

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**KIỀU QUÝ**

**CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY  
QUA KỸ THUẬT PHÂN CỤM**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

*(Theo định hướng ứng dụng)*

**Hà Nội, 2020**

**HỌC VIỆN CÔNG NGHỆ BƯU CHÍNH VIỄN THÔNG**



**KIỀU QUÝ**

**CẢI THIỆN HIỆU NĂNG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG  
DÂY QUA KỸ THUẬT PHÂN CỤM**

**CHUYÊN NGÀNH : KỸ THUẬT VIỄN THÔNG**

**MÃ SỐ : 8.52.02.08**

**LUẬN VĂN THẠC SĨ KỸ THUẬT**

**(Theo định hướng ứng dụng)**

**NGƯỜI HƯỚNG DẪN KHOA HỌC: TS. HOÀNG TRỌNG MINH**

**HÀ NỘI – 2020**

## **LỜI CAM ĐOAN**

Tôi xin cam đoan luận văn này là kết quả nghiên cứu của riêng tôi. Việc sử dụng kết quả, trích dẫn tài liệu tham khảo trên các tạp chí, các trang web tham khảo đảm bảo theo đúng quy định. Các nội dung trích dẫn và tham khảo các tài liệu, sách báo, thông tin được đăng tải trên các tác phẩm, tạp chí và trang web theo danh mục tài liệu tham khảo của luận văn.

Tôi xin chịu hoàn toàn trách nhiệm cho lời cam đoan của mình.

Tác giả luận văn

Kiều Quý

## LỜI CẢM ƠN

Đầu tiên xin trân trọng gửi lời cảm ơn sâu sắc đến quý thầy cô trường Học viện Công nghệ Bru chính Viên thông trong thời gian qua đã dìu dắt và tận tình truyền đạt cho em những kiến thức, kinh nghiệm vô cùng quý báu mà em có được kết quả ngày hôm nay.

Xin trân trọng cảm ơn TS. Hoàng Trọng Minh, người hướng dẫn khoa học của luận văn, đã hướng dẫn tận tình và giúp đỡ về mọi mặt để hoàn thành luận văn.

Xin trân trọng cảm ơn quý thầy cô Khoa đào tạo sau đại học đã hướng dẫn và giúp đỡ em trong quá trình thực hiện luận văn.

Cuối cùng là sự biết ơn tới gia đình, bạn bè và người thân đã luôn động viên, giúp đỡ tác giả trong suốt quá trình học tập và thực hiện luận văn.

Xin trân trọng cảm ơn!

*Hà Nội, tháng năm 2020*

Học viên thực hiện

Kiều Quý

## Mục lục

LỜI CAM ĐOAN .....	i
LỜI CẢM ƠN .....	ii
DANH MỤC HÌNH VẼ, BẢNG BIỂU .....	vi
THUẬT NGỮ VIẾT TẮT .....	vi
BẢNG KÍ HIỆU .....	viii
CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY .....	4
1.1 Giới thiệu chung về mạng cảm biến không dây .....	4
1.2 Các giao thức truyền dẫn và định tuyến trong mạng WSN .....	5
1.2.1 Giao thức định tuyến nút trung tâm .....	6
1.2.2 Giao thức định tuyến dữ liệu trung tâm .....	6
1.3 Một số ứng dụng điển hình .....	7
1.3.1 Trong quân sự .....	7
1.3.2 Trong điều trị và y học .....	8
Trong gia đình .....	8
Trong công nghiệp và nông nghiệp .....	8
Ứng dụng WSN trong điện lưới thông minh .....	9
Ứng dụng WSN trong giao thông thông minh .....	10
1.4 Các vấn đề liên quan đến hiệu quả năng lượng .....	10
1.5 Kết luận chương .....	13
CHƯƠNG 2: CÁC GIẢI PHÁP PHÂN CỤM TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY .....	14
2.1 Giới thiệu chung về các kỹ thuật phân cụm .....	14
2.1.1 Các đặc trưng kiến trúc cụm .....	14
2.1.1 Các đặc tính hiệu năng cụm .....	15
2.2 Các giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng .....	17
2.2.1 Giao thức LEACH .....	17

2.2.2	Giao thức PEGASIS.....	17
2.2.3	Giao thức TEEN.....	19
2.2.4	Giao thức mạng lai ghép APTEEN.....	20
2.2.5	Giao thức EEHC .....	21
2.3	Tiếp cận gần đúng trong bài toán phân cụm .....	22
2.3.1	Sử dụng logic mờ .....	22
2.3.2	Sử dụng thuật toán di truyền .....	23
2.3.3	Sử dụng mạng neural .....	24
2.1.4	Tối ưu bầy đàn .....	24
2.4	Một số giải pháp phân cụm dựa trên tiếp cận gần đúng.....	25
2.4.1	Phân cụmLEACH-GA .....	25
2.4.2	Thuật toán phân cụm EAUCF.....	27
2.4.3	Thuật toán phân cụmSOM.....	29
2.5	Kết luận chương .....	31
CHƯƠNG 3: GIẢI PHÁP PHÂN CỤM CẢI THIẾN HIỆU NĂNG WSN DỰA TRÊN LOGIC MỜ .....		32
3.1	Tóm lược hoạt động bầu chủ cụm của LEACH.....	32
3.2	Các vấn đề cơ bản của logic mờ.....	34
3.2.1	Một số khái niệm .....	34
3.2.2	Tính chất của tập mờ.....	37
3.2.3	Lý luận trong tập mờ.....	37
3.2.4	Sơ đồ tổng quan hệ thống suy luận mờ.....	40
3.3	Ứng dụng hệ thống suy luận mờ trong phân cụm .....	41
3.3.1	Các giả thiết và kiến trúc mạng WSN.....	41
3.3.2	Suy luậnkhả năng nút được lựa chọn vào tập nút chủ cụm .....	43
3.3.3	Suy luận khả năng được lựa chọn làm chủ cụm trong miền cục bộ .....	45
3.3.4	Thiết lập tuyến kết nối giữa các CH .....	49

3.3.5 Kết quả đánh giá hiệu năng.....	50
3.4 Kết luận chương .....	53
TÀI LIỆU THAM KHẢO .....	56

## **DANH MỤC HÌNH VẼ, BẢNG BIỂU**

Hình 1.1: Các loại giao thức định tuyến cơ bản .....	5
Hình 1.2: Một mô hình giám sát lưới điện bằng mạng cảm biến .....	10
Hình 2.1: Phân loại các đặc tính kiến trúc cụm .....	14
Hình 2.1: Các đặc tính hiệu năng cụm.....	16



## THUẬT NGỮ VIẾT TẮT

ADC	Analog to Digital Converter	Bộ chuyển đổi tương tự - số
BS	Basic Station	Trạm gốc
CC	Communication	Giao tiếp
CH	Cluster Head	Nút chủ
DAC	Digital to Analog Converter	Bộ chuyển đổi số - tương tự
DP	Data Processing	Xử lý dữ liệu
EAUCF	Energy-Aware Unequal Clustering with Fuzzy	Thuật toán phân cụm không đồng đều nhận biết năng lượng nhờ Fuzzy
ERA	Energy-aware routing algorithm	Thuật toán định tuyến nhận biết năng lượng
FCD	Floating Car Data	Dữ liệu xe di động
FT	Fault to Larence	Khả năng chịu lỗi
GPS	Global Positioning System	Định vị toàn cầu
IAT	Inter Arrival Time	Thời gian liên tiếp giữa các gói tin
ID	Identification	Mã định danh
IoT	Internet of Things,	Internet vạn vật
LEACH	Low-energy adaptive clustering hierarchy	Phân cấp cụm thích ứng năng lượng
LFS	Location Finding System	Hệ thống tìm vị trí
MAC	Mandatory access control	Điều khiển truy cập bắt buộc
MB	Mobilizer	Bộ phận di động
MH	Multihop	Đa chặng
NT	Network Topology	Cấu hình mạng
PC	Power Consumption	Tiêu thụ năng lượng
PG	Power Generator	Bộ phát nguồn
PHY	Physical Layer	Lớp vật lý
PU	Power Unit	Bộ nguồn
RAM	Random Access Memory	Bộ nhớ truy nhập ngẫu nhiên
RF	Radio Frequency	Tần số vô tuyến
SB	Scability	Khả năng mở rộng
SF	Sensor Field	Trường cảm biến
SH	Singlehop	Đơn chặng
SKC	Symmetric Key Cryptography	Mật mã khóa đối xứng
SN	Sensor Nút	Nút cảm biến

SS	Sensing	Cảm nhận
SU	Storage Unit	Bộ lưu trữ
SU	Sensing Unit	Bộ cảm nhận
TA	Tiered Architecture	Cấu trúc tầng
TDMA	Time-division multiple access	Đa truy nhập phân chia theo thời gian
TM	Transmission Media	Phương tiện truyền dẫn
TEEN	Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol	Giao thức mạng cảm biến sử dụng ngưỡng nhạy cảm
TU	Transceiver Unit	Bộ thu phát
WSN	Wireless Sensor Network	Mạng cảm biến không dây

## BẢNG KÍ HIỆU

$d_0$	Ngưỡng khoảng cách truyền dẫn
$E_f$	Tổn hao công suất trong không gian tự do
$E_m$	Tổn hao công suất trong không gian đa đường
$E_{elec}$	Tiêu hao năng lượng để điều khiển hệ thống con vô tuyến
$E_{in}$	Năng lượng ban đầu
$E_{re}$	Năng lượng dư
$E_{av}$	Năng lượng trung bình tại một vòng truyền dẫn
$L_v$	Tổng chiều dài của tất cả các điểm của PP0 tới các tâm điểm trong một ô
$H_T$	Ngưỡng cứng
$S_T$	Ngưỡng mềm
$T_c$	Khoảng cách thời gian truyền
$BS_j$	Trạm cơ sở thứ $j$
$d$	Khoảng cách giữa các nút cảm biến
$G_j^0$	Nhóm tất cả các thực thể không liên quan đến $BS_j$
$G_j$	Nhóm tất cả các thực thể liên quan đến $BS_j$
$N$	Số lượng các nút cảm ứng phân bố trong vùng A
$N_i$	Nút thứ $i$
$n_i$	Chuỗi thứ $i$ trong trao đổi tin nhắn
$p$	Tỷ lệ số cụm chủ trong mạng
$R$	Phạm vi truyền sóng
$r$	Số vòng hiện tại
$R$	Số lượng vòng tối đa
$t$	Khoảng thời gian khảo sát

## MỞ ĐẦU

### Tính cấp thiết của đề tài

Mạng cảm biến không dây là hạ tầng then chốt của các giải pháp Internet of Things (IoT). Mạng cảm biến không dây cung cấp phương tiện truyền thông để thu thập các thông tin từ môi trường, chuyển về trung tâm xử lý để có các điều khiển phản hồi thích hợp. Mạng cảm biến không dây cung cấp rất nhiều ứng dụng tự động hóa trong điều khiển và thu thập thông tin trong các lĩnh vực Quân sự, Y tế, giao thông hay thương mại. Bên cạnh các ưu điểm và lợi thế của truyền thông không dây, mạng cảm biến không dây đối mặt với hàng loạt thách thức như: Hoạt động trong các môi trường biến động, thiếu tin cậy truyền thông, giới hạn về nguồn nuôi thiết bị, v.v. Đối với các mạng có số liệu nút lớn, các chiến lược phân cụm tạo ra các vùng truyền dẫn đảm bảo yêu cầu công nghệ truyền dẫn và quản lý thông tin thích hợp hơn so với các mạng không phân cụm. Tuy nhiên, vấn đề phân cụm là một dạng bài toán NP-Hard khi tồn tại dưới dạng bài toán đa ràng buộc đa mục tiêu.

Một số chiến lược phân cụm được đề xuất và sử dụng theo hướng cải thiện giao thức LEACH (low energy adaptive clustering hierarchy) đã đem lại tính hiệu quả nhất định. Tuy nhiên, các vấn đề độ phức tạp và hiệu quả của các đề xuất là rất khác nhau đưa đến các mục tiêu tìm kiếm giải pháp cải thiện cho các nhà nghiên cứu và triển khai thực tế hiện nay. Việc nghiên cứu kỹ thuật phân cụm nhằm mong muốn rút ra được các kết luận hữu ích và cụ thể cho bài toán nâng cao hiệu năng mạng cảm biến không dây.

### Tổng quan về vấn đề nghiên cứu

Kỹ thuật phân cụm là bài toán quan trọng nhất phải giải quyết trong môi trường mạng có số liệu nút lớn và phạm vi truyền dẫn hạn chế bởi công nghệ truyền dẫn lớp 2. Kỹ thuật phân cụm được chia thành hai kiểu: phân cụm đều và không đều. Trên thực tế cho thấy, vấn đề phân cụm đều cho độ phức tạp bài toán thấp hơn trong thực tế hoạt động nhưng hiệu năng truyền thông bị suy giảm bởi quá trình truyền thông khi tồn tại các lỗ hổng năng lượng. Kỹ thuật phân cụm không đều có thể tránh được các lỗ hổng năng lượng nhưng đặt ra rất nhiều biến số cần phải tối ưu nhằm giảm độ phức tạp trong tính toán.

Một khảo sát đầy đủ về giải pháp phân cụm dưới góc độ các thiết bị mạng cảm biến công nghiệp đã được đưa ra trong [1]. Trong đó, tác giả đã phân tích các yếu tố môi trường, mức tiêu thụ năng lượng, các giải pháp truyền thông và hàng loạt các vấn đề mở liên quan tới phân cụm. Nhóm tác giả cũng khẳng định, bài toán phân cụm là bài toán có độ phức tạp cao nhất (NP-Hard) khi có các yếu tố bất ổn định từ môi trường hoạt động của các cảm biến không dây.

Hiệu năng hệ thống mạng cảm biến không dây phụ thuộc vào rất nhiều tham số cả về tham số bên ngoài lẫn trong nội tại mạng. Tham số đánh giá chủ yếu của mạng cảm biến không dây thường liên quan tới năng lượng, được đánh giá qua thời gian sống của mạng. Các kỹ thuật phân cụm cũng nhằm hướng tới mục tiêu này bằng cách giảm thiểu phiên truyền dẫn, giảm độ phức tạp tính toán cho tham số định tuyến và tìm đường tối ưu. Trong một số kịch bản ứng dụng, mạng cảm biến không dây hoạt động trong các điều kiện bất ổn định như thay đổi cấu hình, chất lượng truyền dẫn, sự không đồng nhất đã dẫn tới xu hướng tiếp cận gần đúng cho các tính toán định tuyến. Trên thực tế, một số đề xuất theo tiếp cận này đã đạt được một số kết quả khả quan khi áp dụng các thuật toán kinh nghiệm thông minh.

Trong tài liệu [2], nhóm tác giả tiếp cận cách giải quyết gần đúng trong việc thiết lập tham số phân cụm. Các tham số hỗ trợ quyết định gồm năng lượng dư của nút cảm biến, khoảng cách tới đích và mật độ nút lân cận được biểu diễn thông qua tỷ lệ truyền phát lại gói tin. Các kết quả này có ý nghĩa nhất định trong một kịch bản điển hình và kéo dài thời gian sống của mạng.

Dưới góc độ điều khiển phản hồi và hỗ trợ các dự đoán dựa trên kinh nghiệm, các tác giả trong [3] đề xuất mô hình điều khiển cho các quyết định mờ. Các hệ quyết định dựa trên nguyên lý mờ hóa là một tiếp cận khả thi cho bài toán tương tự như bài toán phân cụm khi có số lượng các ràng buộc đầu vào lớn và muốn đạt được kết quả tính toán đa mục tiêu. Tuy nhiên, các tác giả trên đây tập trung vào các nguyên lý điều khiển phản hồi.

Tiếp cận mờ hóa tham số và sử dụng mô hình Mamdani cho bài toán phân cụm được trình bày trong [4]. Các kết quả cho thấy đây là một hướng đi khả quan, có thể tiếp tục phát triển trong các nghiên cứu tiếp theo do các bộ tham số mờ cần tiếp tục cải thiện.

Qua khảo sát các nghiên cứu của các tác giả trước, các nội dung nghiên cứu về chiến lược phân cụm theo kỹ thuật mờ hóa chủ yếu từ các tác giả nước ngoài. Các nghiên cứu cụ thể về vấn đề khai thác đặc tính nút chưa được đề cập đến. Vì vậy, các vấn đề này sẽ được thảo luận trong luận văn nhằm đưa đến các kết luận khoa học và hữu ích.

## **Mục đích nghiên cứu**

Nghiên cứu các kỹ thuật phân cụm và đưa ra giải pháp cải thiện hiệu năng dựa trên phương pháp xấp xỉ. Các nội dung nghiên cứu chính gồm:

- Kiến trúc mạng cảm biến và các ứng dụng;
- Các đặc trưng tiêu chuẩn truyền dẫn và định tuyến trong WSN;

- Các giải pháp kỹ thuật phân cụm;
- Phân tích, đánh giá và đề xuất kỹ thuật phân cụm nhằm kéo dài thời gian sống của mạng bằng tiếp cận xấp xỉ.
- Mô phỏng và kiểm chứng tính hiệu quả của đề xuất.

### **Đối tượng và phạm vi nghiên cứu**

Luận văn tập trung vào nghiên cứu các vấn đề liên quan tới đặc tính của mạng cảm biến không dây phân cấp, các kỹ thuật định tuyến bảo toàn năng lượng, các kỹ thuật phân cụm hiệu quả năng lượng và đề xuất giải pháp phân cụm.

### **Phương pháp nghiên cứu**

Trong quá trình nghiên cứu đề tài, tác giả dựa vào các phương pháp sau:

- + Phương pháp lý thuyết: Luận văn sử dụng các lý thuyết về truyền thông không dây, công nghệ viễn thông, kỹ thuật xử lý tín hiệu và cơ sở toán học.
- + Phương pháp mô phỏng: Sử dụng công cụ mô phỏng số để đưa ra nhận xét, đánh giá về các vấn đề đã đặt ra.

### **Bố cục của luận văn**

Các nội dung của luận văn được trình bày trong các chương sau:

Chương 1: Tổng quan về mạng cảm biến không dây

Chương này trình bày tổng quan về mạng cảm biến không dây trên các khía cạnh kiến trúc, công nghệ và ứng dụng.

Chương 2: Các giải pháp phân cụm trong mạng cảm biến không dây

Chương này tập trung vào phân tích các chiến lược phân cụm trong mạng cảm biến không dây kết hợp với các giao thức định tuyến hỗ trợ kéo dài thời gian sống của mạng.

Chương 3: Giải pháp phân cụm cải thiện hiệu năng dựa trên logic mờ

Chương này tập trung vào các nội dung liên quan tới tính toán tham số chọn đường của mạng phân cấp. Các tiêu chí đánh giá để thực hiện kỹ thuật phân cụm hiệu quả năng lượng, các mô hình tính toán dựa trên lý thuyết Fuzzy và ứng dụng trong bài toán phân cụm. Đề xuất phương pháp tính toán tham số phân cụm và mô phỏng kiểm chứng đề xuất.

# CHƯƠNG 1: TỔNG QUAN VỀ MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

## 1.1 Giới thiệu chung về mạng cảm biến không dây

Mạng cảm biến không dây (WSN) là một trong các kiểu mạng phổ biến trong thời đại vạn vật kết nối Internet (IoT) đang phát triển hiện nay. Kết cấu của mạng thông qua một tập các nút cảm biến có kích thước nhỏ nhẹ, có nhiệm vụ thu thập các dữ liệu mà khả năng thực hiện của con người bị hạn chế. Các nút cảm biến có nhiệm vụ cảm nhận các tham số vật lý từ môi trường như: nhiệt độ, độ ẩm, các tham số về độ ô nhiễm môi trường ô nhiễm không khí sau đó thực hiện việc chuyển dữ liệu đến nút gốc để có thể phân tích và xử lý dữ liệu. Nút gốc như là một phần tử trung gian giúp con người có thể nhận được các dữ liệu mong muốn thông qua việc truy vấn mà nút gốc đã thu được từ mạng cảm biến. Với một mạng cảm biến chúng ta có thể triển khai ở mọi địa hình thậm chí đến những địa hình khó khăn hiểm trở và khắc nghiệt nhất... Mạng cảm biến thường bao gồm một số lượng lớn các nút cảm biến và chúng truyền thông, giao tiếp với nhau thông qua tín hiệu vô tuyến. Mỗi nút thì được trang bị các đầu đo với bộ vi xử lý và các thiết bị vô tuyến rất nhỏ gọn tạo nên một thiết bị cảm biến không dây có kích thước rất nhỏ, tiết kiệm về không gian và chi phí. Các nút cảm biến có thể hoạt động trong môi trường dày đặc với tốc độ xử lý cao. Ngày nay, công nghệ ngày càng phát triển mạng cảm biến không dây dần trở nên quan trọng và được ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như nghiên cứu vi sinh vật biển, giám sát việc chuyên chở các chất gây ô nhiễm, kiểm tra giám sát hệ sinh thái và môi trường sinh vật phức tạp, điều khiển giám sát trong công nghiệp và trong lĩnh vực quân sự, an ninh quốc phòng hay các ứng dụng trong đời sống hàng ngày.

