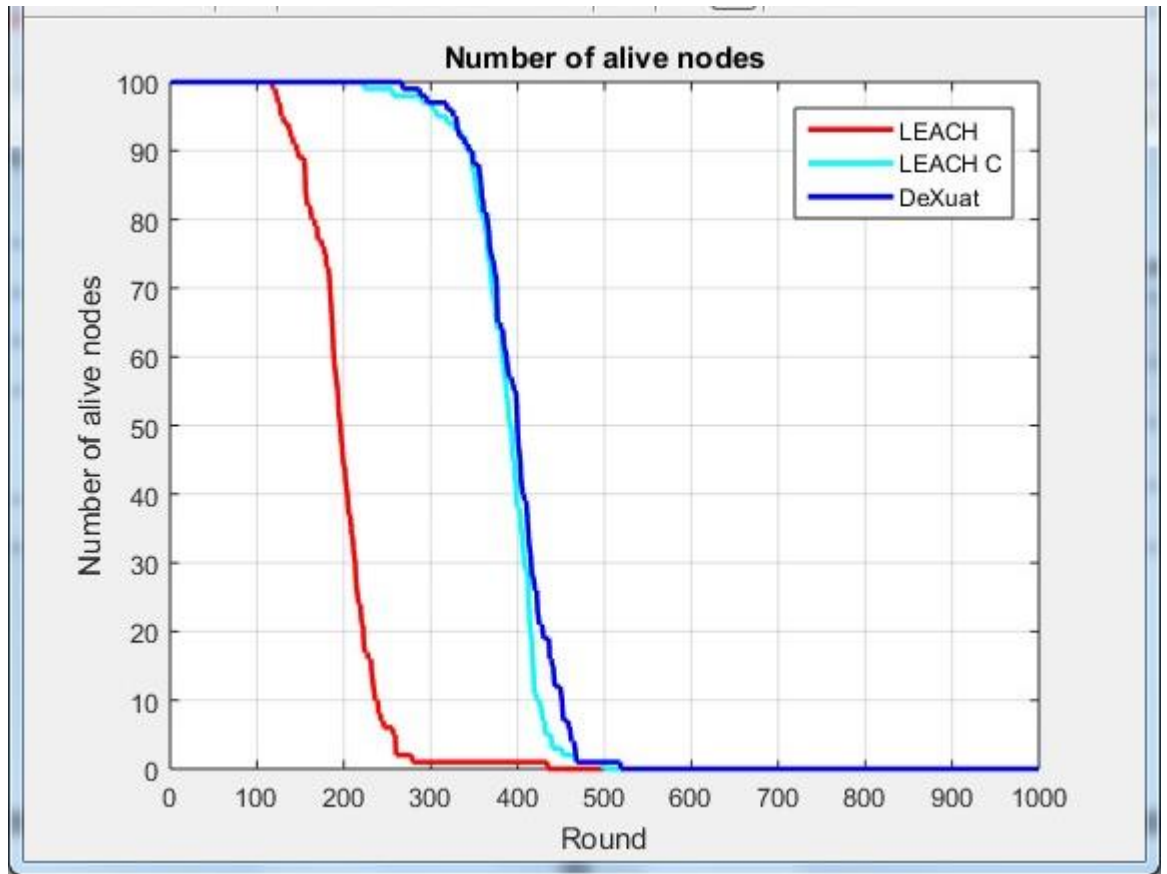
Thuật toán đề xuất với hướng tiếp cận phân cụm dựa trên LEACH kết hợp sink di động có thể cải tiến tốt hơn thời gian sống của mạng vì sink di động đã giảm tiêu thụ năng lượng chuyển tiếp từ các CH so với mô hình sink cố định. Tuy nhiên đề xuất chưa đạt được hiệu suất tốt nhất do những hạn chế trong quá trình lựa chọn CH của thuật toán LEACH-C tất cả các sensor phải gửi thông tin trạng thái về SINK vấn đề này có thể gây tiêu hao năng lượng của sensor.

3.6.4 Đánh giá giải pháp:

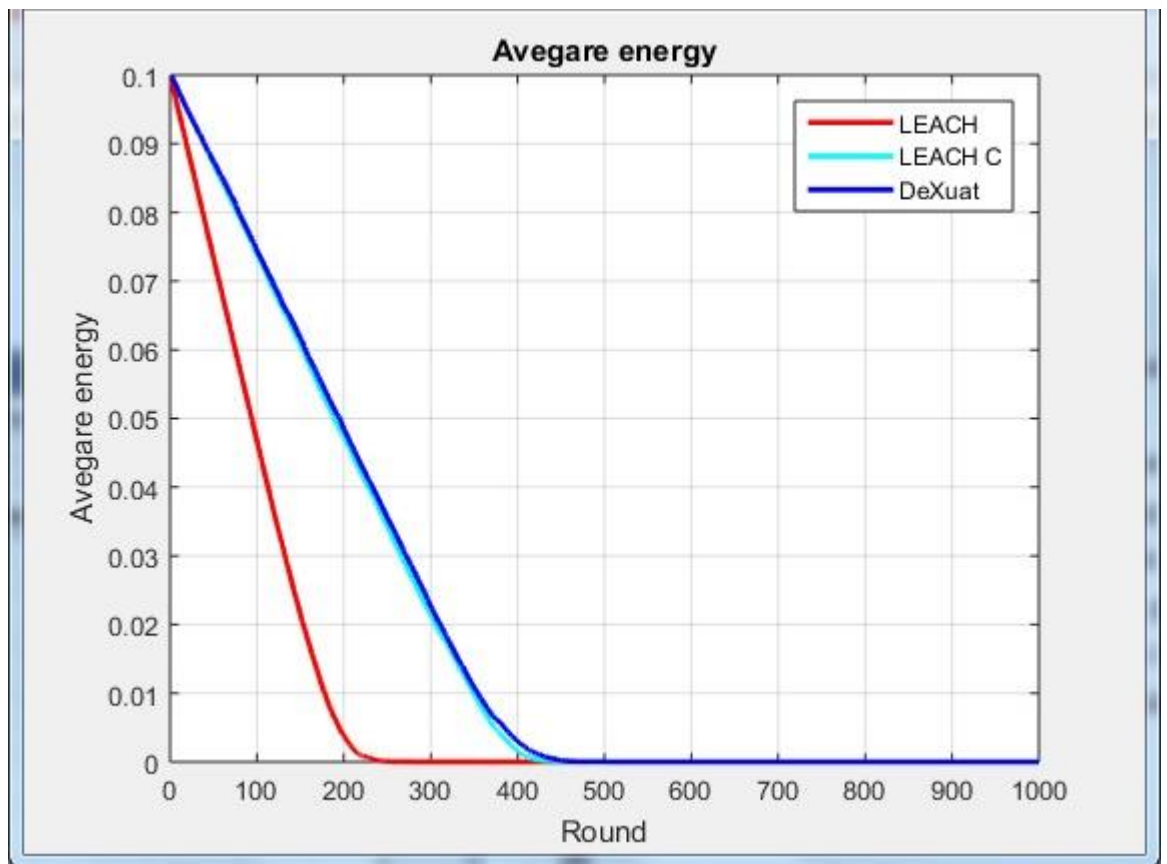
Tiến hành kiểm tra và phân tích giải pháp đề xuất (đối với năng lượng tiêu thụ), một số mô phỏng được thực hiện thông qua phần mềm mô phỏng Matlab. Môi trường mô phỏng được thiết lập với các tham số được liệt kê trong bảng 3.6. Giả định rằng tất cả các nút cảm biến được phân bố một cách ngẫu nhiên trong một khu vực $100m \times 100m$, mobile sink không có hạn chế về năng lượng và có thể di động, các nút thông thường có năng lượng giới hạn. Và đề xuất có tên gọi LEACH_CD được đánh giá so sánh với các chỉ số hiệu suất khác nhau như thuật toán LEACH, LEACH_C.

