

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP ĐẠI HỌC**

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN CÁC THUẬT TOÁN MỚI CHO TRUYỀN
THÔNG TRONG MẠNG ROBOT NHẪM GIẢM NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ VÀ
NÂNG CAO THỜI GIAN PHỤC VỤ CỦA MẠNG**

Mã số: ĐH2017-TN02-05

Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Tuấn Minh

Thái Nguyên, 6/2019

**ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
TRƯỜNG ĐẠI HỌC KỸ THUẬT CÔNG NGHIỆP**

**BÁO CÁO TÓM TẮT
ĐỀ TÀI KHOA HỌC VÀ CÔNG NGHỆ CẤP ĐẠI HỌC**

**NGHIÊN CỨU VÀ PHÁT TRIỂN CÁC THUẬT TOÁN MỚI CHO TRUYỀN
THÔNG TRONG MẠNG ROBOT NHẪM GIẢM NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ VÀ
NÂNG CAO THỜI GIAN PHỤC VỤ CỦA MẠNG**

Mã số: ĐH2017-TN02-05

**Xác nhận của tổ chức chủ trì
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG**

**Chủ nhiệm đề tài
(*ký, họ tên*)**

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

TS. Nguyễn Tuấn Minh

Thái Nguyên, 6/2019

Danh sách những thành viên tham gia nghiên cứu đề tài

1. Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Tuấn Minh

Đơn vị: Trung tâm Hợp tác Đào tạo Quốc tế

2. Các thành viên khác:

TT	Họ và tên	Đơn vị công tác và lĩnh vực chuyên môn
1	Đình Văn Nghiệp	Bộ môn Tự động hóa, khoa Điện, ĐH KTCN
2	Phan Thanh Hiền	Bộ môn Điện tử Viễn thông, khoa Điện tử, ĐH KTCN
3	Trần Anh Thắng	Bộ môn Điện tử Viễn thông, khoa Điện tử, ĐH KTCN
4	Trần Văn Linh	Trung tâm sáng tạo sản phẩm, khoa Quốc tế, ĐH KTCN
5	Vũ Quốc Đông	Bộ môn Kỹ thuật Điện và Máy tính giảng dạy bằng tiếng Anh, khoa Quốc tế, ĐH KTCN
6	Nguyễn Đăng Hào	Bộ môn Cơ điện tử, khoa Điện tử, ĐH KTCN
7	Trần Quế Sơn	Bộ môn Kỹ thuật Điện và Máy tính giảng dạy bằng tiếng Anh, khoa Quốc tế, ĐH KTCN

Mục lục

MỞ ĐẦU	1
1- Giới thiệu chung	3
2- Ứng dụng của mạng cảm biến không dây kết hợp cảm biến di động và robot	5
2.1. Ứng dụng trong nông nghiệp	5
2.2. Ứng dụng trong hỗ trợ y tế	7
2.3. Ứng dụng giám sát ngoài khơi	8
2.4. Ứng dụng trong lĩnh vực quân sự	8
2.5. Ứng dụng hỗ trợ giám sát bảo vệ môi trường	10
2.6. Ứng dụng trong công nghiệp	12
3- Thách thức đối với các mạng cảm biến	13
4- Các phương pháp thu thập dữ liệu trong mạng cảm biến không dây ..	16
4.1. Các phương pháp phân cấp	17
4.2. Phương pháp thu thập mặt phẳng	21
4.3. Phương pháp thu thập dữ liệu dựa trên vị trí	28
5- Các phương pháp nghiên cứu đang phổ biến	32
6- Xây dựng bài toán	34
6.1. Công nghệ nén cảm biến	34
6.2. Xây dựng hệ thống	35
6.3. Thu thập dữ liệu	36
6.4. Các robot trao đổi dữ liệu	36
6.5. Các robot tiếp tục tạo ra các mẫu nén cảm biến mới ...	37
6.6. Khôi phục dữ liệu tại từng robot	37
7- Thuật toán điều khiển nhóm tiên tiến	37
8- Phân tích hệ thống	43
8.1. Phân tích độ bao phủ giám sát	43