Mạng cảm biến không dây cho phép triển khai với những ứng dụng mới phù hợp với sự phát triển của các thiết bị hiện đại và cũng chỉ yêu cầu những giao thức đơn giản vì các nút còn đang hạn chế về năng lực. Do yêu cầu về độ phức tạp thấp và mức năng lượng tiêu thụ thấp nên cần phải đưa ra sự cân bằng giữa khả năng truyền dữ liệu và khả năng xử lý dữ liệu. Điều này đã thúc đẩy sự nỗ lực lớn trong hoạt động nghiên cứu, quy trình chuẩn hóa và đầu tư công nghiệp vào lĩnh vực này kể từ các thập kỷ trước. Hiện tại, hầu hết các nghiên cứu về mạng WSN đều chỉ tập trung vào việc thiết kế thuật toán và giao thức để tạo ra hiệu quả về năng lượng và tính toán còn phần mềm ứng dụng thì giới hạn bởi các chức năng xoay quanh việc giám sát và thông báo.

## 1.2 Các giao thức truyền dẫn và định tuyến trong mạng WSN

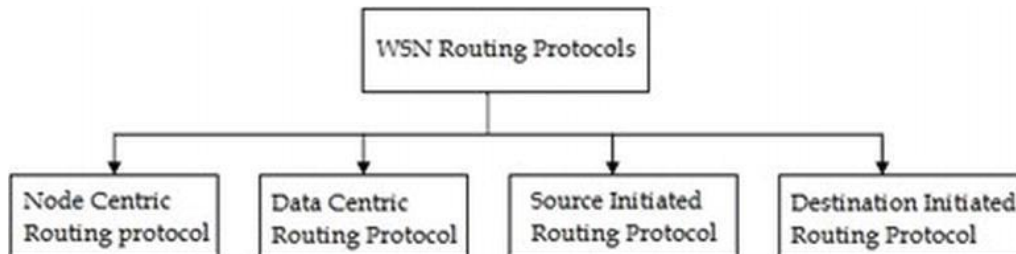
Việc thiết kế các giao thức định tuyến trong mạng cảm biến không dây phải xem xét giới hạn về công suất và tài nguyên môi nút mạng, chất lượng thay đổi theo thời gian của các kênh vô tuyến và khả năng mất gói và trễ. Nhằm vào các yêu cầu thiết kế này một số các chiến lược định tuyến trong mạng cảm biến không dây đã được đưa ra.

Loại giao thức định tuyến thông qua kiến trúc phẳng trong đó các nút có vai trò như nhau. Kiến trúc phẳng có một vài lợi ích như: số lượng thông tin tiêu đề tối thiểu để duy trì kết nối và đem lại khả năng khám phá ra nhiều đường giữa các nút truyền dẫn để chống lỗi truyền dẫn.

Loại giao thức định tuyến phân cấp theo cụm nhằm tận dụng cấu trúc của mạng để đạt được hiệu quả về năng lượng, sự ổn định, mở rộng trong quá trình định tuyến. Trong loại giao thức này, các nút mạng tự tổ chức thành các cụm. Trong đó một nút có mức năng lượng cao hơn các nút khác đóng vai trò là các nút chủ (cluster head). Nút chủ thực hiện phân phối hoạt động trong cụm và chuyển tiếp thông tin giữa các cụm khác nhau. Việc tạo thành các cụm có khả năng làm giảm thiểu năng lượng và mở rộng thời gian sống của mạng.

Loại giao thức định tuyến thứ ba là sử dụng phương pháp trung tâm dữ liệu để khai thác trực tiếp nhu cầu kết nối bên trong mạng. Phương pháp này sử dụng các thuộc tính của nút yêu cầu định tuyến để truy vấn khả năng đáp ứng của các nút trung gian.

Loại giao thức thứ tư là dựa vào vị trí để đánh địa chỉ cho các nút cảm biến trong vùng địa lý được bao phủ bởi mạng. Quá trình định tuyến và truy vấn thông tin được đưa ra bởi nút nguồn. Hình vẽ 1.1 dưới đây mô tả các giao thức định tuyến được phân loại theo hướng nút trung tâm, hướng dữ liệu, hướng nguồn và hướng đích. Trong đó, ta tập trung vào hai kiểu giao thức đầu vì tính tổng quát và sự phổ biến của chúng.



**Hình 1.1: Các loại giao thức định tuyến cơ bản**



### ***1.2.1 Giao thức định tuyến nút trung tâm***

Trong các giao thức định tuyến nút trung tâm, nút đích được liên kết với một số định danh và các nút trong mạng có nhiệm vụ định tuyến gửi dữ liệu đến nút đích từ đó hình thành nên mô hình mạng phân cụm (Ví dụ như giao thức định tuyến phân cụm tương thích năng lượng thấp LEACH: Low Energy Adaptive Clustering Hierarchy).

LEACH là một giao thức định tuyến tổ chức các cụm sao cho năng lượng được chia đều cho tất cả các nút cảm biến trong mạng. Trong giao thức LEACH, một số cụm được tạo ra từ các nút cảm biến và một nút được xác định là đầu cụm và đóng vai trò là nút định tuyến cho tất cả các nút khác trong cụm. Như trong các giao thức định tuyến, đầu cụm được chọn trước khi toàn bộ giao tiếp bắt đầu và giao tiếp không thành công nếu có bất kỳ sự cố nào xảy ra trong đầu cụm và có nhiều khả năng pin chết trước đó so với các nút khác trong cụm là cụm sửa chữa người đứng đầu đang làm nhiệm vụ định tuyến cho toàn bộ cụm. Giao thức LEACH áp dụng ngẫu nhiên và đầu cụm được chọn từ nhóm các nút, vì vậy lựa chọn đầu cụm này từ một số nút trên cơ sở tạm thời làm cho giao thức này tồn tại lâu hơn vì pin của một nút không bị gánh nặng lâu. Các nút cảm biến tự chọn làm đầu cụm với một số tiêu chí xác suất được xác định bởi giao thức và thông báo điều này cho các nút khác

### ***1.2.2 Giao thức định tuyến dữ liệu trung tâm***

Trong hầu hết các mạng cảm biến không dây, dữ liệu hoặc thông tin được cảm nhận có giá trị hơn nhiều so với chính nút thực tế. Do đó, các kỹ thuật định tuyến tập trung vào dữ liệu, trọng tâm chính là truyền thông tin được chỉ định bởi các thuộc tính nhất định thay vì thu thập dữ liệu từ các nút nhất định. Trong giao thức định tuyến trung tâm dữ liệu, các truy vấn nút chìm đến các vùng cụ thể để thu thập dữ liệu của một số đặc điểm cụ thể, vì vậy việc đặt tên theo sơ đồ dựa trên các thuộc tính là cần thiết để mô tả các đặc điểm của dữ liệu.

Ví dụ như giao thức SPIN (Sensor Protocol for Information via Negotiation). SPIN là tên viết tắt của giao thức cảm biến cho thông tin thông qua việc đàm phán dữ liệu. Mục tiêu chính của giao thức này đó là việc tập trung 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 sắp xếp dữ liệu này là các nút trong SPIN sẽ biết nội dung của dữ liệu trước khi bất kỳ dữ liệu nào được truyền trong mạng. SPIN khai thác đặc trưng dữ liệu của các nút sẽ kết hợp mô tả dữ liệu metadata với dữ liệu mà chúng tạo ra, và sử dụng sự mô tả này để thực hiện việc đàm phán dữ liệu trước khi truyền

thực tế. Nơi nhận dữ liệu có thể chỉ ra mối quan tâm đến nội dung dữ liệu bằng các gửi yêu cầu để lấy được dữ liệu quảng bá. Điều này tạo ra sự sắp xếp dữ liệu đảm bảo rằng dữ liệu chỉ được truyền đến nút quan tâm đến loại 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. Ngoài ra có một số giao thức tương tự như giao thức khởi tạo nguồn và giao thức khởi tạo đích nhưng việc ứng dụng là ít hơn nhiều so với hai kiểu trên đây.

### **1.3 Một số ứng dụng điển hình**

Mạng WSN đã và đang trở nên phổ biến do tính linh hoạt để giải quyết các vấn đề trong các lĩnh vực ứng dụng khác nhau. Trong mục này sẽ đề cập tới các lĩnh vực ứng dụng phổ biến của mạng cảm biến không dây.

#### ***1.3.1 Trong quân sự***

Các ứng dụng mạng cảm biến trong quân sự gồm: Giám sát trang thiết bị vũ khí, khảo sát chiến trường, Quân đội, dò tấn công bằng vũ khí hạt nhân, sinh học, hóa học của quân địch.

##### **Giám sát lực lượng, trang thiết bị và đạn dược**

Các nhà lãnh đạo, Sĩ quan theo dõi liên tục trạng thái lực lượng Quân đội, các thiết bị và đạn dược trong chiến trường bằng việc sử dụng mạng cảm biến. Quân đội, xe cộ, trang thiết bị và đạn dược có thể gắn liền với các thiết bị cảm biến nhỏ để có thể thông báo về trạng thái. Các báo cáo được tập hợp lại tại các nút gốc để gửi tới Lãnh đạo trong Quân đội, dữ liệu cũng có thể được chuyển tiếp đến các cấp cao hơn.

##### **Giám sát địa hình và lực lượng quân địch**

Mạng cảm biến được triển khai ở những địa hình then chốt và một vài nơi quan trọng, các nút cảm biến cần nhanh chóng cảm nhận các dữ liệu và tập trung dữ liệu gửi về trong vài phút trước khi quân địch phát hiện để ngăn chặn lại chúng.

##### **Giám sát chiến trường**

Với địa hình hiểm trở, các tuyến đường, đường mòn và các chỗ eo hẹp có thể nhanh chóng được bao phủ bởi mạng cảm biến và theo dõi các hoạt động của quân địch. Khi các hoạt động này được mở rộng và kế hoạch hoạt động mới có thể được triển khai ở bất cứ thời gian nào khi theo dõi chiến trường.

##### **Đánh giá sự nguy hiểm của chiến trường**

Các cuộc tấn công trước và sau, mạng cảm biến có thể được triển khai ở những vùng mục tiêu để nắm được mức độ nguy hiểm của chiến trường.

Phát hiện và thăm dò các vụ tấn công bằng hóa học, sinh học và hạt nhân

Mạng cảm biến được triển khai ở những vùng mà được sử dụng như một hệ thống cảnh báo sinh học và hóa học có thể cung cấp thông tin mang ý nghĩa quan trọng đúng lúc, nhằm tránh thương vong nghiêm trọng.

### ***1.3.2 Trong điều trị và y học***

Một ví dụ điển hình là giám sát trong y tế và chẩn đoán từ xa. Các nút cảm biến có thể được gắn vào cơ thể, ví dụ như ở dưới da và đo các thông số của máu để phát hiện sớm các bệnh ung thư, nhờ đó việc chữa bệnh sẽ dễ dàng hơn. Hiện nay đã tồn tại những cảm biến quay video (video sensors) rất nhỏ có thể nuốt vào trong người, dùng một lần và được bọc vỏ hoàn toàn, nguồn nuôi của thiết bị này đủ để hoạt động trong 24 giờ và gửi hình ảnh về bên trong con người sang một thiết bị khác mà không cần phải chiếu chụp. Các bác sĩ có thể dựa vào đó để chuẩn đoán và điều trị.

#### ***Trong gia đình***

Trong gia đình, lĩnh vực nhà thông minh, các nút cảm biến được đặt ở các phòng để đo nhiệt độ. Hơn nữa, mạng cảm biến không dây còn được dùng để phát hiện những sự dịch chuyển trong phòng và thông báo lại thông tin này đến thiết bị báo động trong trường hợp không có ai ở nhà.

#### ***Trong công nghiệp và nông nghiệp***

Trong công nghiệp

Trong lĩnh vực quản lý kinh doanh, công việc bảo quản và lưu giữ hàng hóa sẽ được giải phóng. Các kiện hàng sẽ bao gồm các nút cảm ứng mà chỉ cần tồn tại trong thời kỳ lưu trữ và bảo quản. Trong mỗi lần kiểm kê, một truy vấn tới kho lưu trữ dưới dạng bản tin quảng bá, tất cả các kiện hàng sẽ trả lời truy vấn đó để thể hiện các đặc điểm của chúng. Cảm biến còn có thể được dùng để đo nhiệt độ và độ ẩm. Vào ban đêm chúng được đặt ở chế độ chống trộm. Khi có một ai đối tượng đột nhập một kiện hàng, cảm biến sẽ hoạt động và ra hiệu cho thiết bị cảnh báo giúp việc bảo vệ tốt hơn các hàng hóa trong những tòa nhà lớn.

Trong nông nghiệp

Ví dụ ứng dụng trong trồng trọt, các cảm biến được dùng để đo nhiệt độ, độ ẩm, ánh sáng ở nhiều điểm trên thửa ruộng và truyền dữ liệu mà chúng thu được về trung tâm để người nông dân có thể giám sát và chăm sóc, điều chỉnh cho phù hợp.

### ***Ứng dụng WSN trong lưới điện thông minh***

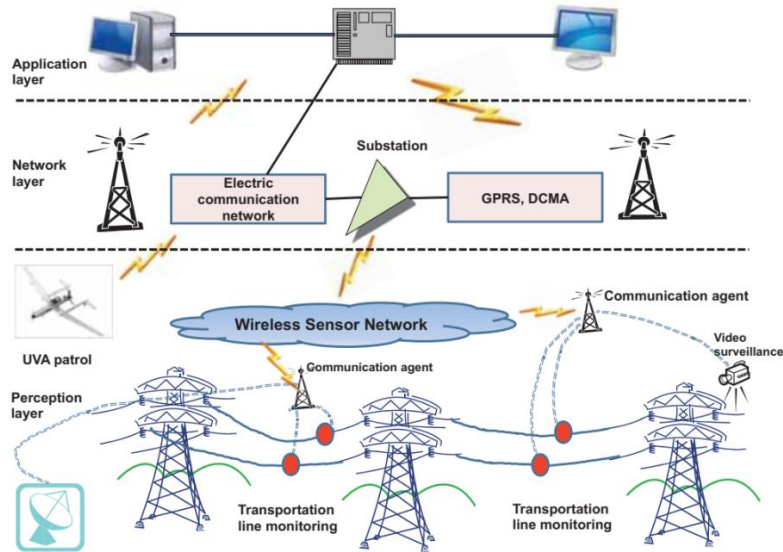
Lưới điện không chỉ là một phần quan trọng của ngành điện mà còn là một phần quan trọng cho sự phát triển bền vững của Quốc Gia. Với sự phụ thuộc vào năng lượng điện ngày càng tăng, nhu cầu về sự ổn định và chất lượng của lưới điện cũng tăng theo. Những nghiên cứu gần đây đang tập trung vào việc mô hình hóa một lưới điện hiệu quả, an toàn và tin cậy.

Điện lưới thông minh mở ra cánh cửa mới cho những ứng dụng sâu rộng như: Cung cấp lưu lượng lớn tích hợp từ nhiều nguồn năng lượng khác nhau, hệ thống phát điện phân bố cho các phương tiện giao thông, sử dụng mạng lưới tự cấu hình, cho phép người dùng có thể giám sát và điều khiển mức tiêu thụ điện.

Công nghệ mạng cảm biến là chìa khóa giúp lưới điện thông minh đạt được những tiềm năng đó. Ý nghĩa “thông minh” ở đây là đáp ứng được yêu cầu thời gian thực, để làm được điều này, yêu cầu những cảm biến phải cung cấp thông tin thời gian thực.

Ví dụ, giám sát trực tuyến hệ thống đường truyền tải. Điều kiện của đường truyền tải luôn bị ảnh hưởng bởi những yếu tố bên ngoài như: Gió, mưa, tuyết, sương mù... Sự ô nhiễm về khí hậu cũng ảnh hưởng trực tiếp tới hoạt động an toàn của truyền tải điện. Môi trường hoạt động của đường truyền hết sức phức tạp và yêu cầu sự giám sát tự động, tự động gửi cảnh báo khi có tai nạn xảy ra và điều chỉnh những xử lý phù hợp.

Với công nghệ WSN tiên tiến, hệ thống giám sát trực tuyến có thể gửi những báo cáo kịp thời khi có sự cố, nhanh chóng định vị được nơi xảy ra lỗi, rút ngắn thời gian sửa chữa và tăng độ tin cậy của hệ thống cấp phát điện. WSN không chỉ giúp phòng tránh và giảm thiểu sự cố thiết bị mà còn giúp theo dõi điều kiện môi trường truyền, cung cấp dữ liệu để hỗ trợ truyền tải năng lượng với dung lượng động một cách hiệu quả. Một ví dụ dưới đây cho thấy WSN ứng dụng vào truyền tải và giám sát lưới điện.



**Hình 2.2: Một mô hình giám sát lưới điện bằng mạng cảm biến**

### ***Ứng dụng WSN trong giao thông thông minh***

Giải pháp quản lý giao thông thông minh dựa trên sự đo đạc chính xác và dự báo tin cậy về luồng lưu lượng giao thông trong thành phố. Điều này không chỉ bao gồm ước lượng về mật độ phương tiện trên đường hay số lượng hành khách trong một xe bus, tàu điện... mà còn cần phân tích về nơi xuất phát và điểm đến của nó.

Việc giám sát lưu lượng trên đường phố đã được triển khai trước đây sử dụng những cảm biến có dây như camera. Trong khi đó, công nghệ WSN có thể giảm thiểu chi phí lắp đặt rất nhiều mà không ảnh hưởng trực tiếp tới độ chính xác và hiệu quả của đo đạc, tính toán. Những kỹ thuật thu thập dữ liệu từ phương tiện được gọi là “dữ liệu xe di động” (FCD). Phương pháp này dựa trên một lượng nhỏ ô tô gửi thông tin về vị trí tới máy chủ, hoặc thông qua các thiết bị di động. Trở ngại của phương pháp này nằm ở việc xử lý lượng lớn số liệu gửi về, phân biệt giữa dữ liệu khả dụng và không khả dụng, sử dụng phép ngoại suy để xác định lưu lượng thật từ việc giám sát một lượng nhỏ phương tiện.

### **1.4 Các vấn đề liên quan đến hiệu quả năng lượng**

Trong các vấn đề thiết kế một mạng cảm biến các nhà thiết kế luôn quan tâm đến hiệu quả của năng lượng trong mạng cảm biến. Nó như một yếu tố để các nhà phân tích có thể đánh giá một cách khách quan hơn về hiệu năng của mạng. Cụ thể có thể xét đến một số các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tiêu thụ của nút cảm biến như:

Phương pháp định tuyến

Định tuyến như là một phương pháp được các nhà nghiên cứu đang chú trọng đến khi thiết kế mạng. Một mạng cảm biến thường được triển khai trong một diện tích lớn và dày đặc các nút cảm biến. Việc định tuyến sẽ giúp cho các nút có thể định hình được tuyến đường ngắn nhất đến nút đích và giúp cho nút có thể tối thiểu năng lượng sử dụng của mình. Một trong các phương pháp định tuyến được sử dụng như các thuật toán bầu chọn nút chủ cụm hay sử dụng các giải thuật định tuyến như Dijkstra hay Bellman Ford.

### Mật độ nút

Bên cạnh phương pháp định tuyến thì mật độ nút đóng vai trò cũng khá quan trọng khi một mạng được triển khai một cách ngẫu nhiên với mật độ dày đặc các nút sẽ khiến khả năng làm việc của nút sẽ cao hơn là những địa điểm có mật độ thưa. Các nút cảm biến được thiết kế với khả năng hạn chế về chức năng nên việc nút phải truyền tải một số lượng lớn các thông tin dẫn đến mạng sẽ mất cân bằng và hiệu năng của mạng bị suy giảm.

### Mật độ cụm

Vì mạng WSNs có thể được thiết kế theo mô hình chia nhỏ thành nhiều cụm, trong mỗi cụm sẽ có một nút chính đảm nhiệm vai trò truyền dữ liệu đến trạm gốc được gọi là nút chủ cụm (cluster head), các nút còn lại trong cụm chịu trách nhiệm thu thập thông tin xung quanh và gửi đến nút chủ cụm. Việc một cụm có nhiều nút thành phần sẽ dẫn đến mật độ cụm tăng lên. Điều này sẽ cần được lưu ý để đảm bảo tham số mật độ cụm giữa các cụm là thích hợp, tránh việc mật độ của một cụm quá lớn, làm cho nút chủ cụm phải chịu lượng tải lớn, năng lượng bị suy giảm nhanh.

Ngoài ra còn rất nhiều các yếu tố tác động trực tiếp đến hiệu năng sử dụng năng lượng của nút như mục đích sử dụng của mạng. Dưới đây là một số vấn đề liên quan.

### Thời gian sống của mạng

Mục đích chính của việc thiết kế một giao thức định tuyến cân bằng và hiệu quả năng lượng cho WSNs là để kéo dài thời gian sống của mạng, từ đó duy trì được chức năng của mạng phục vụ cho những yêu cầu của người dùng. Có nhiều cách giải thích cho thuật ngữ “thời gian sống của mạng”, ở đây ta định nghĩa thời gian sống là khoảng thời gian tối đa mà mạng còn thực hiện được những chức năng nhất định so với lúc ban đầu.