Bảng 3-6 Tham số mô phỏng của thuật toán

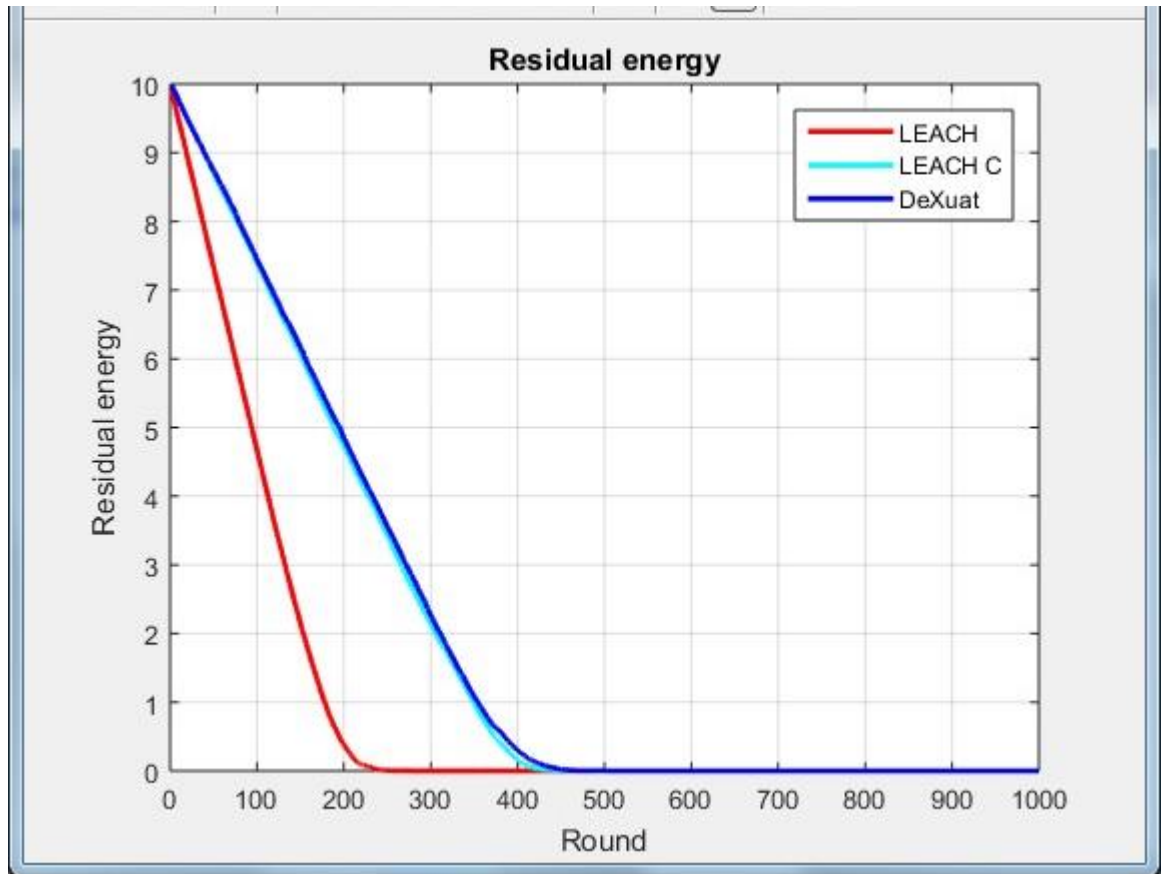
Tham số	Giá trị
Diện tích mô phỏng	100m*100m
Số nút cảm biến sử dụng (N)	100
Phần trăm mong muốn trở thành cụm chủ trong tổng số nút toàn mạng (p)	0.05
Số bit truyền (k)	4000
Năng lượng khởi tạo của các nút (E_0)	0.1
Hệ số năng lượng tiêu hao của các mạch truyền và nhận (E_{elec})	50nJ/bit
E_{mp}	0.0013pJ/bit/m ⁴
E_{fs}	10pJ/bit/m ²
Năng lượng tổng hợp dữ liệu, E_{DA}	5 nJ/bit
Hệ số năng lượng của mạch khuếch đại truyền (E_{TX} , E_{RX})	50nJ/bit
Thời gian mô phỏng (r_{max})	1000 vòng



Hình 3-14: Mô phỏng so sánh số nút còn sống giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C



Hình 3-15: Mô phỏng so sánh mức năng lượng trung bình giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C



Hình 3-16: Mô phỏng so sánh mức năng lượng còn lại giữa đề xuất LEACH_CD với LEACH, LEACH_C

Bảng 3-7: Bảng so sánh tuổi thọ mạng giữa đề xuất với LEACH, LEACH-C

Giao thức	Nút đầu tiên chết (vòng)	Nút cuối cùng chết (vòng)
LEACH	119	433
LEACH_C	224	499
LEACH_CD (đề xuất)	268	519

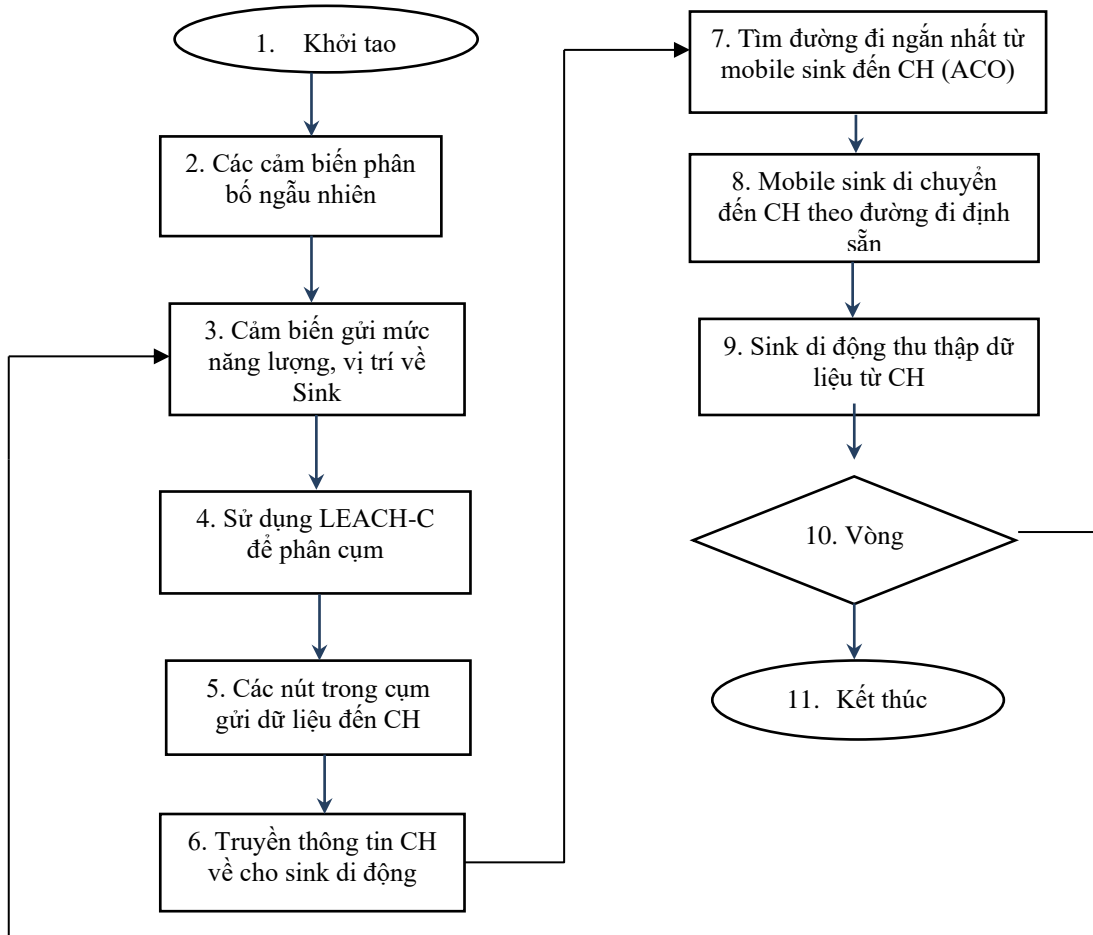
Trong LEACH xác định CHs dựa vào xác suất ngẫu nhiên, LEACH_C và đề xuất LEACH_CD xác định CHs là dựa vào sự lựa chọn của trạm gốc Sink. Trong đó, LEACH_CD có sink di chuyển từ trạm gốc đến các cụm chủ CHs theo lộ trình được xác định bởi thuật toán Dijkstra.