8.2. Phân tích năng lượng tiêu thụ	44
8.3. Phân tích ma trận lấy mẫu	46
8.4. Phân tích thuật toán CCMS	48
9- Một số kết quả triển khai và mô phỏng	49
9.1. Kết quả thử nghiệm của thuật toán điều khiển nhóm	49
9.2. Kết quả mô phỏng thực hiện việc lấy mẫu và khôi phục tín hiệu	50
KẾT LUẬN	59
TÀI LIỆU THAM KHẢO	60

Danh mục bảng biểu, hình vẽ

Hình 1: Mạng robot thu thập dữ liệu trong vùng cảm biến (màu xanh), trong điều kiện có nhiều vật cản (màu đỏ)	4
Hình 2: Các hàm thực hiện việc điều khiển đàn robot di chuyển trên miền cảm biến tránh các vật cản (3 vật cản màu đỏ)	39
Hình 3: 50 cảm biến di động được triển khai trong một đơn vị vùng cảm biến (300×300) với phạm vi giao tiếp $R_c = 60$	41
Hình 4: 7 Rovio robot được thực hiện thuật toán điều khiển nhóm chạy trên nền nhà tránh các vật cản.	50
Hình 5: 50 robots triển khai trên miền cảm biến kích thước 300×300 . Các hướng di chuyển của đàn robots được mô phỏng (xanh) trên miền cảm biến cùng với 04 vật cản (đỏ)	51
Hình 6: Số lượng POIs được thu/đo dữ liệu bởi mỗi robot	52
Hình 7: Thời gian hội tụ với hai nhóm robots khác nhau, nhóm 50 robots và nhóm 100 robots, là khác nhau.....	53
Hình 8: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với khoảng giao tiếp của các robots	54
Hình 9: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với số lượng mẫu cảm biến thu được bởi toàn bộ các robots trong mạng	55
Hình 10: Lỗi khôi phục dữ liệu cảm biến tương ứng với số lượng mẫu cảm biến CS thu được từ mỗi robot. Kết quả so sánh nhiều nhóm với số lượng robots khác nhau.	56
Hình 11: So sánh kết quả dữ liệu khôi phục (màu xanh) và dữ liệu gốc (màu đỏ).	57
Hình 12: Hình 3D (a): bản đồ cảm biến gốc, (b) bản đồ được khôi phục, (c) bản đồ thể lỗi khôi phục.	58

Danh mục các chữ viết tắt

AFC: Advanced Flocking Control – Điều khiển nhóm tiến tiến

ANN: Artificial Neural Networks – Mạng nơ ron nhân tạo

BS: Base Station – Trạm gốc

CS: Compressive sensing – Nén cảm biến

CCMS: Collaborative and Compressed Mobile Sensing – Liên kết cảm biến di động

CH: Cluster Head – Trưởng nhóm/cụm

DCT: Discrete Cosine Transform – Biến đổi Cosine rời rạc

FWI: Fire Weather Index – Chỉ số báo cháy do thời tiết

IOT: Internet of Things – Vạn vật kết nối Internet

IWSN: Industrial Wireless Sensor Networks – Mạng cảm biến không dây công nghiệp

GPRS: General Packet Radio Service – Dịch vụ vô tuyến gói tổng hợp

GSM: Global System for Mobile communication – Hệ thống thông tin di động toàn cầu

MS: Mobile Sensor – Bộ cảm biến di động

MSN: Mobile Sensor Network – Mạng cảm biến di động

POI: Points of Interest: Các điểm cần quan tâm

SASA: Self-Aware Self-Adaptive sensors network – Mạng cảm biến không dây tự nhận thức