### Năng lượng của nút

Thời gian sống của một nút được xác định bằng cách tính mức năng lượng của nó sau một số vòng truyền nhận dữ liệu. Mức năng lượng của một nút sau mỗi vòng được gọi là năng lượng dư. Ta có năng lượng của một nút ban đầu là  $E_{in}$ , năng lượng dư được tính như sau:

$$E_{re} = E_{in} - \sum_{r=0}^R E_r \quad (1.1)$$

Với  $E_{re} = E_{in}$  với  $r = 0$ , với  $r$  là vòng hiện tại, và  $R$  là số lượng vòng tối đa. Từ phương trình trên, khi  $E_{re} = 0J$ , nút cảm biến đã cạn kiệt năng lượng hoàn toàn và không thể tham gia vào bất kỳ hoạt động nào của mạng nữa. Do đó, mức năng lượng của một nút là một yếu tố quan trọng cần được tính tới để duy trì chức năng của mạng trong một khoảng thời gian dài. Năng lượng của nút suy giảm càng ít, thời gian sống của mạng sẽ được cải thiện càng nhiều và ngược lại. Thực tế,  $E_{re}$  là một biến quan trọng được sử dụng trong hầu hết những giao thức định tuyến cân bằng năng lượng được nghiên cứu.

#### Khoảng cách giữa trạm gốc và các nút

Tham số này tương ứng với mỗi nút là khác nhau vì các nút được đặt ở các vị trí khác nhau trong cùng một khu vực. Về mặt lý tưởng, ta sẽ muốn các nút được đặt gần trạm gốc nhất có thể để giảm mức tiêu thụ năng lượng của các nút trong việc truyền bản tin giữa các nút hay giữa nút với trạm gốc, từ đó cải thiện được hiệu quả năng lượng của mạng và nâng cao thời gian sống của mạng. Tuy nhiên để đáp ứng các yêu cầu từ thực tiễn, việc các nút đặt xa trạm gốc là không thể tránh khỏi. Vì vậy việc thiết kế các giao thức định tuyến để truyền, nhận các bản tin một cách thích hợp cùng với khoảng cách truyền dẫn nhận được nhiều sự quan tâm từ giới nghiên cứu.

#### Số bước nhảy (hop count)

Số bước nhảy được sử dụng rộng rãi để so sánh hiệu năng giữa các WSN. Số bước nhảy được định nghĩa là số lượng bước chuyển tiếp mà một gói tin đi qua từ khi được truyền đi tới khi đến đích. Người ta hướng tới việc tối giản số bước mà một gói tin đi qua để kéo dài thời gian sống của mạng. Tuy nhiên giảm số bước đồng nghĩa với nhiều nút trên mạng sẽ chịu tải lớn hơn, đồng nghĩa với nhanh cạn kiệt năng lượng. Do đó, việc điều chỉnh tham số này là một vấn đề quan trọng liên quan tới cân bằng tải trong WSN.

## **1.5 Kết luận chương**

Để thiết kế một giải thuật định tuyến cho mạng cảm biến không dây, rất nhiều yếu tố cần phải cân nhắc như: Độ linh hoạt, hiệu quả năng lượng, tỉ lệ lỗi, độ chính xác của cảm biến, giá thành rẻ, triển khai nhanh và các yêu cầu từ các ứng dụng khác nhau. Trong chương 1, các đặc điểm khái quát về ứng dụng của mạng cảm biến đã được chỉ ra và cho thấy rõ tầm quan trọng của mạng WSN trong các hạ tầng truyền thông hiện nay. Chương tiếp theo sẽ trình bày về các giải pháp kỹ thuật ứng dụng cho mạng WSN để làm nổi bật nhu cầu thiết kế giải thuật định tuyến cho WSN.

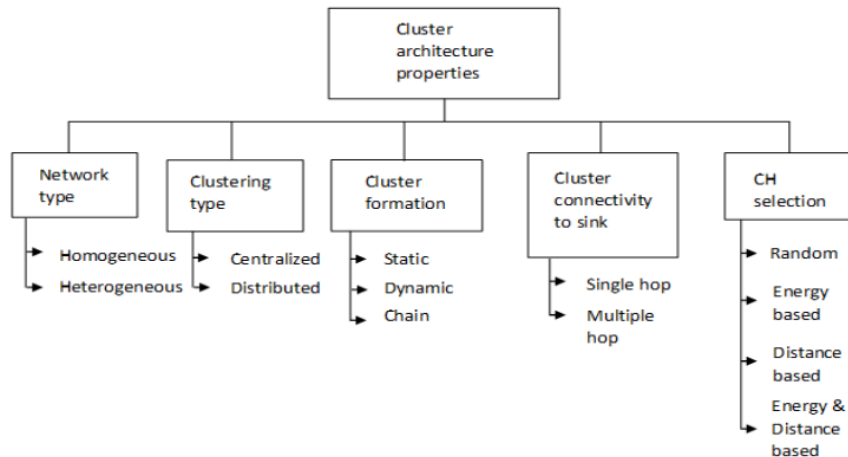


## CHƯƠNG 2: CÁC GIẢI PHÁP PHÂN CỤM TRONG MẠNG CẢM BIẾN KHÔNG DÂY

### 2.1 Giới thiệu chung về các kỹ thuật phân cụm

Nhằm tương thích với các ứng dụng mạng lớn khi phương tiện truyền thông của mạng cảm biến có khoảng cách truyền dẫn nhỏ, các kỹ thuật phân cụm được tiến hành nhằm cải thiện hiệu năng và tính kết nối của mạng cảm biến không dây. Các kỹ thuật phân cụm tính toán tới hai đặc trưng chính: đặc trưng kiến trúc cụm liên quan tới quyết định triển khai và đặc tính hiệu suất cụm liên quan tới hiệu suất chung của toàn mạng. Hình 2.1 dưới đây chỉ ra mô hình phân loại các đặc tính và sẽ được giải thích dưới đây.

#### 2.1.1 Các đặc trưng kiến trúc cụm



**Hình 2.3: Phân loại các đặc tính kiến trúc cụm**

#### Kiểu mạng

Đặc tính kiến trúc phân cụm theo kiểu mạng theo hai kiểu mạng đồng nhất hoặc mạng không đồng nhất. Trong mạng đồng nhất, tất cả các nút được cho là có cùng đặc điểm và thực hiện trong cách thức tương tự. Trong khía cạnh năng lượng, tất cả các nút được giả định là có cùng năng lượng ban đầu. Trong mạng không đồng nhất, các nút với các thuộc tính khác nhau được triển khai trong cùng khu vực.

#### Kiểu cụm

Các giao thức và kỹ thuật phân cụm có thể được tiếp cận theo kiểu cụm gồm: phân cụm tập trung và phân tán. Trong phân cụm tập trung, một cụm chứa trạm cơ sở (BS) hình thành và trạm cơ sở chính là chủ cụm. Các nút cảm biến chỉ phải cảm nhận môi trường và

tuân theo hướng dẫn giao thức được đưa ra bởi BS. Trong phân cụm phân tán, mỗi nút cảm biến tự quyết định xem để trở thành nút chủ cụm hay không. Nó cũng được gọi là mạng tự tổ chức. Trong phân cụm phân tán, năng lượng tiết kiệm đạt được bằng cách giảm khoảng cách thông tin liên lạc về phía BS thông qua các bước chuyển tiếp.

### Hình thành cụm

Việc triển khai các nút và tổ chức cụm được phân loại theo kiểu: tĩnh, động hoặc hình thành chuỗi. Trong tổ chức cụm tĩnh, nhóm các nút được hình thành cụm ban đầu cũng như các cụm không thay đổi trong suốt quá trình. Nút chủ cụm được xoay vòng trong các thành viên cố định của cụm. Trong tạo cụm động, nhóm nút mới được hình thành như cụm cho mỗi vòng hoặc ở giữa quá trình có điều kiện. Tính động của cụm có thể phụ thuộc vào số lượng thành viên cụm, nút chết trong cụm quá khứ và năng lượng trung bình của mạng. Kiểu hình thành cụm theo chuỗi cho phép tất cả các nút trong mạng chỉ được kết nối với nút lân cận của nó để chuyển tiếp gói dữ liệu.

### Kết nối cụm

Một nút chủ cụm được bầu sẽ truyền dữ liệu chung của cụm tới nút đích (BS). Phương thức truyền có hai cách: truyền đơn bước và truyền đa bước. Trong truyền đơn bước, mọi nút chủ cụm được kết nối trực tiếp tới trạm cơ sở. Trong truyền đa bước, các nút chủ cụm phải truyền qua các nút chủ cụm khác hoặc các nút đặc biệt làm trung gian.

### Bầu chủ cụm

Nút chủ cụm là nút sẽ chịu trách nhiệm truyền dữ liệu của các nút trong cụm nên sẽ tiêu tốn năng lượng nhiều nhất. Do đó, thuật toán lựa chọn chủ cụm sẽ ảnh hưởng mạnh tới hiệu năng toàn mạng. Thông thường, một nút có mức năng lượng, thời gian sống cao sẽ được chọn làm chủ cụm. Chủ cụm có thể được lựa chọn ngẫu nhiên theo khoảng cách, mức năng lượng hoặc kết hợp nhiều thông số.

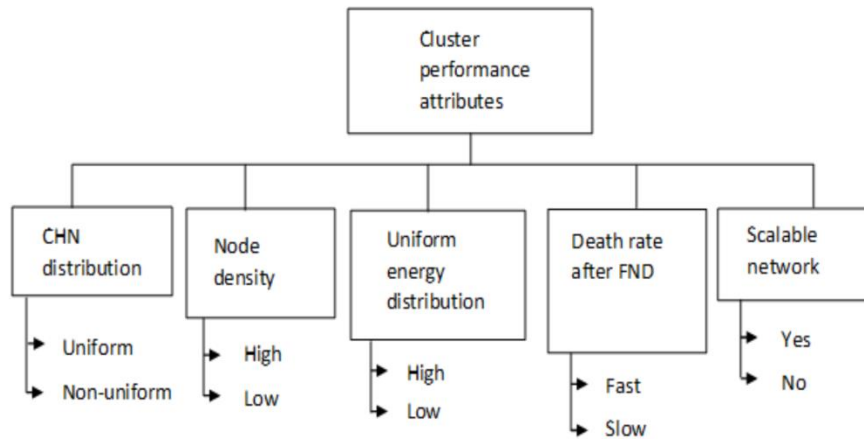
#### ***2.1.1 Các đặc tính hiệu năng cụm***

##### Phân bố chủ cụm

Các nút trong cụm kết nối tới một chủ cụm và các chủ cụm được chọn theo các tiêu chí đặc trưng sau: (1) năng lượng lớn để xử lý nhiều hơn so với các nút trong cụm; (2) các nút chủ cụm phải bao phủ toàn bộ các nút cảm biến; (3) không có hai nút gần nhất được chọn làm chủ cụm; (4) phân bố các nút chủ cụm là đồng nhất nhằm tránh các khu vực bị cách ly.

## Mật độ nút

Các nút cảm biến được triển khai phân tán trên toàn khu vực giám sát. Mật độ nút được tính bằng số lượng nút trên đơn vị diện tích cho dù được phân bố ngẫu nhiên hay cố định. Các thông tin về mật độ nút rất quan trọng đối với đặc trưng di động của nút trong quá trình hình thành cụm.



**Hình 2.4: Các đặc tính hiệu năng cụm**

## Phân phối tải năng lượng đồng đều

Các nút cảm biến là các thiết bị hạn chế năng lượng. Như vậy phân bổ nhiệm vụ cho các nút này trở thành một quyết định quan trọng ảnh hưởng tới tiêu thụ năng lượng. Nút chủ cụm tiêu thụ nhiều năng lượng nhất trong cụm nên nếu một nút được chọn là nút chủ cụm thường xuyên sẽ dẫn đến cạn kiệt năng lượng. Mạng cần duy trì tối đa số vòng xoay cụm. Thời gian của mạng được đo bằng thời gian khởi tạo tới thời gian xuất hiện nút chết đầu tiên (FND) hoặc nút chết cuối cùng (LND).

## Tỷ lệ chết sau khi nút đầu tiên chết

Mạng được coi là không hoạt động khi tất cả các nút đã chết. Tỷ lệ chết được cho là nhanh khi số vòng giữa FND và LND là vài trăm. Tỷ lệ chết của mạng này có thể nhanh hay chậm tùy theo thuật toán thiết kế. Tỷ lệ tử vong nhanh là do sự phụ thuộc tương đối của các nút với nhau khi không có được liên kết hiệu quả khi nút đầu tiên chết.

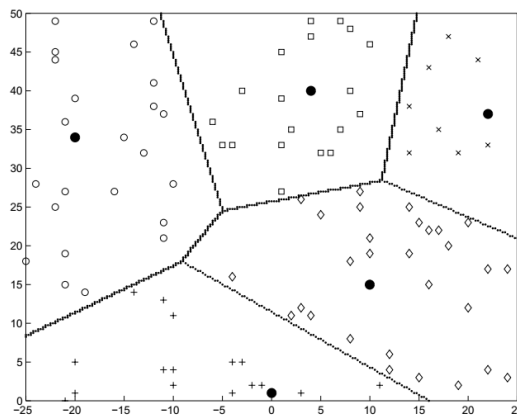
## Khả năng mở rộng

Thuộc tính này cho biết liệu một thuật toán có thể thực hiện nhất quán và hiệu quả nếu số lượng nút được tăng lên trong khu vực giám sát nhất định. Hầu hết các thuật toán không duy trì số lượng lớn các nút do thiếu thích hợp quá trình phân cụm. Thuộc tính này là mối quan tâm chính của môi trường có nhiều loại nút với các đặc tính khác nhau.

## 2.2 Các giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng

### 2.2.1 Giao thức LEACH

Giao thức phân cụm thích ứng năng lượng thấp (LEACH) là một giao thức phân cụm thích ứng và tự tổ chức, sử dụng tính ngẫu nhiên để phân bổ tải giữa các nút cảm biến trong mạng. Trong LEACH, các nút tổ chức thành các cụm cục bộ, với một chủ cụm/nút chủ CH (Cluster Head) hoạt động như một trạm gốc cục bộ. Nếu CH được lựa chọn theo phương pháp tĩnh, theo một mức ưu tiên cho trước trong thời gian sống của mạng, thì sẽ xảy ra trường hợp CH chết sớm và kết thúc thời gian sống của cả cụm đó. Vậy nên, LEACH sẽ xoay vòng ngẫu nhiên những vị trí cụm chủ có năng lượng cao, việc xoay vòng này sẽ giảm sự tập trung tải lên riêng một vài nút nào đó. Hơn nữa, LEACH sẽ thực hiện nén dữ liệu được gom về tại CH trước khi gửi đến trạm gốc, điều này tiếp tục làm giảm năng lượng tiêu tốn và tăng tuổi thọ mạng.

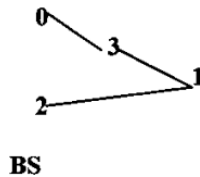


Hình 2.3: Phân cụm trong LEACH

### 2.2.2 Giao thức PEGASIS

PEGASIS là một giao thức dựa trên chuỗi, trong đó các nút cần giao tiếp với nút lân cận của nó thay vì giao tiếp trực tiếp với trạm gốc. Tất cả các nút trên mạng dựa trên việc đo công suất và chất lượng tín hiệu để xác định ra nút lân cận gần mình nhất. Một chuỗi các nút lân cận liền kề nhau trong PEGASIS sẽ tạo thành tuyến đường truyền dữ liệu tới trạm gốc. Dữ liệu được gom lại sẽ được truyền trực tiếp tới trạm gốc bởi bất kỳ nút nào và các nút sẽ thay phiên nhau làm việc này. Việc này sẽ tối thiểu hóa năng lượng truyền tin tới đích bằng việc trải đều tải cho tất cả các nút trong mạng.

Ý tưởng chính của PEGASIS là mỗi nút sẽ gửi và nhận thông tin từ nút lân cận và thay phiên nhau làm *leader* để truyền dữ liệu tới trạm gốc. Đầu tiên, chúng ta coi vị trí khởi tạo của các nút trong vùng là ngẫu nhiên. Các nút sẽ sử dụng giải thuật tham lam (greedy algorithm) để tổ chức thành các chuỗi. Mặt khác, trạm gốc có thể tính toán được những vị trí trong chuỗi này và quảng bá nó ra cho tất cả các nút.



**Hình 2.4: Tạo chuỗi trong Pegasis**

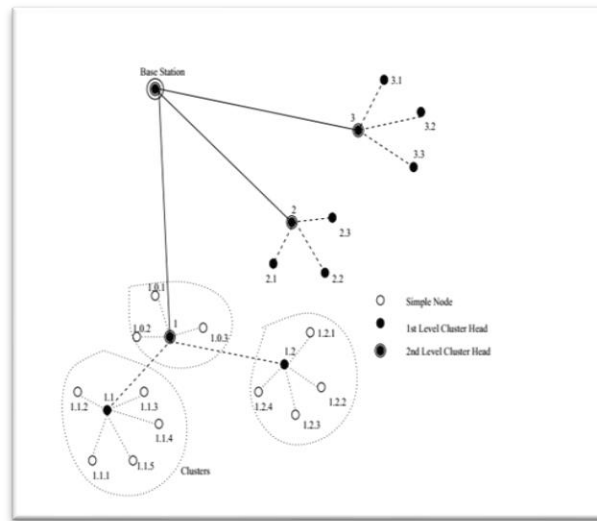
Ví dụ trong mạng gồm 100 nút trải đều trên 1 vùng kích thước 50mx50m, trạm gốc được đặt tại tọa độ (25,150) để đảm bảo nó cách nút gần nhất ít nhất là 100m. Để tạo thành chuỗi, chúng ta bắt đầu từ những nút xa trạm gốc nhất, thuật toán greedy được sử dụng và mỗi nút sẽ chọn nút lân cận gần nó nhất để nối vào chuỗi. Khoảng cách giữa 2 nút liên tiếp trong chuỗi do đó sẽ tăng dần vì những nút đã có trong chuỗi sẽ không được nối lại. Hình 2.4 cho thấy nút 0 đang kết nối với nút 3, nút 3 kết nối với nút 1 và nút 1 kết nối nút 2 theo quy luật như vậy. Khi 1 nút chết, chuỗi sẽ được tạo lại theo quy luật như vậy và bỏ qua nút đó.

Để gom dữ liệu trong một vòng, mỗi nút nhận dữ liệu từ một nút lân cận và ghép với dữ liệu của nó rồi gửi tới nút lân cận còn lại trong chuỗi. Lưu ý rằng nút thứ  $i$  sẽ có vị trí ngẫu nhiên  $j$  trong chuỗi. Các nút sẽ thay phiên nhau gửi dữ liệu tới trạm gốc, chúng ta sẽ sử dụng nút thứ  $i \bmod N$  (với  $N$  là số lượng nút) làm *leader* của vòng thứ  $i$ . Do đó, *leader* trong từng vòng sẽ ở một vị trí ngẫu nhiên trong chuỗi và các nút chết cũng sẽ nằm ở những vị trí ngẫu nhiên. Trong một vòng bất kỳ, ta có thể sử dụng một phương thức truyền để điều khiển đơn giản (control token), bắt đầu từ *leader* và kết thúc ở những nút cuối chuỗi. Kích thước của token rất nhỏ và không gây nhiều tổn hao tài nguyên.

Cấu tạo chuỗi dựa trên giải thuật tham lam hoạt động tốt với các kích thước khác nhau của mạng và vị trí ngẫu nhiên của các nút. Trong kết cấu chuỗi này, đôi khi sẽ có những nút cách khá xa nút lân cận của nó và đây sẽ là những nút cạn năng lượng đầu tiên. Chúng ta có thể cải thiện hiệu năng của giao thức bằng cách đặt ra một ngưỡng về khoảng cách để ngăn không cho những nút này làm nút chủ. Ngay khi một nút chết, chuỗi sẽ được tái cấu trúc và ngưỡng khoảng cách sẽ thay đổi để xác định xem nút nào là nút chủ cụm tiếp theo.

### 2.2.3 Giao thức TEEN

Giao thức mạng cảm biến hiệu quả năng lượng dựa trên ngưỡng nhảy TEEN (Threshold sensitive Energy Efficient sensor Network protocol) sử dụng mô hình cụm phân cấp bao gồm một trạm gốc và các nút cảm biến. Tại thời điểm thiết lập, các nút cảm biến có năng lượng và các thuộc tính giống nhau. Trạm gốc được cung cấp năng lượng không giới hạn để vận chuyển dữ liệu từ các nút. Tuy nhiên, các nút không thể phản hồi trực tiếp với trạm gốc vì năng lượng giới hạn của chúng, sẽ dễ gây ra mất cân bằng kết nối trong mạng. Việc chia mạng thành các cụm phân cấp nhằm giải quyết vấn đề này.