Tuy kết quả mô phỏng so sánh cho thấy đề xuất LEACH_CD cũng xấp xỉ kết quả LEACH_C và vượt trội hơn so với LEACH, nhưng giao thức đề xuất LEACH_CD cũng có hạn chế khi di động theo thuật toán tìm đường đi ngắn nhất Dijkstra sẽ bỏ qua một số nút cụm chủ, và do đó có thể bỏ sót thông tin thu thập. Trong [CT9] đề xuất thuật toán ACO kết hợp với LEACH-C và sink di

động để hoàn thiện vấn đề này, đồng thời hạn chế việc tiêu hao năng lượng và tăng thời gian sống của mạng. Thuật toán này sẽ được trình bày ở phần tiếp theo.

3.6.5 Thuật toán ACO kết hợp với LEACH-C và sink di động

Thuật toán trong [CT9] kết hợp giao thức định tuyến phân cụm LEACH-C với giải thuật ACO để tìm đường đi ngắn nhất cho mobile sink đến các trường cụm CH để thu thập thông tin. Sơ đồ của thuật toán được trình bày như sau:



Hình 3-17 Sơ đồ của thuật toán ACO và Leach-C trên Sink di động

Kết quả mô phỏng của đề xuất sẽ được so sánh với kết quả trong [CT8]. Sử dụng thuật toán Dijkstra để tìm đường đi ngắn nhất từ một đỉnh đến các đỉnh còn lại của đồ thị với trọng số tương ứng. Hạn chế, của thuật toán khi sink di động theo thuật toán Dijkstra là sẽ bỏ qua một số nút là cụm chủ. Đề xuất thuật toán [CT9] ACO kết hợp với LEACH-C và sink di động đã hạn chế việc tiêu hao năng lượng và tăng thời gian sống của mạng.

Kết quả mô phỏng của [CT9]

Để phân tích và kiểm tra giải pháp đề xuất, một số mô phỏng được thực thi thông qua phần mềm mô phỏng matlab

Bảng 3-8: So sánh tuổi thọ mạng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD

Giao thức	Nút đầu tiên chết ở vòng chạy thứ	Nút cuối cùng chết ở vòng chạy thứ
LEACH	119	433
LEACH-C	224	499
LEACH-CD	268	519
LEACH-CACO (Đề xuất)	309	531

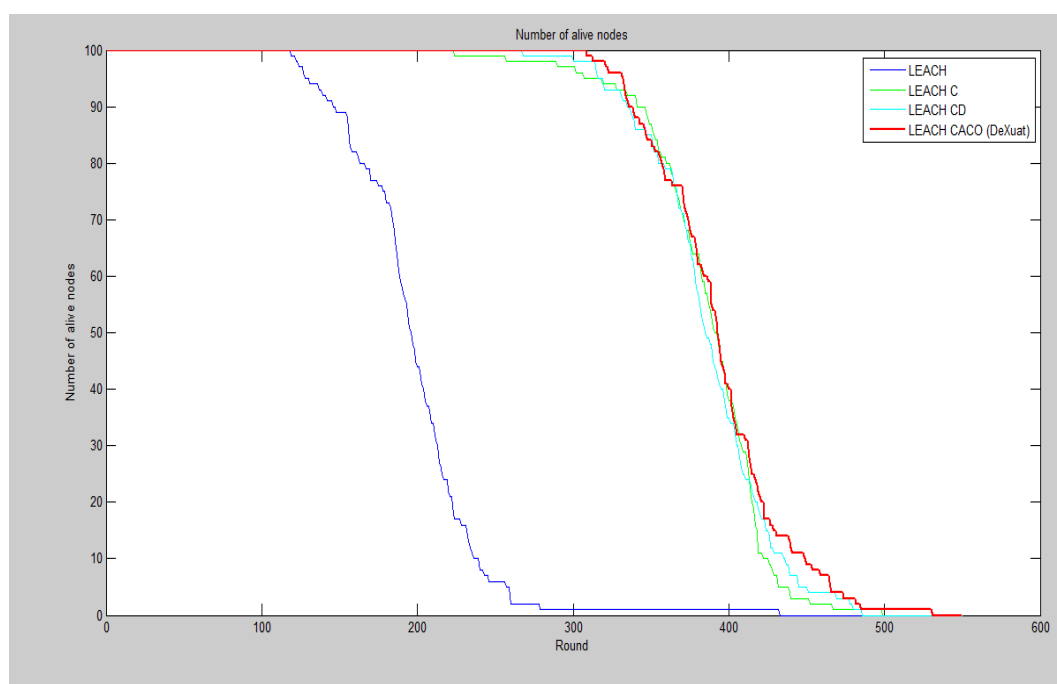
Sau 1000 vòng chạy mô phỏng:

Giao thức LEACH: Ở vòng chạy thứ 119 thì số nút mạng bắt đầu chết, đến vòng chạy thứ 433 thì toàn bộ nút mạng bị chết hoàn toàn.

Giao thức LEACH-C: Ở vòng chạy thứ 224 thì số nút mạng bắt đầu chết, đến vòng chạy thứ 499 thì toàn bộ nút mạng bị chết hoàn toàn.

Giao thức LEACH-CD: Ở vòng chạy thứ 268 thì số nút mạng bắt đầu chết, đến vòng chạy thứ 519 thì toàn bộ nút mạng bị chết hoàn toàn.