**Hình 2.5: Mô hình cụm phân cấp**

Các nút ở hình 2.5 trên được chia thành các cụm, nút chủ cụm chịu trách nhiệm truyền dữ liệu từ nút còn lại trong cụm đến trạm gốc BS (Base Station) hoặc các nút CH khác, dẫn tới việc tiêu hao một lượng lớn năng lượng từ nút chủ cụm. Do đó mỗi nút chỉ làm chủ cụm trong một thời gian nhất định, sau đó sẽ thực hiện tái lập các cụm. Những đặc điểm chính trong cấu trúc này bao gồm:

- Tất cả các nút chỉ cần truyền dữ liệu đến nút chủ cụm trung gian, do đó sẽ tiết kiệm năng lượng.
- Chỉ có nút chủ cụm phải thực hiện thêm những tính toán như: Tổng hợp dữ liệu, phân tích và xử lý dữ liệu...

- Những CH bậc cao trong mô hình phân cấp cần truyền dữ liệu qua khoảng cách tương đối xa. Để suy hao là đồng đều, các nút lần lượt giữ vai trò là CH.

Khi CH đã được lựa chọn, trong mỗi chu kỳ cụm, trước tiên các cụm chủ sẽ quảng bá những tham số sau:

- Thuộc tính(A): là tập hợp các thông số vật lý mà người dùng quan tâm về dữ liệu.
- Report time( $T_R$ ): Khoảng thời gian giữa các lần báo cáo thành công của một nút.
- Các ngưỡng: Tham số này bao gồm ngưỡng cứng ( $H_T$ ) và ngưỡng mềm ( $S_T$ ).  $H_T$  là một giá trị nhất định mà nếu vượt trên nó thì một nút có thể được chuyển qua trạng thái truyền dữ liệu.  $S_T$  là một thay đổi nhỏ trong giá trị của một thuộc tính, dùng để kích hoạt một nút truyền dữ liệu lại lần nữa.

Các nút cảm biến thu thập thông tin liên tục, lần đầu tiên một tham số từ tập thuộc tính đạt đến giá trị ngưỡng cứng của nó thì nút đó sẽ chuyển qua trạng thái truyền dữ liệu. Giá trị này được lưu trữ vào bên trong một biến của nút, gọi là giá trị cảm nhận SV (Sensitive Value) . Những nút này sau đó sẽ chuyển tiếp những dữ liệu của cụm hiện tại nếu thỏa mãn hai yêu cầu sau:

- Giá trị hiện tại của thuộc tính cảm nhận phải lớn hơn giá trị ngưỡng cứng.
- Giá trị này phải lớn hơn hoặc bằng giá trị cảm nhận một khoảng bằng giá trị ngưỡng mềm.

Vì vậy, giá trị ngưỡng cứng được tạo ra nhằm để giảm số lượng truyền dữ liệu bằng cách cho phép các nút truyền chỉ khi thuộc tính cảm nhận nằm trong khoảng mong muốn. Giá trị ngưỡng mềm làm giảm thêm việc truyền dữ liệu bằng cách loại bỏ tất cả các đường truyền. Giao thức TEEN cải thiện hơn so với các giao thức LEACH qua các tham số như: thời gian sống của mạng và năng lượng tiêu hao trung bình.

#### ***2.2.4 Giao thức mạng lai ghép APTEEN***

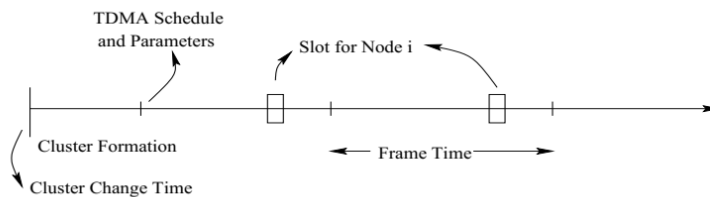
Dựa trên mô hình cụm phân cấp tên là TEEN, APTEEN sử dụng ngưỡng thay đổi thích ứng với sự thay đổi trạng thái của mạng trong từng vòng. Giao thức APTEEN là một sự cải tiến áp dụng được cho cả hai mô hình: Truyền tin định kỳ và phản hồi khi có sự kiện đặc biệt. APTEEN kết hợp các đặc tính của 2 hệ thống giao tiếp *chủ động* và *thụ động*, kể cả trong trường hợp một nút đang trong trạng thái ngủ định kỳ rồi bất chợt bị đánh thức khi có

sự kiện cảm biến. Ngoài các tham số lựa chọn chủ cụm trong TEEN, APTEEN bổ sung thêm hai tham số sau:

Tham số lập lịch: Đây là tham số để lập lịch theo TDMA, gán một khe thời gian cho mỗi nút.

Khoảng cách thời gian truyền ( $T_c$ ): Đây là chu kỳ thời gian tối đa giữa hai lần bản tin được gửi thành công bởi một nút. Nó có thể là bội của một chu kỳ TDMA và được sử dụng cho mô hình giao tiếp *chủ động* (proactive).

Trong mạng cảm biến, các nút gần nhau sẽ nằm trong cùng cụm, cảm nhận các dữ liệu như nhau và cố gắng truyền thông đi một cách đồng thời, gây nên xung đột gói tin. Do đó bộ lập lịch TDMA là cần thiết để cho phép các nút truyền vào những thời điểm khác nhau như trong hình 2.



**Hình 2.6: Phân chia thời gian trong APTEEN**

### 2.2.5 Giao thức EEHC

Giao thức cụm phân cấp hiệu quả năng lượng EEHC (Energy Efficient Hierarchical Clustering) là giao thức định tuyến trong WSN sử dụng phân cụm ngẫu nhiên. Phương pháp này chia thành hai dạng: Phân cụm đơn mức và phân cụm đa mức, chúng ta sẽ phân tích mô hình đơn mức.

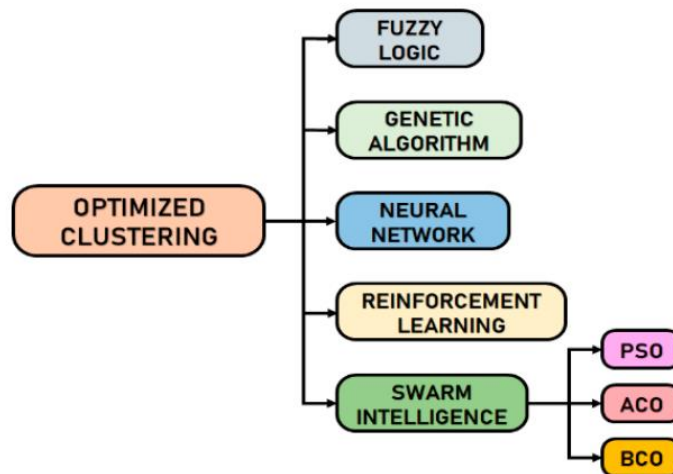
Mỗi nút cảm biến trong mạng sẽ tự bầu mình làm cụm chủ (CH) với xác suất là  $p$  và quảng bá thông tin này tới các nút khác trong bán kính vô tuyến của nó. Gọi những cụm chủ này là *cụm chủ tự nguyện*. Các bản tin quảng bá này được chuyển tiếp tới tất cả các nút trong khoảng cách không quá  $k$  bước (hop) tính từ nút cụm chủ. Bất kỳ nút nào nhận được những bản tin này và không phải là cụm chủ sẽ gia nhập vào cụm gần nhất. Bất kỳ nút nào vừa không phải cụm chủ vừa chưa gia nhập cụm nào cũng sẽ trở thành cụm chủ, chúng ta gọi đó là các *cụm chủ bị động*. Bởi vì ta giới hạn các bản tin quảng bá trong  $k$  bước chuyển tiếp, nếu một nút không nhận được bản tin nào trong một khoảng thời gian  $t$  (với  $t$  là thời gian cần thiết để dữ liệu tới được cụm chủ từ bất kỳ nút nào cách nó  $k$  bước) thì nó sẽ được



coi như không nằm trong cụm nào và bị ép trở thành một *cụm chủ bị động*. Hơn nữa, do tất cả các nút trong một cụm cách cụm chủ nhiều nhất là  $k$  bước, nên cụm chủ có thể gom thông tin và gửi về trạm gốc sau mỗi chu kỳ  $t$ . Giới hạn số bước cho phép cụm chủ lập lịch cho các phiên truyền dẫn mà không cần đồng bộ xung đồng hồ giữa các nút cảm biến. Năng lượng được sử dụng trong mạng để thu thập dữ liệu từ các cảm biến về trạm gốc sẽ phụ thuộc vào 2 tham số  $p$  và  $k$ .

### 2.3 Tiếp cận gần đúng trong bài toán phân cụm

Vấn đề tối ưu hóa định tuyến dựa trên kiến trúc phân cấp mạng đã dẫn đến sự phát triển của các chiến lược phân cụm thông minh gần đây. Các chiến lược phân cụm tối ưu hóa hướng đến các thuật toán thông minh giúp cải thiện tuổi thọ của mạng cảm biến, đồng thời giúp chúng tiết kiệm năng lượng. Trong đó, tiếp cận chính là sử dụng thuật toán heuristic để có được các giải pháp gần đúng cho bài toán NP-Hard một cách hiệu quả. Một số loại thuật toán tính toán thông minh được sử dụng để phân cụm cho WSN gồm: Logic mờ, Thuật toán di truyền, Mạng lưới thần kinh (neuron) và mô hình thông minh bầy đàn. Hình 2.7 dưới trình bày phân loại thuật toán phân cụm được tối ưu hóa cho các WSN.

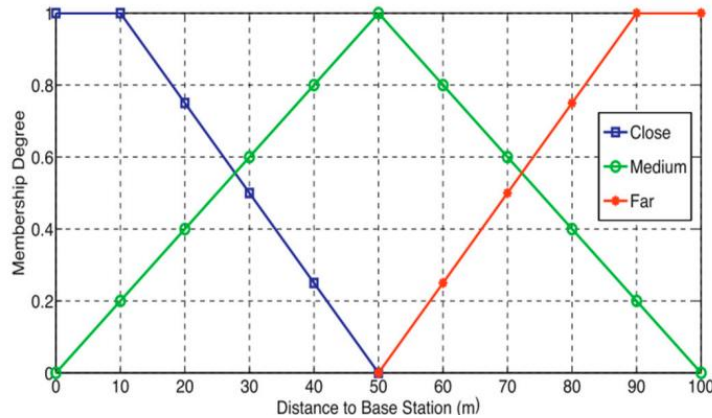


Hình 2.7: Phân loại các thuật toán phân cụm heuristic

#### 2.3.1 Sử dụng logic mờ

Logic mờ (Fuzzy Logic) là một nhánh toán học được phát minh để thể hiện lý luận của con người theo cách gần đúng. Trái với lý thuyết tập cổ điển cho phép các phần tử thuộc hoặc không thuộc một tập hợp, logic mờ cho phép đo lường sự không chính xác hoặc không chắc chắn được đánh dấu bằng cách sử dụng các biến ngôn ngữ như hầu hết, thường xuyên, thông qua các quy tắc trong một tập hợp gọi là tập mờ. Một ví dụ về tập mờ được sử dụng

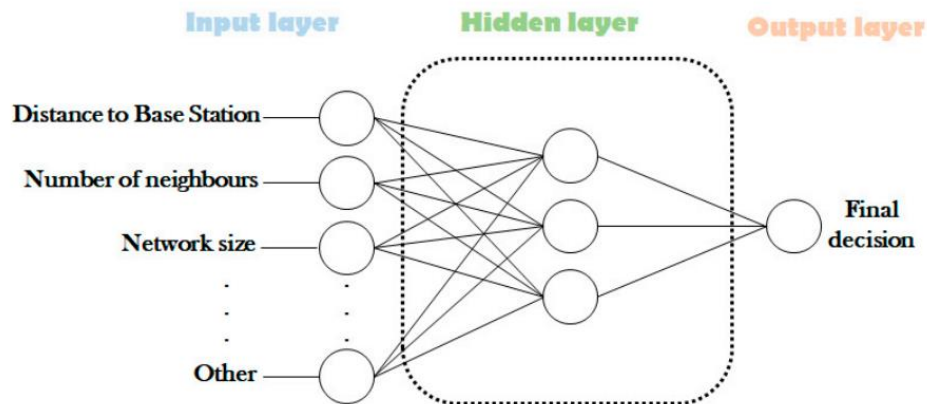
cho các biến đầu vào của khoảng cách giữa một nút và BS được trình bày trong hình 2.8. Từ hình vẽ cho thấy tham số mờ về khoảng cách đến BS được phân loại gần, trung bình hoặc xa.



**Hình 2.8: Ví dụ về biểu diễn qua tập mờ**

### 2.3.2 Sử dụng thuật toán di truyền

Thuật toán di truyền GA (Genetic Algorithm) là phương pháp tiếp cận heuristic thích ứng dựa trên tiến hóa di truyền sinh học để tìm kiếm và tối ưu hóa thông minh. GA mô hình hóa sự tiến hóa tự nhiên bằng cách thực hiện các bài kiểm tra thể lực trên các cấu trúc mới để chọn dân số tốt nhất.



**Hình 2.9: Ví dụ về mạng neuron**

Với phương pháp GA, một quần thể được tạo thành từ một nhóm nhiễm sắc thể, trong đó chúng thể hiện một giải pháp hoàn chỉnh nào đó cho một vấn đề có liên quan, và cho thấy chất lượng của nhiễm sắc thể phụ thuộc vào nhu cầu cụ thể. Loại thuật toán tối ưu hóa này được sử dụng để tìm kiếm ngẫu nhiên và tối ưu hóa trong quá trình định tuyến dữ liệu.

GA đã cho thấy sự linh hoạt trong việc giải quyết các vấn đề động và đã được áp dụng thành công trong nhiều vấn đề NP-hard bao gồm vấn đề phân cụm trên WSN.

### ***2.3.3 Sử dụng mạng neural***

Mạng thần kinh (Neural Network) là các mô hình toán học được lấy cảm hứng từ các mạng lưới sinh học của các thần kinh trong não người. Để tạo ra một mạng lưới rộng lớn và dày đặc, mỗi neural được kết nối với nhiều neural khác. Một mạng thần kinh bao gồm một mạng lưới các neural được tổ chức ở các lớp đầu vào, lớp ẩn và lớp đầu ra để đào tạo dữ liệu theo đường dẫn khác nhau và xác định mối quan hệ tương quan của chúng. Hình 2.3 dưới đây trình bày một mô hình đơn giản của mạng thần kinh. Các mạng thần kinh được sử dụng để giải quyết các vấn đề về phản ứng tổng hợp cảm biến, khai thác dữ liệu và phân cụm.

### ***2.1.4 Tối ưu bầy đàn***

Tối ưu bầy đàn, cụ thể là Swarm Intelligence (SI) được định nghĩa là bất kỳ nỗ lực nào để thiết kế thuật toán hoặc cách giải quyết vấn đề phân tán lấy cảm hứng từ hành vi tập thể của quần thể côn trùng và các xã hội động vật khác. Hầu hết các đề xuất đều dựa trên các hành vi xã hội của đàn chim, bầy cá và sự hợp tác của côn trùng như kiến, ong, bướm, v.v ... có nguồn lực hạn chế như các nút cảm biến được sử dụng trong WSN. Các phương pháp tiếp cận SI có thể được phân loại thành Particle Swarm, Ant Colony và Bee Colony Optimizations.

Tối ưu hóa Particle Swarm (PSO) là một kỹ thuật tính toán đột phá và có liên quan đến bầy chim, đàn cá và lý thuyết bầy đàn. Giống như các kỹ thuật tính toán tiến hóa khác, PSO là một thuật toán tìm kiếm dựa trên cộng đồng dân số và được khởi tạo với một quần thể các giải pháp ngẫu nhiên, được gọi là các hạt. Một hạt sẽ có giá trị sức khỏe, sẽ được đánh giá bởi chức năng sức khỏe để được tối ưu hóa trong mỗi thế hệ.

Ant Colony Optimization (ACO) được định nghĩa là một siêu dữ liệu lấy cảm hứng từ đặc trưng tự nhiên của loài kiến cho giải pháp cho các vấn đề tối ưu hóa tổ hợp. Thuật toán ACO bắt nguồn từ hành vi của những con kiến giao tiếp với nhau bằng cách sử dụng hợp chất hóa học gọi là pheromone. Khi kiến di chuyển, chúng rải pheromone trên mặt đất và chúng thấy được đường dẫn của pheromone. Ý tưởng chính của siêu dữ liệu ACO là mô hình hóa vấn đề như tìm kiếm đường dẫn tốt nhất bằng cách xây dựng một biểu đồ đường dẫn biểu thị các trạng thái của vấn đề. Lĩnh vực WSN đã có một số đề xuất sử dụng thuật toán phân cụm dựa trên ACO để cải thiện hiệu suất của các mạng cảm biến.

Bee Colony Optimization (BCO) được lấy cảm hứng từ các hành vi tìm kiếm của ong mật. Côn trùng có khả năng chủ động cá nhân và khả năng tự tổ chức. Ong mật có thể được nhóm lại thành một đàn và sống trong một tổ ong, và thể hiện khả năng giải quyết vấn đề tự động ẩn tượng. Những con ong trinh sát khám phá xung quanh tổ ong để phát hiện ra nguồn thức ăn có thể, khi phát hiện ra một bông hoa, con ong trinh sát quay trở lại tổ ong để tuyển những con ong thợ sẵn thông qua một điệu nhảy đặc biệt. BCO được sử dụng rộng rãi để giải quyết các vấn đề phân cụm NP-Hard một cách hiệu quả.

Tìm kiếm được đường đi tối ưu tới trạm gốc cho dữ liệu từ các nút cảm biến để duy trì thời gian sống và các chức năng của mạng là mục tiêu của tất cả các giao thức định tuyến hiệu quả năng lượng trong WSN. Nhiều nghiên cứu khác nhau có những cách tiếp cận và kỹ thuật khác nhau nhưng cùng chung một mục đích cuối cùng này.

Trong các kịch bản đã được nghiên cứu, kỹ thuật phân cụm đã được chứng tỏ là một phương thức hiệu quả để tăng thời gian sống của mạng và khả năng mở rộng cần thiết. Về cơ bản, một kịch bản phân cụm chọn ra một số nút hình thành nên một trục xương sống (backbone) để kết nối mạng tới trạm gốc. Những nút này được gọi là các cụm chủ, còn những nút còn lại gọi là thành viên của cụm.

## **2.4 Một số giải pháp phân cụm dựa trên tiếp cận gần đúng**

### **2.4.1 Phân cụm LEACH-GA**

Thuật toán di truyền (GA) là phương pháp tiếp cận giải thuật thích ứng dựa trên tiến hóa di truyền sinh học để tìm kiếm và tối ưu hóa thông minh. Một trong những phương pháp tiếp cận theo GA cho việc phân cụm là LEACH – GA. Trong nghiên cứu này, tác giả đã đề xuất một giao thức phân cụm thích ứng dựa trên thuật toán di truyền (dựa trên GA) với dự đoán xác suất tối ưu để đạt được hiệu suất tốt về thời gian tồn tại của mạng trong các mạng cảm biến không dây. Giao thức dựa trên GA được đề xuất dựa trên LEACH nên được gọi là LEACH-GA. Về cơ bản có các giai đoạn thiết lập và trạng thái ổn định cho mỗi vòng trong giao thức và giai đoạn chuẩn bị bổ sung trước khi bắt đầu vòng đầu tiên. Trong giai đoạn chuẩn bị, tất cả các nút ban đầu thực hiện quy trình chọn đầu cụm và sau đó chúng gửi bản tin quảng bá để cho các nút biết chúng có phải là nút chủ cụm hay được ứng cử làm nút chủ cụm, ID nút và vị trí được đến trạm gốc. Khi trạm cơ sở nhận được thông báo từ tất cả các nút, sau đó nó sẽ tìm kiếm xác suất tối ưu của các nút là các đầu cụm thông qua thuật toán di truyền bằng cách giảm thiểu tổng mức tiêu thụ năng lượng cần thiết để hoàn thành

một vòng trong trường cảm biến. Sau đó, trạm cơ sở phát thông tin quảng bá với giá trị xác suất tối ưu cho tất cả các nút để tạo thành cụm trong giai đoạn thiết lập sau. (Nếu như Leach chọn ngẫu nhiên thì GA nó sẽ tối ưu các tham số xác suất rồi gửi lại cho các nút để bầu vào giai đoạn tiếp theo). Giai đoạn chuẩn bị chỉ được thực hiện một lần trước giai đoạn thiết lập của vòng đầu tiên. Các quy trình của các giai đoạn thiết lập và trạng thái ổn định sau mỗi vòng đều giống như LEACH. Kết quả mô phỏng cho thấy giao thức phân cụm thích ứng dựa trên thuật toán di truyền được đề xuất có hiệu quả tạo ra mức tiêu thụ năng lượng tối ưu cho các mạng cảm biến không dây và dẫn đến việc cải thiện thời gian sống cho mạng. Thuật toán cho kỹ thuật phân cụm như sau.

Tại bước đầu, mỗi nút sẽ xác định xem mình có khả năng được làm nút chủ cụm (CH) hay không qua quá trình sau. Đầu tiên, mỗi nút cảm biến sẽ lựa chọn một số ngẫu nhiên  $r$  nằm trong khoảng  $[0, 1]$ . Nếu  $r$  nhỏ hơn mức ngưỡng  $T(s)$  thì nút là CH. Trong đó  $T(s)$  được tính dựa trên  $p_{set}$  hay còn được gọi là xác suất ngẫu nhiên ban đầu được gán cho mỗi nút cảm biến ( $p_{set} \geq 0.5$ ).

Sau đó, mỗi nút gửi ID, thông tin vị trí cho BS liệu có thể làm CH cho vòng tiếp theo hay không hay không. Vì BS nhận được tin nhắn được gửi bởi tất cả các nút, nó thực hiện GA để xác định xác suất tối ưu,  $p_{opt} = k_{opt} / n$  bằng cách giảm thiểu tổng lượng tiêu thụ năng lượng trong mỗi vòng. Do đó, công thức (2.2) biểu thị cho hàm giảm thiểu năng lượng được sử dụng trong GA.

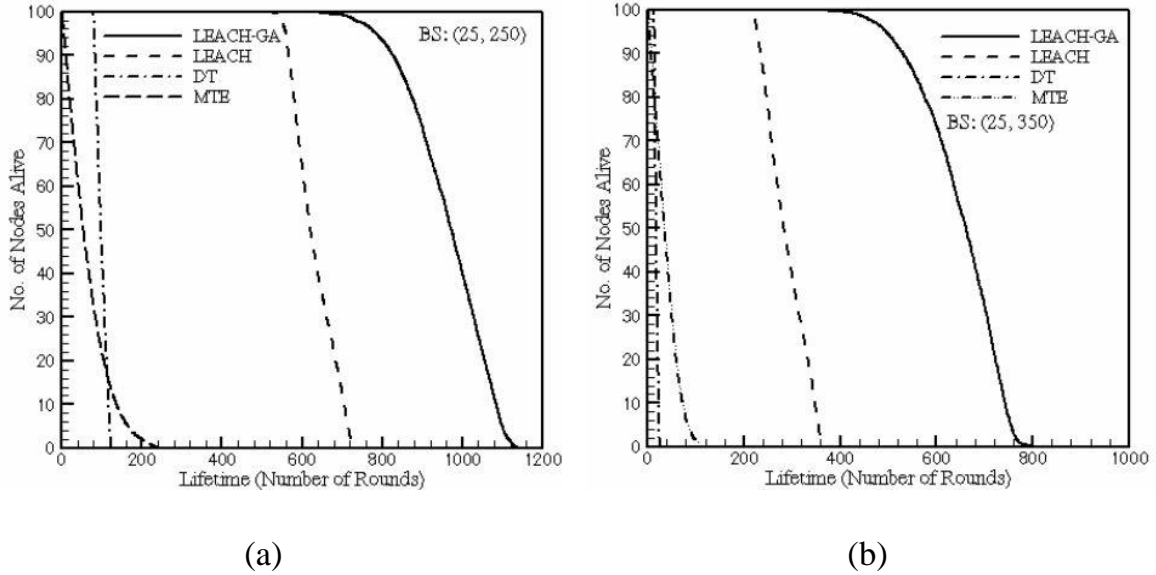
Với một mạng  $M \times M$  và  $k$  nút cảm biến trong 1 cụm  $k_{opt}$  sẽ được tính như sau (2.1).

$$k_{opt} = \begin{cases} \sqrt{\frac{1}{\pi}} \frac{M}{\sqrt{E[d_{toBS}^2]}} & d_{toBS} < d_0 \\ \sqrt{\frac{1}{\pi}} \sqrt{\frac{\xi_{fs}}{\xi_{mp}}} \frac{M}{\sqrt{E[d_{toBS}^2]}} & d_{toBS} \geq d_0 \end{cases} \quad (2.1)$$

$$f(\vec{x}) = \sum_{c=1}^k \sum_{i=1}^q (E_{elec} + \varepsilon d^\alpha [i, CCH(c)]) \times x_c + \sum_{c=1}^k (2E_{elec} + E_{DA} + \varepsilon d^\alpha [i, CCH(c)]) \quad (2.2)$$

Trong đó  $\vec{x} = [x_1, x_2, \dots, x_c, \dots, x_k]$ . Giá trị của  $x_c$  là một trong các giá trị GA-nhi phân khi nút là CCH còn ngoài ra nó sẽ bằng 0.  $\varepsilon = \xi_{fs}, \alpha = 2$  khi  $d \leq d_0$  và  $\varepsilon = \xi_{mp}, \alpha = 4$  khi  $d \geq d_0$ .

Kí tự  $p$  biểu thị cho số nút thành viên trong một CH.  $p_{opt}$  xác suất tối ưu được xác định bởi GA bằng quy trình tối ưu hóa tiến hóa. Khi tìm thấy  $p_{opt}$  xác suất tối ưu, BS sẽ phát giá trị của  $p_{opt}$  tới tất cả các nút. Các giai đoạn thiết lập và trạng thái ổn định bắt đầu. Các quy trình của giai đoạn thiết lập và trạng thái ổn định giống như trong LEACH.



**Hình 2.10: So sánh thời gian sống với vị trí BS khác nhau**

Một số kết quả thu được như thời gian sống của các nút mạng qua từng vòng khi sử dụng GA và được so sánh với LEACH và các phương pháp phân cụm khác. Bằng việc sử dụng hai kịch bản khác nhau nhưng kết quả vẫn cho thấy được sự vượt trội hơn của GA so với LEACH và được thể hiện rõ trong đồ thị hình 2.10. Đặc biệt GA là phương pháp có tính di truyền nên việc tối ưu các tham số qua mỗi vòng thực hiện sẽ cho thấy hiệu quả hơn.

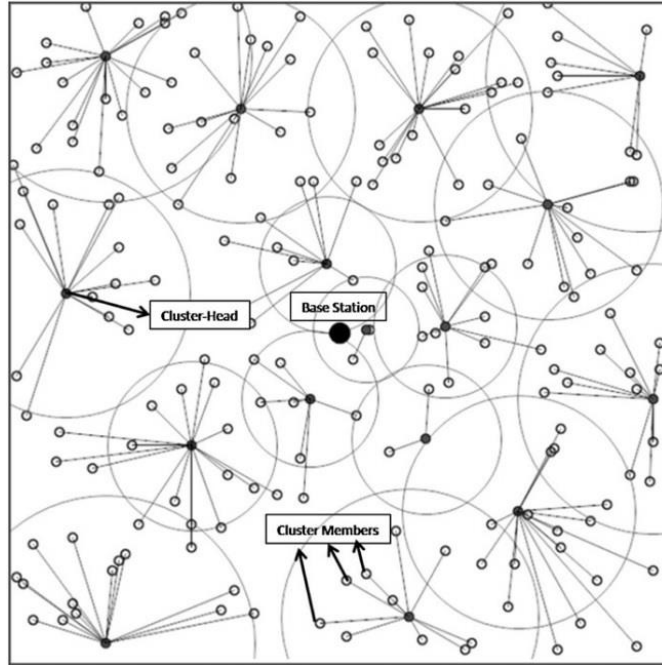
Đề xuất LEACH-GA rõ ràng đã có hiệu suất cao hơn đối với LEACH và các phương pháp phân cụm khác. Khi vị trí của BS cách xa trường cảm biến, giao thức được trình bày sẽ kéo dài đáng kể tuổi thọ của mạng vì nó sử dụng xác suất tối ưu trong việc hình thành các cụm. Mức tăng đạt được cao tới 54% và 110%, so với LEACH với BS nằm ở (25, 250) và (25, 350), tương ứng.

#### **2.4.2 Thuật toán phân cụm EAUCF**

Thuật toán phân cụm không cân bằng năng lượng EAUCF (Energy-Aware Unequal Clustering with Fuzzy). Đây là phương pháp dùng để giải quyết vấn đề điểm nóng (hot spot

problem) trong kết nối đa đường (multi hop), nghĩa là dữ liệu sau khi được các nút cảm biến thu thập sẽ được gửi đến CH tương ứng. Các nút chủ cụm chịu trách nhiệm tổng hợp và gửi trực tiếp đến trạm gốc hoặc thông qua các nút CH khác. Điều này dẫn đến việc những nút CH gần trạm gốc sẽ nhận được một lượng lớn lưu lượng từ các CH khác gửi tới để chuyển tiếp tới trạm gốc, dẫn tới việc sớm cạn kiệt năng lượng. Vì vậy để giải quyết vấn đề này, thuật toán phân cụm không đồng đều EAUCF đã tạo ra những cụm với kích thước khác nhau.

Trong mỗi vòng tạo cụm, mỗi nút cảm biến tạo ra một giá trị ngẫu nhiên trong khoảng  $[0, 1]$ . Nếu giá trị này nhỏ hơn một giá trị ngưỡng cho trước  $T$  thì nút này sẽ được nạp vào tập hợp các nút dự kiến được xét để làm CH. Bán kính của mỗi CH trong tập trên thay đổi liên tục theo từng vòng vì thuật toán EAUCF sử dụng thông số năng lượng còn lại và khoảng cách đến trạm gốc để tính bán kính. Năng lượng các nút của mạng qua từng vòng giảm khiến hiệu năng của mạng giảm, dẫn đến vùng cảm nhận của mạng thu hẹp lại làm cho bán kính của từng cụm sẽ giảm dần theo thời gian. Nếu bán kính không thay đổi khi năng lượng giảm, các nút cảm biến sẽ cạn kiệt năng lượng một cách nhanh chóng. Việc tính toán bán kính cho từng CH được thực hiện bằng việc sử dụng fuzzy. Hai tham số đầu vào được sử dụng là khoảng cách của một nút đến trạm gốc và năng lượng còn lại của nút qua từng vòng. Biến đầu ra khi dùng fuzzy là bán kính cho từng nút được xét để làm CH.



**Hình 2.11: Mô hình mạng WSNs sử dụng thuật toán EAUCF**

Sau khi hoàn thành việc tính bán kính, mỗi nút CH dự kiến sẽ gửi một bản tin *Candidate\_mesagge* bao gồm ID, bán kính, năng lượng còn dư tới các CH dự kiến còn lại. Các nút CH sau khi nhận được bản tin, năng lượng còn dư được dùng để so sánh. Nếu nút nào có năng lượng nhỏ hơn thì sẽ gửi trả bản tin *QuitElection\_message*, rút lui khỏi việc bầu chọn CH. Việc so sánh bán kính này nhằm đảm bảo sẽ không có CH nào nằm trong vùng hoạt động của các CH khác. Sau khi các chọn được CH và bán kính tương ứng, các nút cảm biến sẽ tham gia vào các cụm gần nó nhất.

### **2.4.3 Thuật toán phân cụm SOM**

Thuật toán được đề xuất trên trình bày một cách tiếp cận mới về phân cụm dựa trên phương pháp tự tổ chức bản đồ (SOM) thuộc các mạng nơ-ron nhân tạo. Nó nhằm mục đích tối ưu hóa mạng bằng cách hình thành các cụm sao cho mức tiêu thụ năng lượng được giảm thiểu và công suất cần thiết cho mỗi nút giảm. Nó thực hiện các cơ chế bao gồm tối thiểu khoảng cách từ CH đến BS. Chiến lược SOM được sử dụng cho bầu cử CH, hệ thống xoay vòng CH và cân bằng tải. Mỗi vòng bắt đầu với giai đoạn thiết lập các cụm. Tiếp theo đến giai đoạn truyền dữ liệu, dữ liệu từ các nút được chuyển hoặc không đến CH tùy thuộc vào các kịch bản. Dữ liệu nhận được từ các nút của một cụm bởi CH được tổng hợp và chuyển tiếp đến BS. Việc bầu chọn các CH được thực hiện bởi SOM bằng cách sử dụng ánh xạ nơ-

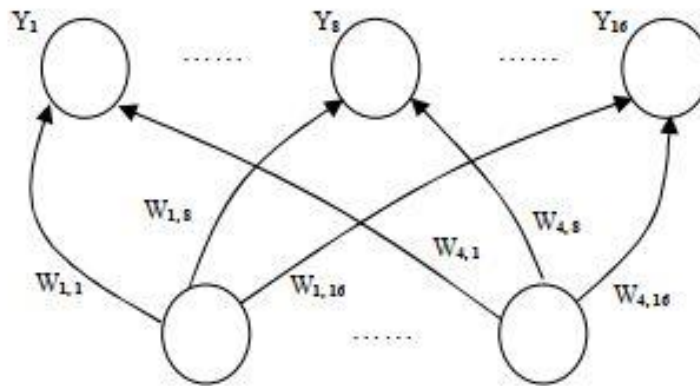


ron 4 đầu vào, 16 đầu ra, nếu các nút có mức năng lượng quy định và không có khả năng thu thập năng lượng nó phải gửi bản tin đến cho BS để xác nhận nút chết. Kết quả so sánh đã chỉ ra rằng đề xuất làm tăng tuổi thọ mạng so với LEACH truyền thống. Các giai đoạn được phân bổ như sau.

Trong quá trình khởi tạo, trạm gốc tính toán các tham số quan trọng của mạng và thu thập thông tin ngữ cảnh mạng (NC). Trong suốt pha thiết lập trạm gốc sẽ lựa chọn những nút chủ cụm tối ưu  $K_{opt}$  dựa trên bốn tham số sau.

- Năng lượng dư của nút bao gồm những nút có năng lượng dư cao nhất.
- Tính trung tâm để xác định những nút gần BS hoặc xa để phân bổ năng lượng hợp lý.
- Mật độ nút trong một vùng diện tích.
- Tần số nút trở thành nút CH.

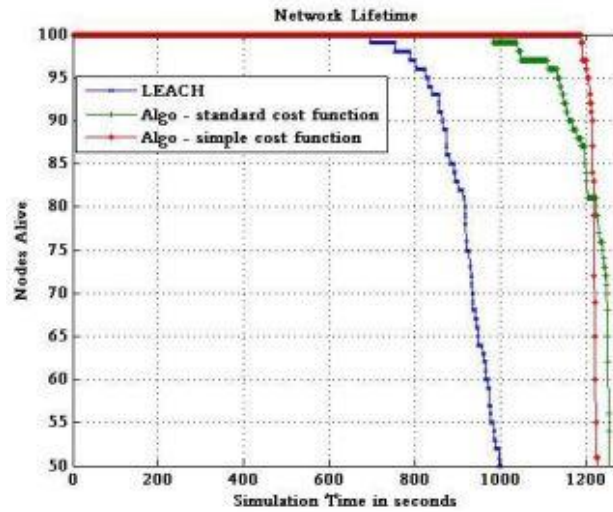
Với 4 đầu vào mạng SOM sẽ đưa ra 16 đầu ra tương ứng với 16 mức ưu tiên khác nhau được thể hiện trong hình 2.12.



**Hình 2.12: Sơ đồ mạng nơ-ron SOM**

Sau khi có các mức ưu tiên nút BS phân bổ cho các nút cảm biến để thực hiện bình bầu chủ cụm. Kết quả của đề xuất này được so sánh với LEACH và đã cho một hiệu quả rõ rệt như được thể hiện trong hình 2.13. Thời gian sống của mạng đã tăng lên đáng kể khi áp dụng mô hình đề xuất SOM. Với khả năng duy trì sự sống của các nút cảm biến hiệu năng của mạng sẽ được tăng lên. Bên cạnh đó phương pháp này lại có nhược điểm khi tốc độ nút chết cao hơn do sự phân bổ năng lượng liên tục trong các nút chưa đồng đều. Một phần đến

từ các yếu tố đầu vào chưa được chính xác và độ ưu tiên để quyết định nút làm chủ cụm là như nhau và chưa có sự vượt trội.



Hình 2.13: So sánh thời gian sống của mạng giữa LEACH và SOM

## 2.5 Kết luận chương

Vấn đề phân cụm trong mạng cảm biến không dây là một vấn đề quan trọng do sự ảnh hưởng tới hiệu năng toàn mạng. Trong chương 2 đã trình bày các đặc tính cơ bản của quá trình phân cụm và nêu rõ những thách thức cần phải vượt qua. Một số giao thức phân cụm gần đây hướng vào mục tiêu kéo dài thời gian sống của mạng đã được trình bày theo góc độ nguyên lý, kiến trúc và mô hình hoạt động. Bên cạnh các tính toán chính xác, một số tiếp cận gần đúng đã được đề xuất và hứa hẹn khả năng cải thiện hiệu năng phân cụm dưới góc độ giảm độ phức tạp và kéo dài thời gian sống. Các vấn đề này là tiền đề cho đề xuất phân cụm không đều trong chương 3 tiếp theo.

## CHƯƠNG 3: GIẢI PHÁP PHÂN CỤM CẢI THIẾN HIỆU NĂNG WSN DỰA TRÊN LOGIC MỜ

### 3.1 Tóm lược hoạt động bầu chủ cụm của LEACH

Hoạt động của LEACH bao gồm rất nhiều vòng (round), mỗi vòng được bắt đầu ở giai đoạn thiết lập, tiếp theo đó là trạng thái ổn định, khi dữ liệu được truyền tới trạm gốc.

Pha thiết lập (Setup Phase): Trong giai đoạn này, việc chọn ra cụm chủ, thiết lập cụm và phân công lịch trình TDMA của nút chủ cụm cho các nút thành viên được thực hiện. Trong quá trình chọn nút chủ cụm, mỗi nút tham gia vào việc lựa chọn này bằng cách tạo ngẫu nhiên một giá trị bất kỳ trong khoảng 0 tới 1. Nếu giá trị ngẫu nhiên này thấp hơn một giá trị ngưỡng cho trước  $T(n)$  thì nút này sẽ thành nút chủ cụm cho vòng này. Giá trị  $T(n)$  được tính như sau:

$$T(n) = \begin{cases} \frac{P}{1 - P * (r \bmod \frac{1}{P})} & \text{if } n \in G \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.1)$$

Trong đó  $P$  là tỉ lệ số cụm trong mạng (ví dụ  $P = 0.03$ ),  $r$  là số vòng hiện tại và  $G$  là tập hợp các nút chưa được bầu làm chủ cụm trong  $\frac{1}{P}$  vòng. Sử dụng ngưỡng này, mỗi nút sẽ lần lượt được bầu làm nút chủ cụm trong  $\frac{1}{P}$  vòng. Trước vòng đầu tiên, ( $r = 0$ ), mỗi nút có cùng một xác suất được bầu là  $P$ . Những nút được bầu ở vòng đầu tiên sẽ không thể làm cụm chủ trong  $\frac{1}{P}$  vòng tiếp theo. Vậy nên xác suất được bầu của các nút còn lại sẽ tăng dần theo từng vòng. Sau  $(\frac{1}{P} - 1)$  vòng,  $T = 1$  đối với những nút chưa được bầu, và sau  $\frac{1}{P}$  vòng thì quá trình bầu chọn lại lặp lại. Mỗi nút khi tự bầu chọn mình thành cụm chủ sẽ gửi một bản tin quảng bá (advertisement message) cho các nút còn lại. Những nút thường còn lại sẽ liên tục lắng nghe những tin quảng bá để quyết định sẽ gia nhập cụm nào và lựa chọn ai là cụm chủ của mình. Quyết định này sẽ dựa trên công suất nhận được từ bản tin quảng bá. Giả sử kênh truyền là đối xứng, bản tin có công suất lớn nhất đến một nút sẽ tới từ CH gần nó nhất. Sau bước này, các nút phải thông báo cho nút cụm chủ của nó rằng nó sẽ trở thành thành viên của cụm. Mỗi nút gửi phản hồi lại cho cụm chủ thông qua giao thức CSMA MAC. Tại giai đoạn cuối của pha này, các cụm chủ ở trạng thái chờ nhận.

Pha trạng thái ổn định (steady-state phase): Dựa trên số thành viên trong cụm, các chủ cụm sẽ lập lịch bằng TDMA cho các phiên truyền dẫn của các nút thành viên. Thông tin điều khiển cho lập lịch sẽ được quảng bá trong nội bộ cụm. Sau đó các nút gửi liên tục dữ liệu theo khe thời gian của mình tới chủ cụm. Hệ thống vô tuyến của các nút thường có thể được tắt cho đến khi tới lượt truyền của nó, điều này giúp tối thiểu năng lượng mất mát. CH khi gom dữ liệu từ các nút khác, sẽ tiến hành xử lý nén dữ liệu thành một tín hiệu đơn. Cuối cùng tín hiệu tổng hợp được truyền tới trạm gốc, đây cũng là bước tiêu tốn nhiều năng lượng nhất. Sau một khoảng thời gian nhất định, cấu hình phân cụm lại tự thay đổi, đảm bảo sự cân bằng tải và hiệu quả năng lượng giữa các nút.