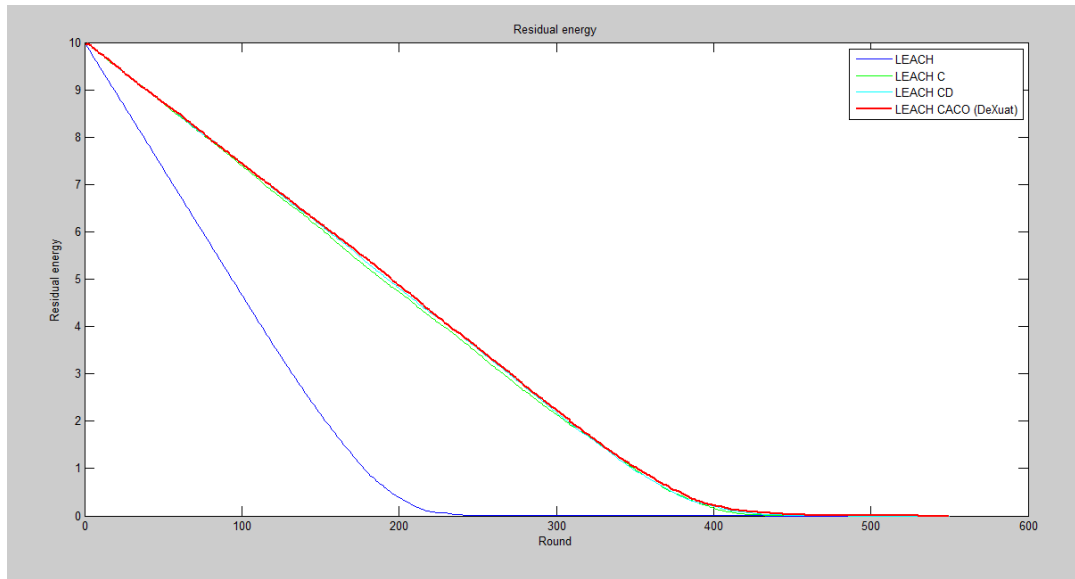
Thuật toán đề xuất: Ở vòng chạy thứ 309 thì số nút mạng bắt đầu chết, đến vòng chạy thứ 531 thì toàn bộ nút mạng bị chết hoàn toàn.



Hình 3-18 Mô phỏng so sánh nút mạng còn sống giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD

Hình 3.18 cho thấy đề xuất LEACH-CACO là tốt hơn so với các thuật toán LEACH, LEACH-C, LEACH-CD vì sự xuất hiện lâu hơn của nút chết đầu tiên và nút chết cuối cùng so với các thuật toán khác. Kết quả cho thấy hiệu suất tốt nhất là

khi sink di động kết hợp với thuật toán ACO để lựa chọn đường đi tốt nhất nhằm giảm đáng kể năng lượng tiêu hao.



Hình 3-19. Mô phỏng quá trình tiêu thụ năng lượng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD

Bảng 3-9: So sánh tiêu thụ năng lượng giữa giao thức đề xuất LEACH-CACO và giao thức LEACH, LEACH-C, LEACH-CD

Giao thức	Năng lượng bị cạn
LEACH	245
LEACH-C	423
LEACH-CD	436
LEACH-CACO	459

Sau 1000 vòng chạy mô phỏng:

- Giao thức LEACH: Ở vòng chạy thứ 245 thì năng lượng tiêu thụ bị cạn.
- Giao thức LEACH-C: Ở vòng chạy thứ 423 thì năng lượng tiêu thụ bị cạn.
- Giao thức LEACH-CD: Ở vòng chạy thứ 436 thì năng lượng tiêu thụ bị cạn.
- Giao thức đề xuất: Ở vòng chạy thứ 459 thì năng lượng tiêu thụ bị cạn.

Với LEACH xác định cụm chủ dựa vào xác suất ngẫu nhiên, LEACH-C và LEACH-CD, và đề xuất LEACH-CACO xác định cụm chủ dựa trên thông tin về vị trí và năng lượng của tất cả các nút trong WSN gửi tới Sink. Trong đó, LEACH_CACO có sink di chuyển từ trạm gốc đến các cụm chủ theo đường đi được xác định bởi thuật toán ACO. Căn cứ vào kết quả mô phỏng: số lượng các nút còn sống và năng lượng còn lại của đề xuất LEACH-CACO cao hơn LEACH, LEACH-C và LEACH-CD. Trong

đó, ACO cũng là thuật toán tối ưu đường đi với mục tiêu tìm đường đi ngắn nhất nhưng lại xét trên toàn hệ thống qua đó giảm tối đa hiện tượng chọn trùng đường đi qua một nút trung gian, qua đó dàn đều công việc ra cho toàn bộ các nút trong hệ thống mà vẫn giảm được khoảng cách truyền

KẾT LUẬN VÀ HƯỚNG PHÁT TRIỂN

Để cải thiện năng lượng trong mạng cảm biến không dây, việc thiết kế một mạng WSN hoạt động tốt, mềm dẻo, dễ dàng triển khai vào các ứng dụng thực tế gặp rất nhiều khó khăn bởi nhiều nguyên nhân, trong đó khó khăn lớn nhất hiện nay là năng lượng của các node bị giới hạn và khó nạp lại. Do đó việc sử dụng nguồn năng lượng sẵn có trên các nút một cách hiệu quả sẽ làm giảm tiêu hao năng lượng kéo dài thời gian sống của toàn mạng, là cho tuổi thọ của mạng tăng lên. Trong các công trình đã được công bố, việc cải tiến các thuật toán LEACH, SEP, BEENISH, DEEC, ϵ FCM, kết hợp logic mờ và mô hình sink di động để cải thiện năng lượng tiêu thụ trong mạng cảm biến không dây đã được thực hiện.

Thông qua việc phân tích, đánh giá kết quả của các công trình nghiên cứu trước đó thì luận án có những đóng góp cụ thể như sau:

1) Các đề xuất dựa trên mô hình sink tĩnh:

+ Đề xuất 1: Trong [CT2] NCS đã đưa ra một cơ chế tốt hơn để định tuyến trong mạng cảm biến không đồng nhất dựa vào mức năng lượng. Đề xuất này đã được đăng trên tạp chí International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.9, No.4, July 2017.

+ Đề xuất 2: Nhằm nâng cao hiệu quả của việc lựa chọn cụm chủ, NCS đề nghị kết hợp thuật toán phân cụm mờ ϵ FCM trong việc lựa chọn CH node vào giao thức SEP được thể hiện trong [CT3]

+ Đề xuất 3: Trong [CT4], NCS đã đề xuất áp dụng lý thuyết Fuzzy Logic kết hợp với thuật toán LEACH để cải tiến hiệu quả năng lượng. Tuy nhiên, đề xuất này mới chỉ là bước đầu trong nghiên cứu về áp dụng Fuzzy Logic để tăng hiệu quả năng lượng trong mạng cảm biến không dây. Tiếp đến trong [CT5], để định tuyến hiệu quả thông qua tuyến đường truyền dữ liệu từ nút đến nút và kéo dài tuổi thọ mạng, phương thức đề xuất thuật toán sử dụng kết hợp cả hai phương pháp tiếp cận mờ và thuật toán A-sao có cải tiến độ ưu tiên trong việc lựa chọn nút hình thành tuyến đường. Phương thức đề xuất có khả năng chọn tuyến đường định tuyến tối ưu từ nút nguồn đến trạm gốc bằng cách ưu tiên năng lượng còn lại cao nhất, số bước nhảy tối thiểu, tải lưu lượng thấp nhất và là nút tốt.