### Ưu nhược điểm của LEACH

Giao thức LEACH có một số ưu điểm sau:

- Việc sử dụng LEACH giúp giảm bớt các kết nối giữa các nút cảm biến và trạm gốc, từ đó giúp nâng cao thời gian sống của mạng.
- Bằng việc sử dụng kỹ thuật tổng hợp dữ liệu, nút chủ cụm giảm bớt dữ liệu tương quan một cách cục bộ, điều này sẽ giúp giảm một lượng lớn năng lượng tiêu hao.
- Việc nút chủ cụm phân bố lịch trình TDMA cho các nút thành viên giúp cho các nút này chuyển sang chế độ ngủ, Điều này giúp tránh việc xung đột giữa các nút trong cụm và tăng thời gian sống cho các nút cảm biến.
- Giao thức LEACH giúp cho các nút có cơ hội như nhau trong việc trở thành nút chủ cụm ít nhất một lần và trở thành nút thành viên liên tục trong thời gian sống của mạng. Việc quay vòng nút chủ cụm một cách ngẫu nhiên giúp tăng tuổi thọ của mạng.

Giao thức LEACH có một số nhược điểm sau

- Trong mỗi vòng, nút chủ cụm được chọn một cách ngẫu nhiên, khả năng này là như nhau với tất cả các nút. Sau khi hoàn thành vài vòng, thì khả năng được bầu làm nút chủ cụm của nút có nhiều năng lượng cũng như là nút có ít năng lượng vẫn là như nhau. Điều này dẫn đến việc, nếu nút ít năng lượng được chọn là nút chủ cụm thì nút sẽ chết nhanh hơn. Do đó sẽ ảnh hưởng đến chất lượng của mạng và thời gian sống của mạng sẽ bị giảm sút.

- LEACH không đảm bảo vị trí và số lượng của các nút chủ cụm trong mỗi vòng. Việc tạo thành các cụm trong LEACH là ngẫu nhiên, dẫn đến việc phân bố không đồng đều của các cụm trong mạng. Thêm vào đó, trong nhiều cụm, vị trí của CH có thể ở trung tâm nhưng cũng có thể ở phía rìa của cụm, vì thế kết nối trong cụm ở các kịch bản này sẽ bị tiêu hao nhiều hơn và làm giảm hiệu suất chung của mạng.
- Giao thức LEACH sử dụng kết nối đơn bước (single hop) giữa CH và trạm gốc. Khi những nút cụm chủ được đặt ở vị trí cố định, nút nào ở xa so với BS sẽ tiêu tốn nhiều năng lượng hơn so với nút ở gần BS. Điều này dẫn đến việc tiêu tán năng lượng không đồng đều giữa các nút và làm giảm thời gian sống của mạng.

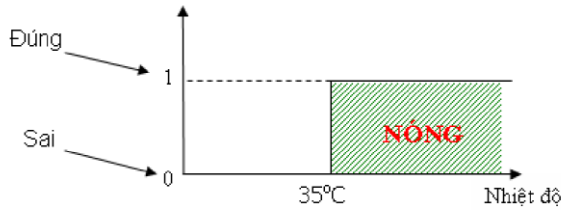
### 3.2 Các vấn đề cơ bản của logic mờ

Trong thế giới quanh ta, thông tin mờ luôn tồn tại trong cách diễn đạt, suy luận của con người. Có thể thấy ví dụ những khái niệm như “nhanh”, “khá nhanh”, “rất nhanh”, “chậm”, “rất chậm”, ... chúng chứa đựng những thông tin, khái niệm có ngữ nghĩa không chính xác, không chắc chắn mà chỉ mang tính định tính. Tuy nhiên nó vẫn có vai trò quan trọng trong hoạt động nhận thức, tư duy, trao đổi thông tin và suy luận của con người. Những khái niệm chứa đựng thông tin không chính xác, không chắc chắn đó gọi chung là các khái niệm “mờ”. Các câu phát biểu quy luật nào đó chứa đựng những khái niệm mờ gọi là các mệnh đề mờ. Hệ logic như là cơ sở toán học của các phương pháp suy luận trên các mệnh đề mờ được gọi là logic mờ. Khái niệm về logic mờ được giáo sư L.A Zadeh đề xuất lần đầu vào năm 1965 tại trường Đại học Berkely – Mỹ. Kể từ đó, lý thuyết về logic mờ đã được nhiều nhà nghiên cứu phát triển và ứng dụng trong nhiều lĩnh vực khác nhau như hệ hỗ trợ quyết định, CSDL mờ, Data mining, và đặc biệt trong lĩnh vực điều khiển.

#### 3.2.1 Một số khái niệm

Logic truyền thống hay logic “chính xác”: Logic truyền thống chỉ quan tâm đến hai giá trị tuyệt đối (đúng hoặc sai). Logic truyền thống luôn tuân theo hai giả thuyết. Một là tính thành viên của tập hợp: Với một phần tử và một tập hợp bất kỳ, thì phần tử hoặc là thuộc tập hợp đó, hoặc thuộc phần bù của tập đó. Giả thiết thứ hai là định luật loại trừ trung gian, khẳng định một phần tử không thể vừa thuộc một tập hợp vừa thuộc phần bù của nó.

Ví dụ, Nếu nhiệt độ trên 35 độ C thì nóng, ngược lại là không nóng. Hình 3.1 bên dưới minh họa tập hợp “NÓNG” gồm tất cả các nhiệt độ từ 35 độ C trở lên và nó không thể hiện được sự khác biệt giữa các thành viên trong cùng một tập hợp.



**Hình 3. 1: Ví dụ về logic truyền thống**

Giữa hai nhiệt độ 45 và 55 độ, logic này không thể hiện được nhiệt độ nào nóng hơn. Ngoài ra, kiểu u logic này có một nhược điểm khác quan trọng hơn đó là chúng không thể biểu diễn được các dữ kiện mang tính mơ hồ, không chính xác mà trong thực tế lại có rất nhiều phát biểu bằng ngôn từ tự nhiên ở dạng này, chẳng hạn như:

- Hùng thì khá cao => như vậy John có thuộc tập hợp những người cao hay không?
- Hoặc: Hùng thì rất cao => như thế nào là rất cao?

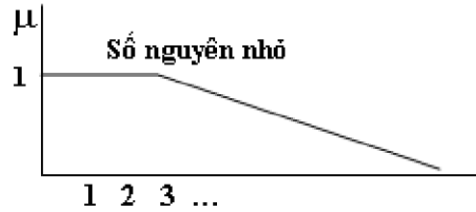
Vì vậy, logic truyền thống không thể hỗ trợ cho những suy luận trên những thông tin mang tính mơ hồ, thiếu chính xác như vậy. Để khắc phục điểm yếu của logic truyền thống, Lotfi Zadeh đã đưa ra lý thuyết mới về logic gọi là *logic mờ* (fuzzy logic). Lý thuyết của Zadeh biểu diễn tính mờ hay tính thiếu chính xác trong các phát biểu theo cách định lượng bằng cách đưa ra một hàm *tư cách thành viên* (set membership function) nhận giá trị thực giữa 0 và 1.

Tập mờ (fuzzy set) và hàm thành viên (membership function) biểu diễn như sau:

Cho  $S$  là một tập hợp và  $x$  là một phần tử của tập hợp đó. Một tập con mờ  $F$  của  $S$  được định nghĩa bởi một *hàm thành viên*  $\mu_F(x)$  đo “mức độ” mà theo đó  $x$  thuộc về tập  $F$ . Trong đó,  $0 \leq \mu_F(x) \leq 1$ .

- Khi  $\mu_F(x) = 0$  nghĩa là  $x$  hoàn toàn không thuộc tập  $F$ .
- Khi  $\mu_F(x) = 1$  nghĩa là  $x$  thuộc  $F$  hoàn toàn.
- Nếu  $\mu_F(x) = 0$  hoặc 1 thì tập  $F$  được xem là “giòn”.

Ví dụ.  $S$  là tập hợp tất cả các số nguyên dương và  $F$  là tập con mờ của  $S$  được gọi là “số nguyên nhỏ”. Trong đó:  $\mu_F(1) = 1.0$ ,  $\mu_F(2) = 1.0$ ,  $\mu_F(3) = 0.9$ ,  $\mu_F(4) = 0.8$ ,...  $\mu_F(50) = 0.001$ , v.v... được biểu diễn như trong hình 3.2.

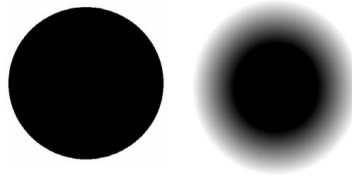


**Hình 3. 2: Biểu diễn tập mờ của các số nguyên nhỏ**

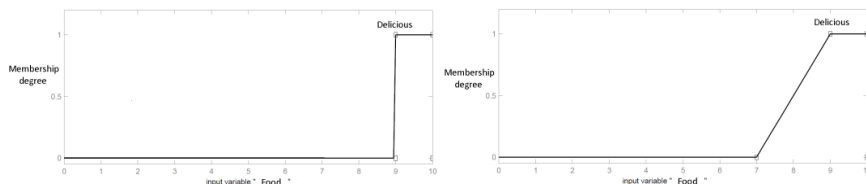
*Định nghĩa về ánh xạ mờ:* Cho tập hợp  $X$ . Một tập con mờ  $A$  của  $X$  được đặc trưng bởi một hàm thành viên.  $f^a : X \rightarrow [0,1]$ . (Trên lý thuyết, vẫn tồn tại khả năng giá trị của  $X$  lớn hơn 1, nhưng trong thực tế ta không xét đến).

Hàm thành viên này tương đương với hàm nhận dạng trong tập hợp truyền thống.

Dạng đồ thị của hàm thành viên được chọn tùy ý dựa trên kinh nghiệm hoặc bằng các nghiên cứu thống kê: sigmoid, hyperbolic, tiếp tuyến, hàm mũ, hàm Gauss hoặc bất kỳ dạng này đều có thể được sử dụng. Hình 3.3 chỉ ra sự khác nhau giữa một tập hợp thường và một tập mờ tương ứng với tập con. Hình 3.4 so sánh hai hàm thành viên tương ứng với tập con trên.



**Hình 3.3: Biểu diễn đồ thị của một tập thường và một tập mờ**



**Hình 3.4: So sánh giữa một hàm đồng nhất của tập thường và tập mờ**

### 3.2.2 Tính chất của tập mờ

- Hai tập mờ bằng nhau:  $A = B$  nếu  $\forall x \in X, \mu A(x) = \mu B(x)$
- Tập con:  $A \subset B$  nếu  $\forall x \in X, \mu A(x) < \mu B(x)$
- Một phần tử có thể thuộc về nhiều hơn một tập mờ.
- Tổng các giá trị mờ của một phần tử khác 1:  $\mu \text{Thấp}(x) + \mu \text{Trung bình}(x) + \mu \text{Cao}(x) \neq 1$
- Từ hàm thành viên cho trước, ta có thể suy ra được mức độ một thành viên thuộc về một tập hợp, hay có thể xác định được giá trị mờ của nó đối với một tập mờ.

### 3.2.3 Lý luận trong tập mờ

Trong logic cổ điển, quan hệ giữa các tham số có dạng:

$$\begin{cases} \text{If } p \text{ then } q \\ p \text{ true then } q \text{ true} \end{cases}$$

Trong tập mờ, lý luận mờ hay lý luận ước lượng, dựa trên những “luật mờ” được phát biểu ở dạng ngôn ngữ tự nhiên, thể hiện sự phụ thuộc nhân quả giữa các biến. Một luật mờ có dạng: “Nếu  $x \in A$  và  $y \in B$  thì  $z \in C$ , với  $A, B$  và  $C$  là các tập mờ.”

Ví dụ: ‘Nếu (“chất lượng đồ ăn” là “ngon”), thì (“đánh giá” là “cao”)’.

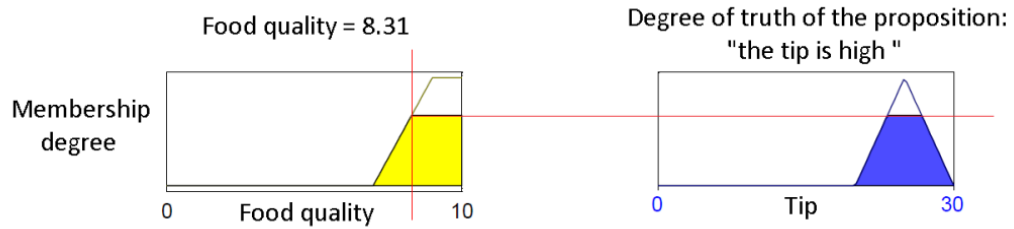
Để xác định được quan hệ giữa 2 biến *chất lượng đồ ăn* và *đánh giá* như trên, ta cần xây dựng nên những quy tắc hay còn gọi là quan hệ mờ. Không có định nghĩa nào cho những quan hệ mờ, người thiết kế hệ thống mờ phải tự lựa chọn từ những mô hình quan hệ mờ có sẵn hoặc tự xây dựng. Dưới đây là định nghĩa của hai quan hệ mờ thường được sử dụng nhất:

**Bảng 3.1: Các quan hệ mờ thường dùng**

Tên	Giá trị thực
Mamdani	$\max(f_a(x), f_b(x))$
Larsen	$f_a(x) \times f_b(x)$

Giả sử ta chọn quan hệ của Mamdani, ta có được luật mờ như sau ‘Nếu (*chất lượng đồ ăn* là *ngon*), thì (*đánh giá* là *cao*)’ với đồ ăn đạt mức 8.31 trên 10.





**Hình 3.5: Ví dụ của quan hệ mờ**

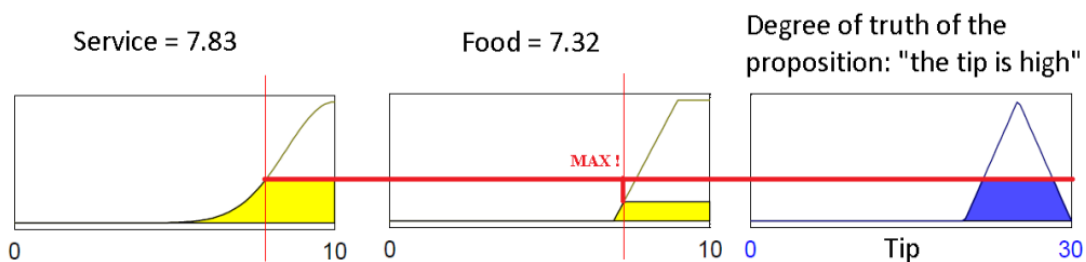
Kết quả của ứng dụng sử dụng tập mờ sẽ phụ thuộc vào 3 yếu tố:

- Quan hệ mờ nào được chọn.
- Định nghĩa hàm thành viên của các tập con.
- Mức độ chính xác của các luật mờ (hay tiên đề) “if-then” được đưa ra.

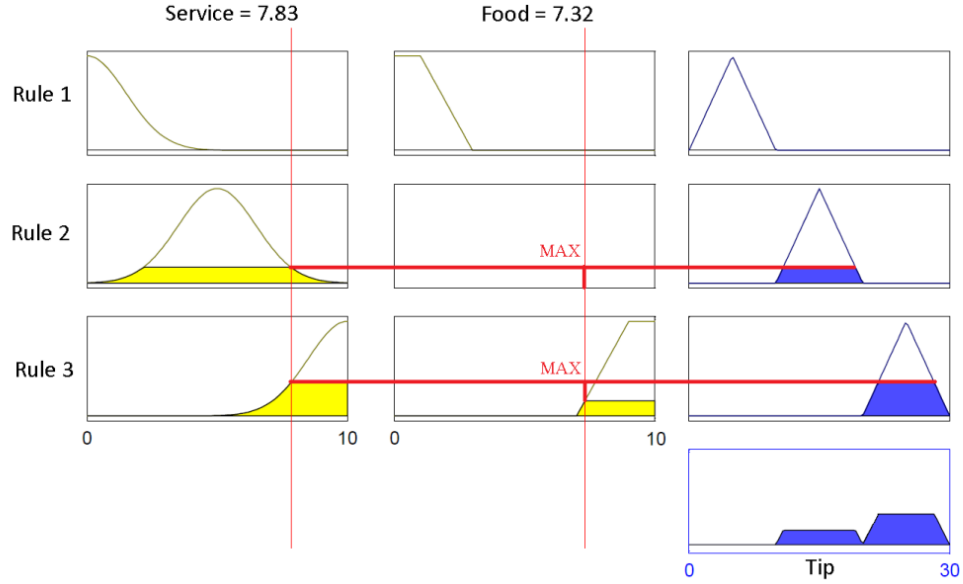
Với hệ thống mờ có nhiều đầu vào, dạng của luật mờ thường là sự kết hợp của các toán tử AND, OR và NOT. Đây là ví dụ về ma trận quyết định (decision matrix) của chúng ta:

- Nếu dịch vụ là kém và đồ ăn là tệ thì đánh giá là thấp
- Nếu dịch vụ là tốt thì đánh giá là trung bình
- Nếu dịch vụ là rất tốt hoặc đồ ăn là ngon thì đánh giá là cao

Trong hình 3.6, với *dịch vụ* đạt 7.83 trên 10 và *đồ ăn* đạt 7.32 trên 10, áp dụng quan hệ Mamdani, ta xác định được giá trị của tham số đầu ra *đánh giá* là *cao* dựa trên toán tử OR và MAX



**Hình 3.6: Ví dụ về quan hệ mờ hai biến đầu vào**



**Hình 3.7: Ví dụ về quan hệ mờ sử dụng ma trận quyết định**

Áp dụng cả ba luật trong ma trận quyết định (Hình 3.6). Chúng ta sẽ có 3 tập con mờ của biến đầu ra đánh giá, giá trị của biến trong mỗi tập con mờ được xác định bằng toán tử MAX của các biến đầu vào.

Từ kết quả có được trong đồ thị cuối hình 3.7, ta cần phải đưa ra quyết định cuối cùng về biến *đánh giá* (thấp, trung bình hay cao) khi biết các giá trị đầu vào *dịch vụ* là 7.83, *đồ ăn* là 7.21. Bước cuối này được gọi là *khử tính mờ* (*defuzzification*), quá trình này cho phép chuyển đổi từ tập mờ tính được từ cách gộp các kết quả sang một quyết định cuối cùng.

Người thiết kế hệ thống mờ phải chọn một phương pháp tối ưu để *khử mờ*. Hai phương pháp khử mờ truyền thống là phương pháp cực đại (MeOM) và phương pháp điểm trọng tâm (COG). Phép khử mờ MeOM tính tham số đầu ra (biến *đánh giá*) là trung bình của đường ngang cao nhất trong đồ thị. Cụ thể trong hình 3.7, giá trị quyết định đầu ra là trung bình của đáy trên của hình thang thứ 2. Ta có công thức như sau:

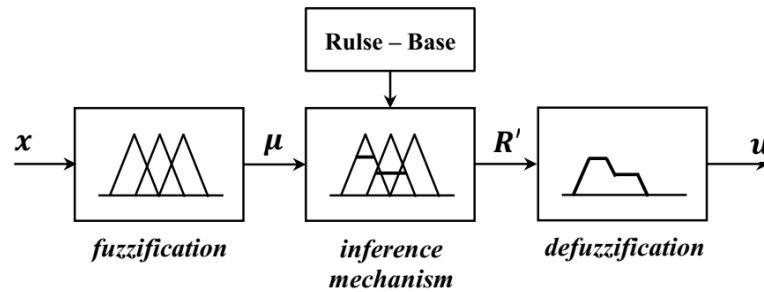
$$Decision = \frac{\int_S y \times dy}{\int_S dy} \quad (3.2)$$

Với  $S = \{y_m \in R, \mu(y_m) = \sup_{y \in R} (\mu(y))\}$  và R là tập mờ *đánh giá* có được từ tổng hợp kết quả của các quan hệ mờ.

Phương pháp khử mờ COG được sử dụng rộng rãi hơn. Kết quả quyết định được định nghĩa là trọng tâm của mặt phẳng tạo bởi đồ thị hàm thành viên đặc trưng cho tập mờ của biến đầu ra. Ta có công thức như sau:

$$Decision = \frac{\int_S y \times \mu(u) \times dy}{\int_S \mu(u) \times dy} \quad (3.3)$$

### 3.2.4 Sơ đồ tổng quan hệ thống suy luận mờ



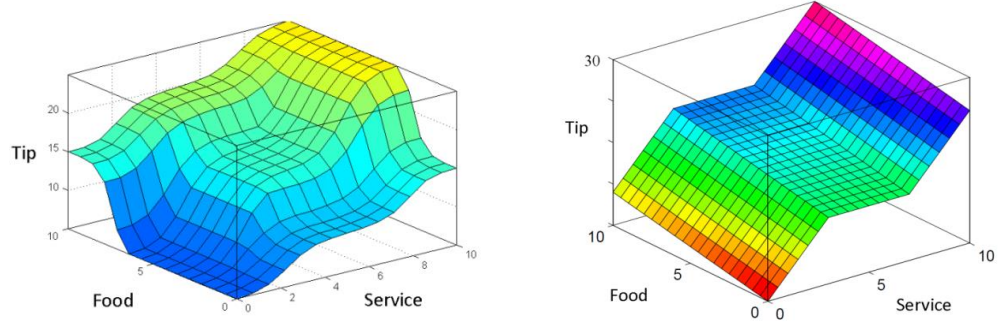
**Hình 3.8:** Sơ đồ cấu trúc của hệ thống suy luận mờ

Sơ đồ tổng quan hệ thống suy luận mờ trên hình 3.8 gồm các thành phần sau:

- Input: Đầu vào là các biến rõ trong khoảng xác định.
- Fuzzification (Bộ phận mờ hoá): Từ giá trị đầu vào rõ  $[x_{oi}]$  của bộ điều khiển, bộ phận mờ hoá sẽ tính toán các độ thỏa mãn để được vector  $[\mu_i^*]$  có số phần tử bằng số tập mờ của các biến đầu vào. Tín hiệu đầu vào thường bao gồm tín hiệu điều khiển chủ đạo, tín hiệu trạng thái của hệ thống, tín hiệu phản hồi từ đầu ra, ...
- Rule – base: Cơ sở tri thức gồm các luật có cấu trúc “If ... then ...” với các mệnh đề ngôn ngữ mô tả mối quan hệ giữa các biến vào – ra.
- Inference mechanism: Bộ suy diễn dựa trên hệ luật được thực hiện theo quy tắc hợp thành nào đó. Đó chính là sự triển khai luật hợp thành  $R'$  được xây dựng trên cơ sở hệ luật điều khiển.
- Defuzzification (Bộ phận giải mờ): Từ tập mờ đầu ra  $R'$ , bộ phận giải mờ tính toán được giá trị  $\mu_0$  là giá trị đầu ra (giá trị điều khiển) ứng với mỗi giá trị rõ  $x_0$  để điều khiển đối tượng.