2) Các đóng góp dựa trên mô hình sink động:

- Đến [CT6] đã xây dựng 2 đề xuất, đề xuất 1 kết hợp hiệu quả năng lượng dựa trên giao thức định tuyến LEACH được phát triển cho sink di động là cơ sở

trong bước đầu nghiên cứu. Đề xuất 2 đã mang lại hiệu quả cao nhất khi xem xét kết hợp phân cụm dựa trên logic mờ với mô hình sink di động. Hai đề xuất được thiết kế, so sánh với LEACH, CHEF và cho thấy hiệu quả hơn để làm việc với môi trường cảm biến đồng nhất. Cả hai đề xuất được giới thiệu đều được tăng cường với sink di động theo đường dẫn có thể dự đoán được cho cơ chế thu thập dữ liệu, xác định trạng thái chuyển động sink tốt hơn liên quan đến tuổi thọ của mạng. Việc áp dụng logic mờ trong quá trình lựa chọn trường cụm tốt hơn LEACH và ý tưởng kết hợp thuật toán phân cụm mờ CHEF với sink di động sẽ cân bằng mức tiêu thụ năng lượng giữa các nút CH vì có thể giảm phạm vi truyền dẫn giữa các nút đó với sink. Do đó, kết hợp chiến lược di chuyển sink theo đường dẫn cố định với phân cụm mờ giúp cải thiện thời gian sống của mạng. Trong [CT7], đề xuất một cách cải tiến thời gian sống của mạng cảm biến không dây sử dụng phân cụm mờ, kết hợp với sink di động có dự đoán trước. Trong đó, việc chọn cụm chủ dựa trên ba thông số năng lượng còn lại, khoảng cách cục bộ và khoảng cách đến sink. Việc triển khai sink di động đã góp phần giải quyết vấn đề lỗi năng lượng, sink di chuyển ở khu vực giữa và gần trung tâm mạng sẽ cho kết quả tốt hơn.

- Với [CT8, CT9], đề xuất một chiến lược xác định đường đi cho sự di chuyển của mobile sink về tiết kiệm năng lượng tiêu thụ trên sink di động và cải thiện thời gian sống WSN. Thuật toán sử dụng giao thức định tuyến phân cụm LEACH-C kết hợp với giải thuật Dijkstra, ACO tìm đường đi ngắn nhất cho sink di động từ trạm SINK đến các cụm chủ CH để thu thập thông tin cảm biến.

Luận án này có thể mở rộng với các nghiên cứu trong tương lai với các chiến lược sink di động và phân cụm có thể được chỉnh sửa và cải tiến bằng cách xem xét các vấn đề sau:

- Để có kết quả nâng cao, một thuật toán tối ưu hóa bằng cách sử dụng các tính toán tiến hoá như Thuật toán di truyền (GA), tối ưu đàn kiến (ACO) có thể được thực hiện trên đường dẫn di chuyển của sink để xác định tốc độ, số điểm dừng, thời gian dừng, và vị trí của điểm dừng sink để tiêu thụ năng lượng tốt nhất. Cách tiếp cận thiết kế phát triển có thể được thực hiện trên một giao thức định tuyến khác.
- Luận án đề xuất chỉ xem xét WSN đồng nhất, các nghiên cứu sâu hơn có thể được thực hiện bằng cách xem xét WSN không đồng nhất. Tăng cường tính

linh hoạt của đề xuất thích ứng với các điều kiện mạng rộng hơn, công việc tương lai có thể có nhiều sink di động và các nút cảm biến thông thường cũng có thể di chuyển.

CÔNG TRÌNH NGHIÊN CỨU

[CT1] Tran Cong Hung, Phan Thi The “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), 2015 Edition, Vol. 5, No.7, ISSN 1925-2676, pages 01-04, October 2015, Canada, Website:<http://www.cyberjournals.com/2015.html>;
<http://www.cyberjournals.com/Papers/2015/07.pdf>

[CT2] Phan Thi The, Bui Hoang Mai, Nguyen Thanh Tuan, Tran Cong Hung, “Improving Distributed Energy Efficient Clustering Algorithm to Save Lifetime for Heterogeneous WSN”, International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Vol.9, No.6, Nov 2017, DOI: 10.5121/ijcnc.2017.9407, pp.81-96, Scopus, <http://airccse.org/journal/ijc2017.html>, <http://airconline.com/ijcnc/V9N4/9417cnc07.pdf>

[CT3] Phan Thi The, Nguyen Quang Quyen, Tran Cong Hung “A Proposal to Improve SEP Routing Protocol Using Insensitive Fuzzy C-Means in Wireless Sensor Network”, International Journal of Computer Networks & Communications (IJCNC) Scopus Vol.9, No.4, July 2017, <http://airconline.com/ijcnc/V9N6/9617cnc04.pdf>

[CT4] Phan Thi The, Le Chien Thang, Tran Cong Hung “Proposal to reduce energy consumption by integrated improvement of leach and fuzzy inference system in the wireless sensor network”, Journal of Communication and Computer (ISSN 1548-7709, USA, Paper No: JCC-E20170705-1, 2017

[CT5] Phan Thi The, Nguyen Quoc Thinh, Nguyen Thanh Tuan, Tran Cong Hung, Using Fuzzy logic and search algorithms to balance consumption power and maximum lifespan for Wireless Sensor Network, Journal of Science & Technology on Information and Communications, ISSN: 2525-2224, pp.16-21, 04(CS.01)2018, PTIT, 01/2019

[CT6] Phan Thi The, Vu Nhu Manh, Tran Cong Hung, Le Dien Tam “Improving Network Lifetime in Wireless Sensor Network Using Fuzzy Logic Based Clustering Combined With Mobile Sink”, ICACT 2018 (The 20th International Conference on Advanced Communication Technology), <http://www.icact.org>, Publication Date: 11-14 Feb.2018, On page(s): 113-119, Korea, ISSN: 1738-9445, ISBN: 979-11-88428-

00-7(CD), 979-11-88428-01-4(Pdf), IEEE Catalog Number CFP18561-CDR, CFP18561-ART, indexed by Scopus

[CT7] Phan Thi The, Nguyen Ngoc Thang, Tran Cong Hung An Improvement of Fuzzy Logic Based Clustering Combined for Mobile Sink Algorithm, ICMLSC 2019 (Proceedings of The 3rd International Conference on Machine Learning and Soft Computing), pp.65-70, ACM New York, NY, USA @2019 (ISBN: 978-1-4503-6612-0), indexed by Ei Compendex, Scopus, Da Lat, Vietnam, January 25-28, 2019, <https://dl.acm.org/citation.cfm?id=3311018>..

[CT8] Tran Cong Hung, Dang Thi Ngoc, Phan Thi The, Le Ngoc Hieu, H.N.T.Luan, Le Dien Tam A moving direction proposal to save energy consumption for mobile sink in wireless sensor network, ICACT 2019 (The IEEE 21st International Conference on Advanced Communication Technology), <http://www.ifact.org>, Publication Date: 17-20 Feb.2019, On page(s): 107-110, Korea, ISSN: 1738-9445, ISBN: 979-11-88428-03-8, 979-11-88428-01-4(Pdf), IEEE Catalog Number: CFP19561-USB, such as SCOPUS, EI Compendex, INSPEC, and Conference Proceedings Citation Index (CPCI).

[CT9]. Tran Cong Hung, Phan Thi The, Incorporate ACO routing algorithm and mobile sink in Wireless Sensor Networks, IJECE (International Journal of Electrical and Computer Engineering), Vol. 11, No. 5, October 2021, pp. 4194~4201, ISSN: 2088-8708, e-ISSN 2722-2578, DOI: 10.11591/ijece.v11i5.pp4194-4201, SCOPUS indexed Journal, SNIP: 1.144; SJR: 0.368; CiteScore: 1.63; SJR & CiteScore Q2, đã được chấp nhận ngày 26/09/2020, online tháng 05/2021 và được xuất bản vào tháng 10/2021

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] I. Ullah Khan, A. Safi, M. Arif, N. Azim, and S. Ahmad, “Wireless Sensor Network Applications for Healthcare,” *Ijacta*, vol. 5, no. 1, pp. 025–033, 2017.
- [2] T. C. Hung, P. M. Tan, and H. T. Thua, “Application of Wireless Sensor Networks Technology for Early Forest Fire Warning,” vol. 5, no. 5, pp. 1–6, 2015.
- [3] M. Aslam, N. Javaid, A. Rahim, U. Nazir, A. Bibi, and Z. A. Khan, “Survey of extended LEACH-based clustering routing protocols for wireless sensor networks,” *Proc. 14th IEEE Int. Conf. High Perform. Comput. Commun. HPCC-2012 - 9th IEEE Int. Conf. Embed. Softw. Syst. ICSS-2012*, pp. 1232–1238, 2012, doi: 10.1109/HPCC.2012.181.
- [4] M. M. Warriar and A. Kumar, “An Energy Efficient Approach for Routing in Wireless Sensor Networks,” *Procedia Technol.*, vol. 25, no. Raerest, pp. 520–527, 2016, doi: 10.1016/j.protcy.2016.08.140.
- [5] C. P. Yadav, R. Kumari, and S. K. Yadav, “An Efficient Routing Method for Lifetime Enhancement in Wireless Sensor Network using Fuzzy Approach and A-Star Algorithm,” vol. 3, no. 9, pp. 277–284, 2014.
- [6] N. A. Pantazis, S. A. Nikolidakis, and D. D. Vergados, “Energy-efficient routing protocols in wireless sensor networks: A survey,” *IEEE Commun. Surv. Tutorials*, vol. 15, no. 2, pp. 551–591, 2013, doi: 10.1109/SURV.2012.062612.00084.
- [7] T. Qiang, W. Bingwen, and D. Zhicheng, “MS-leach: A routing protocol combining multi-hop transmissions and single-hop transmissions,” *Proc. 2009 Pacific-Asia Conf. Circuits, Commun. Syst. PACCS 2009*, pp. 107–110, 2009, doi: 10.1109/PACCS.2009.13.
- [8] A. M. P. Amorim, P. A. C. Oliveira, and H. C. Freitas, “Performance evaluation of single- and multi-hop wireless networks-on-chip with NAS Parallel Benchmarks,” *J. Brazilian Comput. Soc.*, vol. 21, no. 1, 2015, doi: 10.1186/s13173-015-0027-y.
- [9] W. Liang, J. Luo, and X. Xu, “Prolonging network lifetime via A controlled mobile sink in wireless sensor networks,” *GLOBECOM - IEEE Glob. Telecommun. Conf.*, no. May 2014, 2010, doi: 10.1109/GLOCOM.2010.5683095.
- [10] S. Basagni, A. Carosi, E. Melachrinoudis, C. Petrioli, and Z. M. Wang, “Controlled sink mobility for prolonging wireless sensor networks lifetime,” *Wirel. Networks*, vol. 14, no. 6, pp. 831–858, 2008, doi: 10.1007/s11276-007-0017-x.
- [11] M. M. Umar, N. Alrajeh, and A. Mehmood, “SALMA : An Efficient State-Based Hybrid Routing Protocol for Mobile Nodes in Wireless Sensor Networks,” vol. 2016, 2016, doi: 10.1155/2016/2909618.
- [12] Y. Sun, S. Zhang, H. Xu, and S. Lin, “New technologies and research trends for mobile wireless sensor networks,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/929121.

- [13] M. Ali, A. Iqbal, B. Nazir, N. ul, S. Mehmood, and K. Habib, "Energy Efficient Clustering Using Fixed Sink Mobility for Wireless Sensor Networks," *Int. J. Adv. Comput. Sci. Appl.*, vol. 7, no. 2, 2016, doi: 10.14569/ijacsa.2016.070266.
- [14] A. K. P. R. Golash, "Design of Energy Efficient Multi-Sink and Mobile-Sink Routing Algorithms for Enhancing Network Lifetime for Consumer Home Networks," *Int. J. Sci. Res.*, vol. 3, no. 4, pp. 783–788, 2014, [Online]. Available: <https://www.ijsr.net/archive/v3i4/MDIwMTMxNTk1.pdf>.
- [15] Y. Zhao *et al.*, "A Comprehensive Survey of 6G Wireless Communications," no. Im, 2020, [Online]. Available: <http://arxiv.org/abs/2101.03889>.
- [16] H. Singh, V. Pallagani, V. Khandelwal, and U. Venkanna, "IoT based smart home automation system using sensor node," *Proc. 4th IEEE Int. Conf. Recent Adv. Inf. Technol. RAIT 2018*, pp. 1–5, 2018, doi: 10.1109/RAIT.2018.8389037.
- [17] B. Mao, Y. Kawamoto, and N. Kato, "AI-Based Joint Optimization of QoS and Security for 6G Energy Harvesting Internet of Things," *IEEE Internet Things J.*, vol. 7, no. 8, pp. 7032–7042, 2020, doi: 10.1109/JIOT.2020.2982417.
- [18] N. Saeed, M. S. Alouini, and T. Y. Al-Naffouri, "Towards the internet of x-things: new possibilities for underwater, underground, and outer space exploration," *arXiv*, 2019.
- [19] I. F. Akyildiz, A. Kak, and S. Nie, "6G and Beyond: The Future of Wireless Communications Systems," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 133995–134030, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3010896.
- [20] K. Sohraby, D. Minoli, and T. Znati, *Wireless Sensor Technology, Protocols, and Applications*. 2007.
- [21] L. K. Ketshabetswe, A. M. Zungeru, M. Mangwala, J. M. Chuma, and B. Sigweni, "Communication protocols for wireless sensor networks: A survey and comparison," *Heliyon*, vol. 5, no. 5, p. e01591, 2019, doi: 10.1016/j.heliyon.2019.e01591.
- [22] J. Zheng and A. Jamalipour, *Wireless Sensor Networks: A Networking Perspective*. 2008.
- [23] D. X. (Sherman) Shen and D. Y. Pan, *FUNDAMENTALS OF WIRELESS SENSOR NETWORKS*. Wiley Series on Wireless Communications and Mobile Computing, 2010.
- [24] F. Ahmed, Z. Wadud, N. Javaid, N. Alrajeh, M. S. Alabed, and U. Qasim, "Mobile sinks assisted geographic and opportunistic routing based interference avoidance for underwater wireless sensor network," *Sensors (Switzerland)*, vol. 18, no. 4, 2018, doi: 10.3390/s18041062.
- [25] E. Khorov, I. Levitsky, and I. F. Akyildiz, "Current Status and Directions of IEEE 802.11be, the Future Wi-Fi 7," *IEEE Access*, vol. 8, no. May 2019, pp. 88664–88688, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2993448.
- [26] Lê Đình Tuấn and Thái Đoãn Ngọc, "Xây dựng mạng cảm biến không dây trong nông nghiệp chính xác," *Tạp chí Khoa học Trường Đại Học Cần Thơ*, pp. 115–122, 2013.
- [27] G. J. Pottie, "Sensor networks for environmental monitoring," *Proc. - CNSR*