Thể hiện trên kết quả trên đồ thị 3.9, kết quả quyết định dựa trên hệ thống suy luận mờ mang những tính chất: Liên tục, linh hoạt và phi tuyến...tiệm cận với hành vi của con người

hơn so với hệ thống suy luận cổ điển. Mặc dù phỏng đoán là không vững chắc, nhưng nó thường đóng vai trò thiết yếu trong giải quyết vấn đề về đưa ra quyết định. Logic mờ được ứng dụng rộng rãi trong các mô hình quyết định của các hệ thống máy tính không chuyên (non-expert computer system).



**Hình 3.9: Quyết định dựa trên hệ thống suy luận mờ so với suy luận truyền thống**

### 3.3 Ứng dụng hệ thống suy luận mờ trong phân cụm

#### 3.3.1 Các giả thiết và kiến trúc mạng WSN

Ta giả sử mạng gồm tập hợp các nút đồng nhất được triển khai một cách ngẫu nhiên trong một khu vực định sẵn. Các nút được triển khai là cố định và có thể tham gia vào chỉ một cụm, tương ứng với một CH trong phạm vi truyền thông. Trạm gốc thường được cung cấp năng lượng đủ lớn để có thể nhận dữ liệu từ các CH nên ta không cần xét đến năng lượng của BS trong thuật toán này.

Năng lượng sử dụng trong mạng dựa trên các tham số như khoảng cách giữa các nút, không gian tự do( $f_s$ ) và kênh đa đường( $m_p$ ). Năng lượng tiêu hao trong quá trình truyền phát dữ liệu của  $l$  bits giữa nút  $S_i, S_j$  với khoảng cách  $Dist_{(i,j)}$  được cho bởi công thức:

$$E_{tx}(S_i, S_j) = \begin{cases} (E_{elec} + \epsilon_{f_s} Dist_{(i,j)}^2) \times l, & \text{if } Dist_{(i,j)} < d_0 \\ (E_{elec} + \epsilon_{m_p} Dist_{(i,j)}^4) \times l, & \text{otherwise} \end{cases} \quad (3.3)$$

Trong đó,  $E_{elec}$  là năng lượng cần thiết cho việc truyền nhận 1-bit dữ liệu,  $\epsilon_{f_s}$  và  $\epsilon_{m_p}$  lần lượt là năng lượng khuếch đại trong không gian tự do và trong mô hình đa đường.

Năng lượng tiêu hao trong việc nhận  $l$  bit được cho bởi công thức:

$$E_{tx}(S_i, S_j) = E_{elec} \times l \quad (3.4)$$

Sau khi triển khai các nút cảm biến trong một khu vực cụ thể, ta áp dụng thuật toán này theo những giai đoạn sau: Chia sẻ thông tin, Thiết lập cụm, Thiết lập đường trục ảo và định tuyến dữ liệu.

Chia sẻ thông tin: Ban đầu, mỗi nút cảm biến sẽ có một giá trị vị trí  $(X_i, Y_i)$  trong mạng sau khi được triển khai ngẫu nhiên. Sau đó BS gửi bản tin *NETWORK\_SETUP* bao gồm ID và vị trí của trạm gốc tới tất cả các nút trong mạng. Sau đó, mỗi nút  $S_i$  gửi bản tin *NÚT\_DETAIL* trong phạm vi cho phép lớn nhất có thể của cụm Rmax để thông báo sự tồn tại của nó. Bản tin này bao gồm ID, năng lượng hiện tại, vị trí và khoảng cách đến BS của mỗi nút. Nếu nút  $S_j$  nhận được tin nhắn này thì nó sẽ bổ sung thêm nút  $S_i$  vào tập nút lân cận của nó. Do vậy, sau khi quá trình chia sẻ thông tin hoàn tất, mỗi nút sẽ nhận biết được khoảng cách đến BS, tập nút lân cận và các thông tin cơ bản của từng nút. Những thông tin này sẽ cần thiết trong giai đoạn tạo cụm và định tuyến dữ liệu sau này. Lưu ý rằng một nút chỉ có thể lưu trữ các thông tin cục bộ về các nút lân cận của nó, không phải toàn bộ mạng.

Thiết lập cụm: Trong giai đoạn này, chúng ta sẽ đề xuất một thuật toán phân cụm không đồng đều dựa trên suy luận mờ (Fuzzy logic). Thuật toán này sẽ chỉ sử dụng các thông tin cục bộ trong 1 cụm để đưa ra quyết định trong việc lựa chọn CH thích hợp và bán kính tương ứng. Suy luận mờ thường được áp dụng để đối phó với các yếu tố không chắc chắn khác nhau trong một hệ thống. Từ ý tưởng đó, có thể thấy được rằng việc thiết lập cụm sao cho hiệu quả sẽ phụ thuộc vào sự lặp lại của nhiều tham số như năng lượng dư, khoảng cách đến trạm gốc, và mật độ nút lân cận. Do vậy suy luận mờ thích hợp cho việc giải quyết bài toán phân cụm trong mạng WSNs vì nó có thể kết hợp các tham số khác nhau để đối phó với sự không chắc chắn vốn có trong WSN một cách hiệu quả và mang lại kết quả như mong muốn.

Trong việc lựa chọn CH, những nút cảm biến có năng lượng lớn thì phù hợp làm nút chủ cụm hơn so với các nút khác. Xem xét đến vấn đề “điểm nóng”, một mạng WSNs nên có nhiều CHs gần với trạm gốc, vì thế thuật toán này sử dụng tham số mức năng lượng của một nút và khoảng cách của nút đó đến BS như là các tham số đầu vào của hệ thống fuzzy trong việc lựa chọn CH. Mặt khác, để tính bán kính của từng cụm, ta sử dụng bốn tham số sau: Mức năng lượng, khoảng cách đến BS, mật độ các nút lân cận và chi phí lân cận.

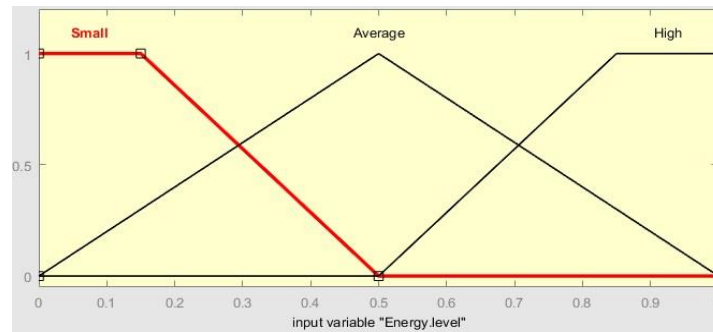
Đặc điểm của các tham số:

- Mức năng lượng(Energy level): Tham số này biểu thị cho tỷ lệ giữa năng lượng còn dư với mức năng lượng ban đầu của nút đó. Xem xét đến khối lượng công việc của CH, những nút có năng lượng cao thì có nhiều khả năng để thành nút CH. Xa hơn, khi năng lượng suy giảm theo thời gian, bán kính của mỗi cụm nên được thay đổi để tránh suy giảm năng lượng.
- Khoảng cách đến trạm gốc(Distance to BS): Tham số này được tính bằng khoảng cách giữa một nút  $S_i$  bất kì và BS, kí hiệu là  $Dist_{BS}(S_i)$ . Việc có nhiều CHs gần BS với bán kính nhỏ sẽ giúp ta tránh khỏi vấn đề điểm nóng.
- Mật độ các nút lân cận(Neighbor density): Tham số này là tỷ lệ giữa số lượng nút lân cận xung quang  $S_i$  trong phạm vi  $R_{max}$  trên tổng số nút trong mạng, kí hiệu là  $Neigh_{Density}(S_i) = \frac{Neighbor(S_i)}{N}$ . Xem xét đến việc triển khai ngẫu nhiên các nút cảm biến, có thể tồn tại trường hợp mặc dù một cụm của CH gần BS có bán kính nhỏ nhưng có thể có nhiều nút thành viên hơn các cụm có CH nằm cách xa BS dù cho bán kính lớn. Điều này có thể làm giảm đáng kể hiệu năng mà việc phân cụm không đồng đều đem lại. Vì vậy việc xem xét tham số này trong việc tính bán kính cụm là cần thiết.
- Chi phí lân cận(Neighbor cost): Tham số này biểu thị cho chi phí truyền thông giữa các nút lân cận. Khi bán kính cụm tăng, chi phí truyền thông trong từng cụm cũng sẽ tăng. Vì năng lượng tiêu tán trong truyền dữ liệu tỷ lệ thuận với bình phương khoảng cách giữa phía phát và phía thu, vì vậy chi phí của các nút lân cận của nút  $S_i$  để kết nối với  $S_i$  được đưa ra bằng:

$$Neigh_{cost}(S_i) = \frac{\sqrt{\frac{\sum_{j \in Neighbor(S_i)} Dist(S_i, S_j)^2}{|Neighbor(S_i)|}}}{R_{max}}. \quad (3.5)$$

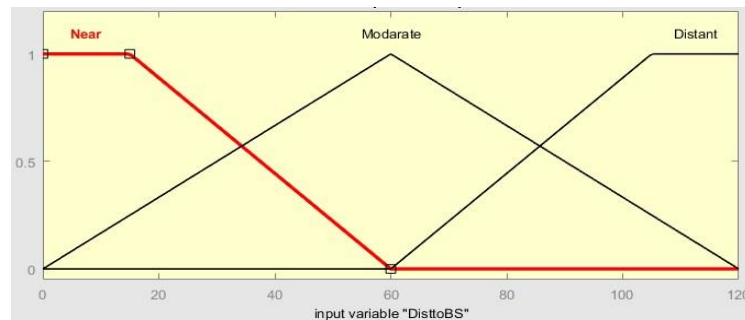
### 3.3.2 Suy luận khả năng nút được lựa chọn vào tập nút chủ cụm

Để xác định mức độ quan trọng của node cảm biến trong mối quan hệ với nút trạm trung tâm, ta sử dụng biến mức năng lượng còn dư của nút và khoảng cách tới BS. Ta gọi biến đầu ra fuzzy fitness1 biểu diễn cho mối quan hệ này.



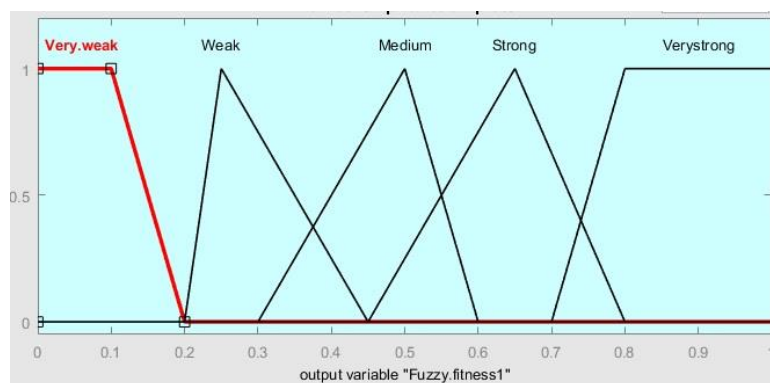
**Hình 3.10: Biến đầu vào biểu diễn mức năng lượng dư của nút**

Hình 3.10 biểu diễn tập mờ của biến đầu vào “mức năng lượng”. Hàm thành viên của tham số này có các giá trị là nhỏ, trung bình và cao, với “nhỏ” và “cao” có hàm thành viên dạng hình thang, còn “trung bình” có hàm thành viên hình tam giác.



**Hình 3.11: Biến đầu vào biểu diễn khoảng cách tới BS**

Hình 3.11 biểu diễn tập mờ của biến đầu vào “khoảng cách tới BS”. Hàm thành viên của tham số này có các giá trị là gần, trung bình và xa, với “gần” và “xa” có hàm thành viên dạng hình thang, “trung bình” có hàm thành viên hình tam giác.



**Hình 3.12: Biểu đầu ra của tập mờ (Fuzzy fitness1)**

Hình 3.12 biểu diễn hàm thành viên của biến đầu ra fuzzy fitness1, với các biến ngôn ngữ được sử dụng là “rất yếu”, “yếu”, “bình thường”, “khỏe”, “rất khỏe”. Ta gọi mô hình đầu tiên là mô hình FIS-1.

Các quy tắc ánh xạ *if-then* mờ được sử dụng trong mô hình FIS-1 đưa ra trong Bảng 3.2 dưới đây.

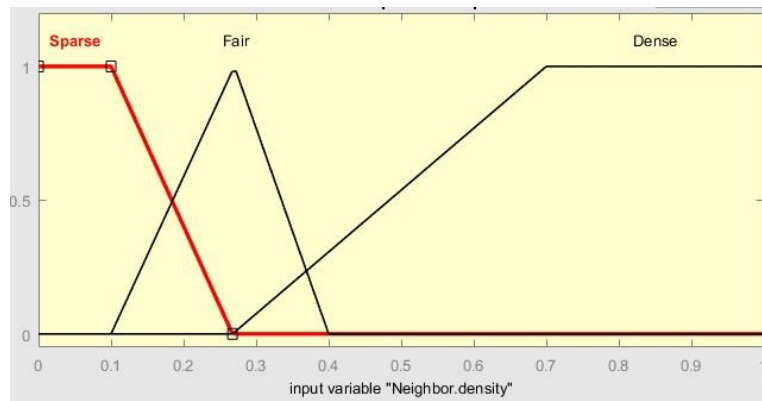
**Bảng 3.2: Các hệ luật của mô hình FIS-1**

Rule	Năng lượng dư	Khoảng cách tới BS	Fuzzy fitness1
1	Nhỏ	Gần	Bình thường
2	Nhỏ	Trung bình	Yếu
3	Nhỏ	Xa	Rất yếu
4	Trung bình	Gần	Khỏe
5	Trung bình	Trung bình	Bình thường
6	Trung bình	Xa	Rất yếu
7	Cao	Gần	Rất khỏe
8	Cao	Trung bình	Khỏe
9	Cao	Xa	Yếu

### 3.3.3 Suy luận khả năng được lựa chọn làm chủ cụm trong miền cục bộ

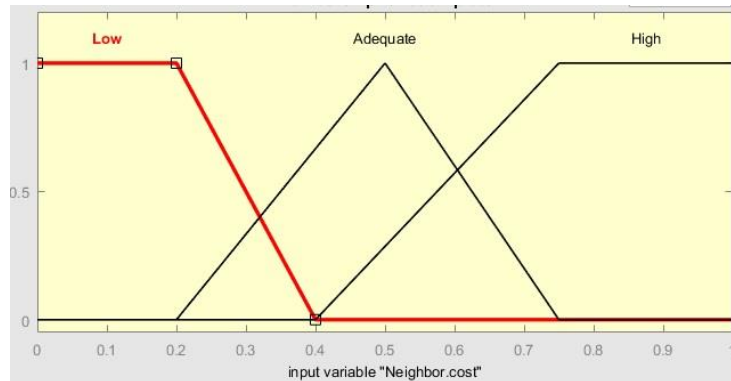
Do khoảng cách truyền thông hữu hạn trong mạng cảm biến không dây, các nhóm cảm biến hình thành các cụm mang tính cục bộ. Trong số các nút có khả năng làm chủ cụm trong cấu hình toàn mạng sẽ được lựa chọn làm chủ cụm cho vùng cục bộ. Khả năng được lựa chọn trong miền cục bộ được xác định qua biến đầu vào là mật độ các nút lân cận và chi phí lân cận. Đầu ra được biểu diễn qua Fuzzy fitness2.





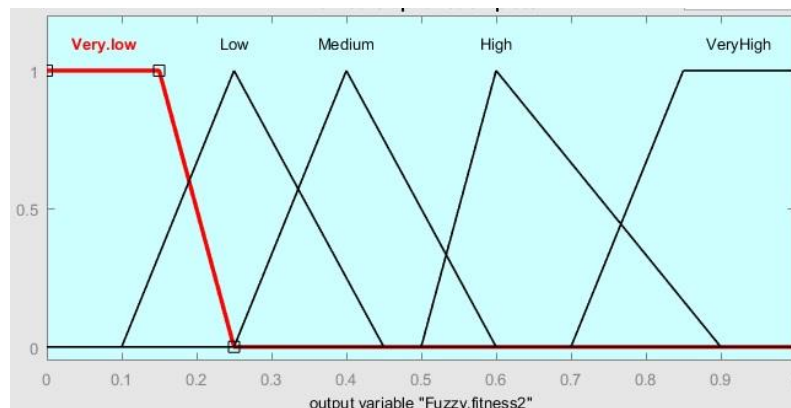
**Hình 3.13: Biến đầu vào của tập mờ biểu diễn mật độ các nút lân cận**

Hình 3.13 biểu diễn tập mờ của biến đầu vào “mật độ các nút lân cận”. Hàm thành viên của tham số này có các giá trị là “thưa”, “cân bằng”, “đông”, với “thưa thớt” và “đông đúc” có hàm thành viên dạng hình thang, “cân bằng” có hàm thành viên dạng hình tam giác.



**Hình 3.14: Biến đầu vào của tập mờ biểu diễn chi phí lân cận**

Hình 3.14 biểu diễn tập mờ của biến đầu vào “chi phí lân cận”. Hàm thành viên của tham số này có các giá trị là “thấp”, “đủ”, “cao”, với “thấp” và “cao” có hàm thành viên dạng hình thang, “đủ” có hàm thành viên dạng hình tam giác.



**Hình 3.15: Biến đầu ra của tập mờ Fuzzy fitness2**

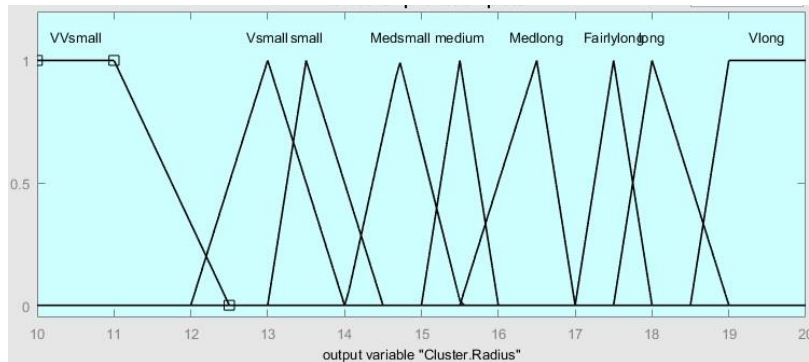
Hình 3.15 biểu diễn hàm thành viên của biến đầu ra fuzzy fitness2, với các biến ngôn ngữ được sử dụng là “rất thấp”, “thấp”, “trung bình”, “cao”, “rất cao”. Các quy tắc ánh xạ if-then mờ được đưa ra ở bảng 3.3.

Rule	Mật độ nút lân cận	Chi phí lân cận	Fuzzy fitness2
1	Thừa	Thấp	Rất cao
2	Thừa	Đủ	Cao
3	Thừa	Cao	Thấp
4	Cân bằng	Thấp	Cao
5	Cân bằng	Đủ	Trung bình
6	Cân bằng	Cao	Thấp
7	Đông	Thấp	Trung bình
8	Đông	Đủ	Thấp
9	Đông	Cao	Rất thấp

Từ đầu ra trên hình 2.12 cho thấy, nếu một nút gần với BS hơn và có năng lượng cao thì nó sẽ có giá trị fuzzy fitness1 lớn và ngược lại. Từ đó có thể thấy rằng giá trị fuzzy fitness1 của nút càng cao, thì nút đó càng có khả năng được chọn là CH. Sau khi tính xong fuzzy fitness1, mỗi nút xuất hiện một độ trễ thời gian  $T_d$  trước khi tự bầu chính nó lên làm CH được xác định như sau:

$$T_d(S_i) = \alpha \times (1 - \text{Fuzzy Fitness1}) \times T_c \quad (3.5)$$

Trong đó,  $\alpha$  là một giá trị ngẫu nhiên chạy trong khoảng  $[0,9 \ 1]$ , được thêm vào nhằm mục đích giảm thiểu tối đa khả năng thời gian trễ của nút là giống nhau, dẫn đến hết hạn cùng một lúc.  $T_c$  là thời gian chờ cho phép lớn nhất để lựa chọn CH. Ngay khi thời gian trễ của một nút hết hạn, nó sẽ được làm CH và tính bán kính thích hợp. Việc tính bán kính của cụm được hiện nhờ vào fuzzy fitness1 và fuzzy fitness2.