- 2007 Fifth Annu. Conf. Commun. Networks Serv. Res., pp. 3–4, 2014, doi: 10.1109/CNSR.2007.41.
- [28] K. S. Adu-Manu, N. Adam, C. Tapparello, H. Ayatollahi, and W. Heinzelman, “Energy-harvesting wireless sensor networks (EH-WSNs): A review,” *ACM Trans. Sens. Networks*, vol. 14, no. 2, 2018, doi: 10.1145/3183338.
- [29] S. Tanessakulwattana, C. Pornavalai, and G. Chakraborty, “Adaptive multi-hop routing for wireless sensor networks,” *Proc. 2013 10th Int. Jt. Conf. Comput. Sci. Softw. Eng. JCSSE 2013*, pp. 105–110, 2013, doi: 10.1109/JCSSE.2013.6567328.
- [30] S. Hu, J. Han, X. Wei, and Z. Chen, “A multi-hop heterogeneous cluster-based optimization algorithm for wireless sensor networks,” *Wirel. Networks*, vol. 21, no. 1, pp. 57–65, 2015, doi: 10.1007/s11276-014-0769-z.
- [31] M. Dhivya and M. Sundarambal, “Hybrid AODV protocol for energy efficient routing in wireless sensor networks,” *Int. J. Mob. Netw. Des. Innov.*, vol. 4, no. 2, pp. 59–64, 2012, doi: 10.1504/IJMNDI.2012.048485.
- [32] J. Wang, Y. Gao, W. Liu, A. K. Sangaiah, and H. J. Kim, “Energy efficient routing algorithm with mobile sink support for wireless sensor networks,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 19, no. 7, pp. 1–19, 2019, doi: 10.3390/s19071494.
- [33] M. Patil and C. Sharma, “Energy efficient cluster head selection to enhance network connectivity for wireless sensor network,” *2016 IEEE Int. Conf. Recent Trends Electron. Inf. Commun. Technol. RTEICT 2016 - Proc.*, pp. 175–179, 2017, doi: 10.1109/RTEICT.2016.7807807.
- [34] V. Rajaram and N. Kumaratharan, “Multi-hop optimized routing algorithm and load balanced fuzzy clustering in wireless sensor networks,” *J. Ambient Intell. Humaniz. Comput.*, no. 2019, 2020, doi: 10.1007/s12652-020-01827-0.
- [35] X. Liu, *A survey on clustering routing protocols in wireless sensor networks*, vol. 12, no. 8. 2012.
- [36] S. K. Singh, M. P. Singh, A. Professor, and D. K. Singh, “A Survey of Energy-Efficient Hierarchical Cluster-Based Routing in Wireless Sensor Networks,” *Int. J. Adv. Netw. Appl.*, vol. 570, no. 02, pp. 2–570, 2010, doi: 10.1109/IFITA.2010.137.
- [37] M. Kowshalya and Sukanya, “Clustering Algorithms for Heterogeneous Wireless Sensor Networks - A Brief Survey,” *Int. J. Ad hoc, Sens. Ubiquitous Comput.*, vol. 2, no. 3, pp. 57–69, 2011, doi: 10.5121/ijasuc.2011.2304.
- [38] L. Li and D. Li, “An Energy-Balanced Routing Protocol for a Wireless Sensor Network,” *J. Sensors*, vol. 2018, 2018, doi: 10.1155/2018/8505616.
- [39] A. Singh and S. B. Rana, “Heterogeneous Routing Protocols in Wireless Sensor Network : A Survey,” pp. 1014–1019, 2015.
- [40] O. Boyinbode, H. Le, A. Mbogho, M. Takizawa, and R. Poliah, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” *Proc. - 13th Int. Conf. Network-Based Inf. Syst. NBiS 2010*, vol. 754, pp. 358–364, 2010, doi: 10.1109/NBiS.2010.59.
- [41] P. Kuila and P. K. Jana, “Energy Efficient Load-Balanced Clustering Algorithm for Wireless Sensor Networks,” *Procedia Technol.*, vol. 6, pp.

- 771–777, 2012, doi: 10.1016/j.protcy.2012.10.093.
- [42] K. Latif, M. Jaffar, N. Javaid, M. N. Saqib, U. Qasim, and Z. A. Khan, “Performance analysis of hierarchical routing protocols in wireless sensor networks,” *Proc. - 2012 7th Int. Conf. Broadband, Wirel. Comput. Commun. Appl. BWCCA 2012*, pp. 620–625, 2012, doi: 10.1109/BWCCA.2012.108.
- [43] A. Al-Shaikh, H. Khattab, and S. Al-Sharaeh, “Performance comparison of LEACH and LEACH-C protocols in wireless sensor networks,” *J. ICT Res. Appl.*, vol. 12, no. 3, pp. 219–236, 2018, doi: 10.5614/itbj.ict.res.appl.2018.12.3.2.
- [44] R. P. Mahapatra and R. K. Yadav, “Descendant of LEACH Based Routing Protocols in Wireless Sensor Networks,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 57, pp. 1005–1014, 2015, doi: 10.1016/j.procs.2015.07.505.
- [45] D. Singh and S. K. Nayak, “Enhanced modified LEACH (EMODLEACH) protocol for WSN,” *2015 Int. Symp. Adv. Comput. Commun. ISACC 2015*, pp. 328–333, 2016, doi: 10.1109/ISACC.2015.7377364.
- [46] A. A. Abbasi and M. Younis, “A survey on clustering algorithms for wireless sensor networks,” *Comput. Commun.*, vol. 30, no. 14–15, pp. 2826–2841, 2007, doi: 10.1016/j.comcom.2007.05.024.
- [47] A. R. Sankaliya, “PEGASIS: Power-efficient gathering in sensor information systems,” *IEEE Aerosp. Conf. Proc.*, vol. 3, no. 5, pp. 1125–1130, 2015, doi: 10.1109/AERO.2002.1035242.
- [48] I. Matta, “SEP : A Stable Election Protocol for clustered heterogeneous wireless sensor networks Heterogeneous WSN o Nodes have different energy levels,” no. July, 2004.
- [49] F. A. Al-juboori and E. S. F. Ismail, “Performance Analysis of Variable Energy Levels of Clustering Protocols for Wireless Sensor Network,” vol. 10, no. 2, pp. 453–461, 2013.
- [50] L. Qing, Q. Zhu, and M. Wang, “Design of a distributed energy-efficient clustering algorithm for heterogeneous wireless sensor networks,” *Comput. Commun.*, vol. 29, no. 12, pp. 2230–2237, 2006, doi: 10.1016/j.comcom.2006.02.017.
- [51] B. Elbhiri, S. Rachid, S. El Fkihi, and D. Aboutajdine, “Developed Distributed Energy-Efficient Clustering (DDEEC) for heterogeneous wireless sensor networks,” *2010 5th Int. Symp. I/V Commun. Mob. Networks, ISIVC 2010*, pp. 1–4, 2010, doi: 10.1109/ISVC.2010.5656252.
- [52] M. Bagouri, “Improving Threshold Distributed Energy Efficient Clustering Algorithm for Heterogeneous Wireless Sensor Network,” pp. 430–434, 2014.
- [53] N. Javaid, T. N. Qureshi, A. H. Khan, A. Iqbal, E. Akhtar, and M. Ishfaq, “EDDEEC: Enhanced developed distributed energy-efficient clustering for heterogeneous wireless sensor networks,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 914–919, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.06.125.
- [54] T. N. Qureshi, N. Javaid, A. H. Khan, A. Iqbal, E. Akhtar, and M. Ishfaq, “BEENISH: Balanced energy efficient network integrated super heterogeneous protocol for wireless sensor networks,” *Procedia Comput. Sci.*, vol. 19, pp. 920–925, 2013, doi: 10.1016/j.procs.2013.06.126.
- [55] A. Preethi, E. Pravin, and D. Sangeetha, “Modified balanced energy efficient