**Hình 3.16: Tính toán các bán kính phân cụm**

Các biến ngôn ngữ của các biến đầu vào được thể hiện trong quy các quy tắc ánh xạ if-then mờ trong bảng 3

<b>Fuzzy fitness1</b>	<b>Fuzzy fitness2</b>	<b>Bán kính</b>
Rất khỏe	Rất cao	Dài
Rất khỏe	Cao	Dài vừa
Rất khỏe	Bình thường	Dài vừa
Rất khỏe	Thấp	Trung bình
Rất khỏe	Rất thấp	Trung bình
Khỏe	Rất cao	Nhỏ trung bình
Khỏe	Cao	Nhỏ
Khỏe	Bình thường	Nhỏ
Khỏe	Thấp	Rất nhỏ
Khỏe	Rất thấp	Rất rất nhỏ
Bình thường	Rất cao	Trung bình
Bình thường	Cao	Nhỏ trung bình
Bình thường	Bình thường	Nhỏ trung bình
Bình thường	Thấp	Rất nhỏ
Bình thường	Rất thấp	Rất rất nhỏ
Yếu	Rất cao	Dài
Yếu	Cao	Dài
Yếu	Bình thường	Khá dài
Yếu	Thấp	Dài trung bình
Yếu	Rất thấp	Rất dài
Rất yếu	Rất cao	Khá dài
Rất yếu	Cao	Khá dài
Rất yếu	Bình thường	Rất nhỏ
Rất yếu	Thấp	Dài trung bình
Rất yếu	Rất thấp	Dài trung bình

Sau khi tính được bán kính của từng cụm, CH sẽ gửi một bản tin *CH\_ADVERTISE* bên trong phạm vi bán kính của nó. Bản tin này sẽ bao gồm thông tin của nút CH như năng

lượng còn lại, vị trí, khoảng cách đến BS. Nếu một nút nhận được bản tin này, nó sẽ rút lui khỏi việc ứng cử làm CH và trở thành một nút bình thường. Nếu một nút bình thường nhận được bản tin *CH\_ADVERTISE* từ nhiều CH thì nó sẽ chọn ra một CH trong số đó dựa trên một giá trị chi phí (cost value). Giả sử  $CH\_Cost(S_j, CH_i)$  biểu thị cho chi phí của việc tham gia vào CH thứ  $i$  của node  $S_j$ . Hàm chi phí này được xác định bằng cách xem xét các tham số sau:

- Khoảng cách đến CH từ các nút: Những nút bình thường cần gửi dữ liệu thu thập được đến CH của nó, những nút này sẽ ưu tiên những CH gần nó nhất.
- Khoảng cách giữa CH và BS: CH càng ở xa BS thì sẽ càng tiêu tốn nhiều năng lượng để gửi dữ liệu đến BS so với những CH ở gần BS hơn
- Năng lượng dư của CH: Một nút bình thường ưu tiên chọn nút có nhiều năng lượng còn lại hơn các CH khác.

Từ đó ta thiết lập được mối liên hệ :

$$CH\_Cost(S_j, CH_i) = \frac{Dist(S_j, CH_i) \times Dist_{BS}(CH_i)}{Energy_{res}(CH_i)} \quad (3.6)$$

Nút  $S_j$  sẽ tính toán giá trị chi phí cho mỗi ứng viên CH và sẽ tham gia cùng với CH có giá trị chi phí là nhỏ nhất.

### 3.3.4 Thiết lập tuyến kết nối giữa các CH

Sau giai đoạn phân cụm, ta sử dụng một công thức đơn giản để gán một mức cho mỗi CH trong mạng. Cho rằng  $R_{max}$  là bán kính cụm tối đa, mức ( $L$ ) của CH  $S_i$  được tính như sau:

$$L(S_i) = \left\lceil \frac{Dist_{BS}(S_i)}{R_{max}} \right\rceil \quad (3.7)$$

Để tìm ra chẳng kể tiếp của CH về phía BS, mỗi CH gửi một bản tin điều khiển *FIND* bao gồm id, thông tin cấp độ trong phạm vi khoảng  $R_{max}$ . Nếu CH cấp thấp hơn nhận được tin nhắn đó thì nó sẽ gửi trả bản tin ACK. Nếu không có bản tin ACK được nhận trong một thời gian cụ thể, thì  $S_i$  sẽ tăng  $k$  lên cho đến khi nó nhận được bản tin ACK từ các CH có mức thấp hơn. Nếu không có CH cấp thấp hơn tồn tại cho một nút CH, thì nó sẽ giao tiếp trực tiếp với BS. Theo cách này, các CH tạo thành một đường trục ảo, bắt nguồn từ BS.

Mỗi CH  $S_i$  lựa chọn một thành viên từ nút cha(PN) của nó được đặt làm nút chuyển tiếp  $R(S_i)$  để chuyển các gói tin về phía BS. PN được đặt cho CH  $S_i$  là tập hợp các CH cấp

thấp hơn mà từ đó nó đã nhận được thông báo ACK trong giai đoạn tạo đường trục ảo. Để tiết kiệm năng lượng, thuật toán DFCR xem xét năng lượng cần thiết trong giao tiếp giữa các nút định tuyến.

Để sử dụng hiệu quả năng lượng, thuật toán này xem xét đến năng lượng yêu cầu trong giao tiếp giữa các nút định tuyến. Giả sử  $e_{i,j}$  thể hiện phần năng lượng cần để truyền 1-bit dữ liệu giữa các CH,  $e_r$  là năng lượng cần thiết để nhận 1-bit. Vì vậy, tổng năng lượng tiêu thụ trong việc giao tiếp các gói tin 1 bits:

$$TE_{i,j} = (e_{i,j} + e_r) \times 1 \quad (3.8)$$

Để cân bằng năng lượng, thuật toán này đề cập đến năng lượng của các CH cấp thấp hơn để định tuyến các gói dữ liệu thông qua hàm trọng số  $W_{i,j}$ ,

$$\text{Cost}(S_i, S_j) = TE_{i,j} \times W_{i,j} \quad (3.9)$$

Sử dụng hàm trên, CH  $S_i$  sẽ chọn những ứng viên phù hợp nhất để chuyển tiếp gói tin thông qua rất nhiều ứng viên:

$$R(S_i) = \min \{ \text{Cost}(S_i, S_j) \} \quad \forall S_j \in PN(S_i) \quad (3.10)$$

### 3.3.5 Kết quả đánh giá hiệu năng

Mô hình đánh giá hiệu quả năng lượng của WSNs được xây dựng trên matlab với các thông số cấu hình nút và kịch bản như bảng 3.4 dưới đây.

Tham số	Kịch bản 1
Sensor field	100 m x100 m
Number of nodes	100
BS location	(50,50)
Initial energy	0.5-1 J
$E_{elec}$	$5 \times 10^{-8} J$
$\xi_{fs}$	$10^{-11}$
$\xi_{mp}$	$1.3 \times 10^{-13} J$

$E_{DA}$	$5 \times 10^{-9} J$
<b>Round</b>	1000
<b>Data packet size</b>	500 bytes

### Tính toán đầu ra fuzzy fitness1

Với các mức năng lượng trung bình, hàm mờ ứng dụng là hàm tam giác; Với mức năng lượng cao, hàm thành viên mờ ứng dụng là hàm hình thang. Ví dụ, với năng lượng khởi tạo  $x = 0.9$  thuộc hàm thành viên năng lượng trung bình là:

$$\begin{aligned}
 f(x; a, b, c) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \\
 &= \max \left( \min \left( \frac{0.9-0}{0.5-0}, \frac{1-0.9}{1-0.5} \right), 0 \right) \\
 &= \max(\min(1.8, 0.2), 0) \\
 &= \max(0.2, 0) \\
 &= 0.2
 \end{aligned}$$

với năng lượng khởi tạo  $x = 0.9$  thuộc hàm thành viên năng lượng cao là:

$$\begin{aligned}
 f(x; a, b, c, d) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \\
 &= \max \left( \min \left( \frac{0.9-0.5}{0.85-0.5}, 1, \frac{1-0.9}{1-0.99} \right), 0 \right) \\
 &= \max(\min(1.14, 1, 10), 0) \\
 &= \max(1, 0) \\
 &= 1
 \end{aligned}$$

### Tính toán đầu ra fuzzy fitness2

Với các mức mật độ nút ở mức trung bình, hàm mờ ứng dụng là hàm tam giác; Với mức nút cao, hàm thành viên mờ ứng dụng là hàm hình thang. Ví dụ, với hàm mật độ là 0.42 và cost của nút trong cụm là 0.18 ta có:

$$\begin{aligned}
f(x; a, b, c, d) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \\
&= \max \left( \min \left( \frac{0.42-0.3}{0.7-0.3}, 1, \frac{1-0.42}{1-0.99} \right), 0 \right) \\
&= 0.3
\end{aligned}$$

Và giá của các node lân cận 0.18 là

$$\begin{aligned}
f(x; a, b, c, d) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \\
&= \max \left( \min \left( \frac{0.18-0}{0.2-0}, 1, \frac{0.4-0.18}{0.4-0.2} \right), 0 \right) \\
&= 0.9
\end{aligned}$$

Tính toán đầu ra bán kính cụm

Bán kính cụm đầu ra được tính toán dựa trên hai đầu vào fuzzy fitness1 và fuzzy fitness2.

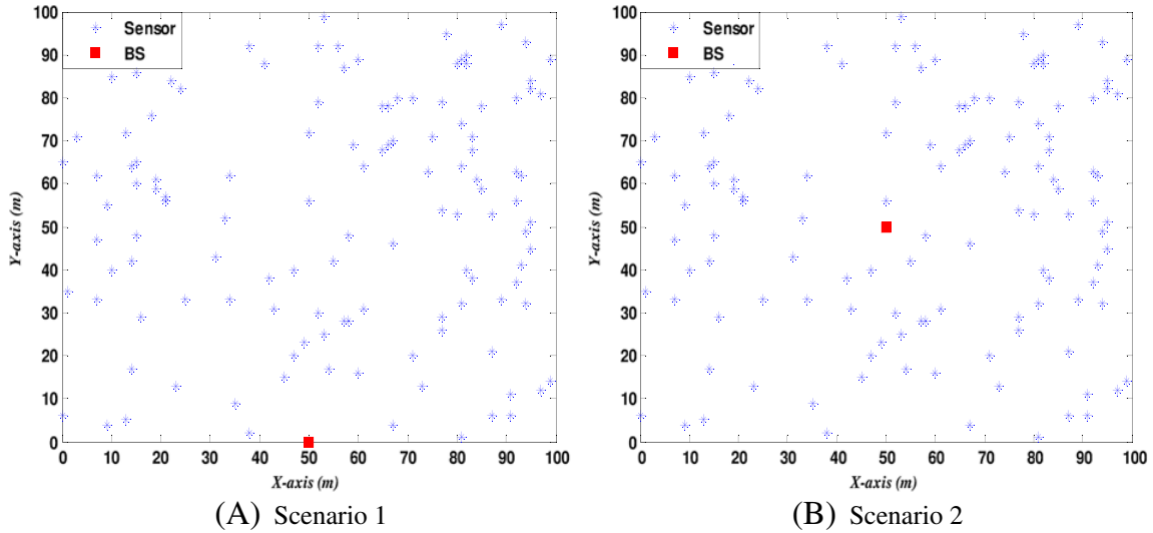
Các giá trị cao của fuzzy fitness1 được tính toán:

$$\begin{aligned}
f(x; a, b, c, d) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, 1, \frac{d-x}{d-c} \right), 0 \right) \\
&= \max \left( \min \left( \frac{0.92-0.3}{0.7-0.3}, 1, \frac{1-0.92}{1-0.99} \right), 0 \right) \\
&= 1
\end{aligned}$$

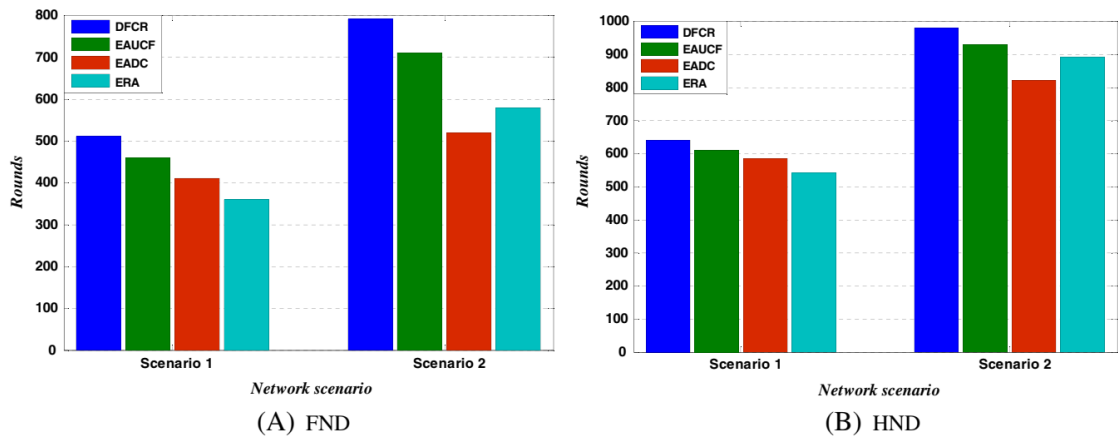
Các giá trị trung bình của fuzzy fitness2 được tính toán:

$$\begin{aligned}
f(x; a, b, c) &= \max \left( \min \left( \frac{x-a}{b-a}, \frac{c-x}{c-b} \right), 0 \right) \\
&= \max \left( \min \left( \frac{0.48-0.25}{0.4-0.25}, \frac{0.6-0.48}{0.6-0.4} \right), 0 \right) \\
&= 0.6
\end{aligned}$$

Hai kịch bản được thiết lập cho hai vị trí của node Sink được trình bày trên hình dưới đây:



**Hình 3.17: Hai kịch bản mô phỏng với hai vị trí BS khác nhau**



**Hình 3.18: Thời gian sống của các giải pháp khác nhau**

Nhằm đánh giá hiệu quả của giải pháp xử lý mờ cho quá trình phân cụm và hoạch định các bán kính cụm không đều, thuật toán phân cụm không đều được so sánh với một số thuật toán cùng loại, cho truyền thông đa bước với cùng các tham số cấu hình. Hình 3.8 cho thấy giải pháp phân cụm không đồng đều đem lại sự cân bằng năng lượng tốt hơn trong cả hai trường hợp.

### 3.4 Kết luận chương

Trong chương 3 đã trình bày các vấn đề nổi bật của luận văn. Từ các đánh giá nhận xét về hoạt động của giao thức LEACH, cơ sở lý thuyết về logic mờ được đưa ra cùng với ví dụ cụ thể. Trong chương trình bày chi tiết về một giải pháp phân cụm không đồng nhất



dựa trên các mô hình mờ. Với giải pháp bán kính không đồng nhất nhằm tránh các lỗ hổng về năng lượng, giải pháp phân cụm đã được mô phỏng kiểm chứng và cho kết quả tốt khi ccaan bằng được lưu lượng tại các vùng gần nút BS với các vùng ở xa.

## KẾT LUẬN

Với mục tiêu đề xuất giải pháp phân cụm không đều nhằm tránh các lỗ hổng năng lượng tại các vùng gần nút trạm cơ sở (SINK), luận văn đã trình bày các vấn đề lý thuyết và kèm với đó là đề xuất phân cụm dựa trên logic mờ được kiểm chứng thông qua mô phỏng số. Một số kết luận quan trọng được rút ra trong quá trình nghiên cứu và thực hiện luận văn như sau:

- Mạng cảm biến không dây đóng vai trò quan trọng trong hạ tầng giải pháp Internet vạn vật. Các thiết bị cảm biến được phân bố phân tán và tự cấu hình trong mô hình kết nối truyền thông. Vì vậy, việc đảm bảo năng lượng đồng đều, kéo dài thời gian sống của mạng là một vấn đề quan trọng trong hiệu năng mạng cảm biến không dây.
- Các giải pháp phân cụm được đề xuất nhằm cải thiện hiệu năng mạng được phát triển mạnh trong những năm gần đây. Các giải pháp phân cụm đều đem lại hiệu quả tính toán nhanh nhưng gây ra các lỗ hổng năng lượng nhất định trong mạng khi tồn tại ít nút SINK. Các giải pháp phân cụm không đều có thể đem lại hiệu năng mạng tốt nhưng đòi hỏi lượng tính toán lớn.
- Tiếp cận gần đúng dựa trên các tính toán thông minh như suy luận mờ, trí tuệ nhân tạo hay bắt trước hành vi của động vật trong thiên nhiên là một hướng tiếp cận mới đối với giải pháp phân cụm. Tuy nhiên, các giải pháp này cần được chứng minh trong một số điều kiện ràng buộc cụ thể của bài toán cụ thể. Sử dụng phương pháp logic suy luận mờ có thể áp dụng vào bài toán phân cụm không đều nhằm giảm độ phức tạp tính toán mà vẫn tránh được lỗ hổng năng lượng.
- Luận văn trình bày giải pháp phân cụm không đều dựa trên logic mờ và được thực hiện với các bộ tham số giả thiết chung nhất nhằm nâng cao thời gian sống của mạng. Với mục tiêu cải thiện hiệu năng, phân cụm dựa trên logic mờ được mô phỏng số trong một kịch bản điển hình và đã chứng minh được tính ưu việt của giải pháp.

Trong quá trình thực hiện nội dung và báo cáo kết quả nghiên cứu, em rất khó tránh khỏi các sai sót. Vì vậy, rất mong sự góp ý của Thầy/Cô và các bạn.

Em trân trọng cảm ơn!.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- 1 Tandel, R. I. (2016). Leach Protocol in Wireless Sensor Network: A Survey. *International Journal of Computer Science and Information Technologies*, 7(4), 1894-1896.
- 2 Joseph, M. K., & Tasneem, S. (2016). Energy Efficient Hierarchical Clustering (EEHC) Protocol using Apply Trust Based Concept for Securing Cluster-Based Sensor Networks
- 3 Razaque, A., Abdulgader, M., Joshi, C., Amsaad, F., & Chauhan, M. (2016, April). P-LEACH: energy efficient routing protocol for wireless sensor networks. In *Systems, Applications and Technology Conference (LISAT)*, 2016 IEEE Long Island (pp. 1-5). IEEE.
- 4 Ma, J., Wang, S., Meng, C., Ge, Y., & Du, J. (2018). Hybrid energy-efficient APTEEN protocol based on ant colony algorithm in wireless sensor network. *EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking*, 2018(1), 102
- 5 Verma, M., Mittal, V., & Kushwaha, A. (2017). Survey of Routing Protocols in Wireless Sensor Network (LEACH, TEEN, APTEEN). *Journal of Network Communications and Emerging Technologies (JNCET)* www. jncet. org, 7(9).
- 6 Nayak, P., & Devulapalli, A. (2016). A fuzzy logic-based clustering algorithm for WSN to extend the network lifetime. *IEEE sensors journal*, 16(1), 137-144.
- 7 Kumar, V., Kumar, V., Sandeep, D. N., Yadav, S., Barik, R. K., Tripathi, R., & Tiwari, S. (2018). Multi-hop Communication based Optimal Clustering in Hexagon and Voronoi Cell Structured WSNs. *AEU-International Journal of Electronics and Communications*.
- 8 Bui, V. B., Tran, Q. C., & Bui, H. L. (2018). Multi-objective optimal design of fuzzy controller for structural vibration control using Hedge-algebras approach. *Artificial Intelligence Review*, 50(4), 569-595
- 9 C.H Nguyen, W. Wechler Hedge algebra: An algebraic approach to structure of sets of linguistic truth values. *Fuzzy Sets Syst* (1990) 35:281-293

- 10 D.V Thang, D.V Ban, “Definition membership function based on approach to hedge algebras,” *Journal of Computer Science and Cybernetics*, V.31, N.4(2015), 277-289
- 11 Labrador, M. A., & Wightman, P. M. (2009). *Topology Control in Wireless Sensor Networks: with a companion simulation tool for teaching and research*. Springer Science & Business Media
- 12 Mary, S. S. A., & Gnanadurai, J. B. (2017). Enhanced zone stable election protocol based on fuzzy logic for cluster head election in wireless sensor networks. *International Journal of Fuzzy Systems*, 19(3), 799-812.
- 13 Trong-Minh Hoang, Thi Nguyen, Nhu-Lan Vu, Hong-Duc Nguyen, A Novel Fuzzy Inference System based on Hedge Algebras to enhance Energy Efficiency in Wireless Sensor Networks