- network integrated super heterogeneous protocol,” *2016 Int. Conf. Recent Trends Inf. Technol. ICRTIT 2016*, 2016, doi: 10.1109/ICRTIT.2016.7569562.
- [56] S. Siddiqui, B. Banarasi, D. Group, and O. Educational, “SPIN Protocol for transmission of data of mobile sink in Wireless Sensor Network,” no. June 2017, 2018.
- [57] W. R. Heinzelman, A. Sinha, A. Wang, and A. P. Chandrakasan, “Energy-scalable algorithms and protocols for wireless microsensor networks,” *ICASSP, IEEE Int. Conf. Acoust. Speech Signal Process. - Proc.*, vol. 6, pp. 3722–3725, 2000, doi: 10.1109/ICASSP.2000.860211.
- [58] I. Wahyu, B. Pratama, and R. Primananda, “Analisis Protokol Routing Directed Diffusion dan Gossiping pada Wireless Sensor Network,” *J. Pengemb. Teknol. Inf. dan Ilmu Komput. Univ. Brawijaya*, vol. 2, no. 12, pp. 7474–7480, 2018.
- [59] C. Intanagonwiwat, R. Govindan, D. Estrin, J. Heidemann, and F. Silva, “Directed diffusion for wireless sensor networking,” *IEEE/ACM Trans. Netw.*, vol. 11, no. 1, pp. 2–16, 2003, doi: 10.1109/TNET.2002.808417.
- [60] J. Grover, Shikha, and M. Sharma, “Location based protocols in Wireless Sensor Network - A review,” *5th Int. Conf. Comput. Commun. Netw. Technol. ICCCNT 2014*, pp. 3–7, 2014, doi: 10.1109/ICCCNT.2014.6962990.
- [61] S. Roychowdhury and C. Patra, “Geographic adaptive fidelity and geographic energy aware routing in ad hoc routing,” *Spec. issue IJCTT*, vol. 1, no. 2, pp. 3–5, 2010, [Online]. Available: <http://rabieramadan.org/classes/2013/sensor/Deployment/GAF.pdf>.
- [62] J. Grover, S. Shikha, and M. Sharma, “A Study of Geographic Adaptive Fidelity Routing Protocol in Wireless Sensor Network,” *IOSR J. Comput. Eng.*, vol. 16, no. 5, pp. 88–96, 2014, doi: 10.9790/0661-16548896.
- [63] Y. Yuan, C. Li, Y. Yang, X. Zhang, and L. Li, “CAF: Cluster algorithm and a-star with fuzzy approach for lifetime enhancement in wireless sensor networks,” *Abstr. Appl. Anal.*, vol. 2014, no. April, 2014, doi: 10.1155/2014/936376.
- [64] “K-SEP : A more stable SEP using K-Means Clustering and Probabilistic Transmission in WSN,” vol. 4, no. 4, pp. 2561–2565, 2014.
- [65] 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, doi: 10.1109/ICACTION.2008.4493846.
- [66] N. Javaid *et al.*, “An energy-efficient distributed clustering algorithm for heterogeneous WSNs,” *Eurasip J. Wirel. Commun. Netw.*, vol. 2015, no. 1, 2015, doi: 10.1186/s13638-015-0376-4.
- [67] A. S. Raghuvanshi, S. Tiwari, R. Tripathi, and N. Kishor, “Optimal number of clusters in wireless sensor networks: An FCM approach,” *2010 Int. Conf. Comput. Commun. Technol. ICCCT-2010*, no. May 2014, pp. 817–823, 2010, doi: 10.1109/ICCCT.2010.5640391.
- [68] M. Hadjila, H. Guyennet, and M. Feham, “Energy-Efficient in wireless sensor networks using fuzzy C-Means clustering approach,” vol. 1, no. 2, pp. 21–26,

- 2013, doi: 10.11648/j.ijssn.20130102.11.
- [69] H. Jiang, Y. Sun, R. Sun, and H. Xu, “Fuzzy-logic-based energy optimized routing for wireless sensor networks,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2013, 2013, doi: 10.1155/2013/216561.
- [70] Y. Yuan, C. Li, Y. Yang, X. Zhang, and L. Li, “CAF: Cluster algorithm and a-star with fuzzy approach for lifetime enhancement in wireless sensor networks,” *Abstr. Appl. Anal.*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/936376.
- [71] I. S. Alshawi, L. Yan, W. Pan, and B. Luo, “Lifetime enhancement in wireless sensor networks using fuzzy approach and a-star algorithm,” *IEEE Sens. J.*, vol. 12, no. 10, pp. 3010–3018, 2012, doi: 10.1109/JSEN.2012.2207950.
- [72] S. Ebadi and K. Koosheshi, “An energy efficient new protocol for wireless sensor networks with multiple mobile sinks,” *2017 Int. Conf. Inf. Sci. Commun. Technol. ICISCT 2017*, vol. 2017-Decem, pp. 1–6, 2017, doi: 10.1109/ICISCT.2017.8188592.
- [73] A. Kaur and H. Kaur, “Hybrid Approach Using Mobile Sink and Fuzzy Logic for Region Based Clustering in Wsn,” *Int. J. Comput. Technol.*, vol. 16, no. 5, pp. 6933–6944, 2017, doi: 10.24297/ijct.v16i5.6264.
- [74] A. Taleb, T. Alhmiedat, O. A. Hassan, and N. M. Turab, “A Survey of Sink Mobility Models for Wireless Sensor Networks,” *J. Emerg. ...*, vol. 4, no. 9, pp. 679–687, 2013, [Online]. Available: <http://scholar.google.com/scholar?hl=en&btnG=Search&q=intitle:A+Survey+of+Sink+Mobility+Models+for+Wireless+Sensor+Networks#0>.
- [75] M. Koç and I. Korpeoglu, “Controlled sink mobility algorithms for wireless sensor networks,” *Int. J. Distrib. Sens. Networks*, vol. 2014, 2014, doi: 10.1155/2014/167508.
- [76] J. Wang, Y. Yin, J. U. Kim, S. Lee, and C. F. Lai, “A mobile-sink based energy-efficient clustering algorithm for wireless sensor networks,” *Proc. - 2012 IEEE 12th Int. Conf. Comput. Inf. Technol. CIT 2012*, pp. 678–683, 2012, doi: 10.1109/CIT.2012.142.
- [77] N. Gharaei, K. A. Bakar, S. Z. M. Hashim, A. H. Pourasl, M. Siraj, and T. Darwish, “An energy-efficient mobile sink-based unequal clustering mechanism for WSNs,” *Sensors (Switzerland)*, vol. 17, no. 8, pp. 1–20, 2017, doi: 10.3390/s17081858.
- [78] R. Thomas, “An Energy Efficient Multi-sink clustering algorithm for Wireless Sensors Network,” no. 4, pp. 647–653, 2014.
- [79] D. V Jose and G. Sadashivappa, “Mobile Sink Assisted Energy Efficient Routing Algorithm for Wireless Sensor Networks,” *World Comput. Sci. Inf. Technol.*, vol. 5, no. 2, pp. 16–22, 2015.
- [80] N. R. Zema, “A GPS-less on-demand mobile sink-assisted data collection in wireless sensor networks,” pp. 14–16, 2014.
- [81] B. Balakrishnan and S. Balachandran, “FLECH: Fuzzy logic based energy efficient clustering hierarchy for nonuniform wireless sensor networks,” *Wirel. Commun. Mob. Comput.*, vol. 2017, 2017, doi: 10.1155/2017/1214720.
- [82] R. Regmi, P. W. C. Prasad, A. Alsadoon, A. Elchouemi, and S. Sreedharan, “Modified LEACH algorithm for wireless sensor networks in agricultural

field,” *IEEE Int. Conf. Power, Control. Signals Instrum. Eng. ICPCSI 2017*, no. 2016, pp. 3100–3104, 2018, doi: 10.1109/ICPCSI.2017.8392296.

- [83] D. Mehta and S. Harous, “Improving LEACH-C using sink mobility,” *2016 IEEE 7th Annu. Ubiquitous Comput. Electron. Mob. Commun. Conf. UEMCON 2016*, 2016, doi: 10.1109/UEMCON.2016.7777901.