WSN: Wireless Sensor Network – Mạng cảm biến không dây

ĐẠI HỌC THÁI NGUYÊN
Đơn vị: Trường ĐH KTCN

THÔNG TIN KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

1. Thông tin chung:

- Tên đề tài: Nghiên cứu và phát triển các thuật toán mới cho truyền thông trong mạng robot nhằm giảm năng lượng tiêu thụ và nâng cao thời gian phục vụ của mạng
- Mã số: ĐH2017-TN02-05
- Chủ nhiệm đề tài: TS. Nguyễn Tuấn Minh
- Tổ chức chủ trì: Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – Đại học Thái Nguyên
- Thời gian thực hiện: 24 tháng

2. Mục tiêu:

Đưa ra được một số thuật toán mới phục vụ cho truyền thông trong mạng robot trong công việc thu thập thông tin cảm biến. Mục đích để giảm khối lượng phải di chuyển của đàn robot và giảm nhẹ lượng thông tin cần truyền giữa các robot. Trên cơ sở này, đàn robot sẽ giảm được năng lượng tiêu thụ ở từng robot và trong cả mạng robot.

1. Tính mới và sáng tạo:

- Thuật toán mới giảm mạnh được khối lượng di chuyển của đàn robot
- Dữ liệu truyền trong mạng robot cũng được giảm mà vẫn đảm bảo chất lượng thu thập dữ liệu
- Mạng robot không cần duy trì kết nối liên tục như các mạng cũ

2. Kết quả nghiên cứu:

- Thuật toán mới được triển khai trên cơ sở mô phỏng và thực nghiệm
- Các kết quả vượt trội được đưa ra
- Khắc phục, cải thiện các thuật toán trước đó

5. Sản phẩm:

5.1. Sản phẩm khoa học: Hai bài báo quốc tế (trong đó có một bài SCI)

- a. M. T. Nguyen, H. M. La and K. A. Teague (2018), "Collaborative and Compressed Mobile Sensing for Data Collection in Distributed Robotic Networks", *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1729-1740.
- b. Minh Nguyen (2018), "Advanced Flocking Control Algorithms in Mobile Sensor Networks," *ICSES Interdisciplinary Transactions on Cloud Computing, IoT, and Big Data (IITCIB)*, vol. 2, no. 4, pp. 4-9.

5.2. Sản phẩm đào tạo

6. Phương thức chuyển giao, địa chỉ ứng dụng, tác động và lợi ích mang lại của kết quả nghiên cứu: Các sản phẩm làm tài liệu tham khảo cho giảng viên và sinh viên.

Ngày 20 tháng 5 năm 2019

Tổ chức chủ trì
KT. HIỆU TRƯỞNG
PHÓ HIỆU TRƯỞNG

Chủ nhiệm đề tài
(ký, họ và tên)

PGS.TS. Vũ Ngọc Pi

TS. Nguyễn Tuấn Minh

INFORMATION ON RESEARCH RESULTS

1. General information:

Project title: Research on developing new algorithms for data transmission in robotic networks to reduce energy consumption and prolong the network lifetime

Code number: DH2017-TN02-05

Principal Investigator: Nguyen Tuan Minh

Institution: Thai Nguyen University of Technology - Thai Nguyen University

Duration: from 6/2017 to 6/2019

2. Objective(s):

Propose new algorithms for data communication in robotic networks in collecting sensing data. The main goal is to reduce energy for robots moving in the sensing fields and to reduce data transmission between them. The total energy consumption can be reduced not only for robots but also for the network.

3. Creativeness and innovativeness:

- The robotic network does not need to move as before
- Data transmitting among the network reduces significantly
- The network does not need to maintain the connectivity all the time

4. Research results:

- A new algorithm is proposed including simulation and experimental results
- The results overcome existing work in the literature review
- Refine some existing problems and show promise

5. Products:

Two published international journals (including one SCI journal)

- a. M. T. Nguyen, H. M. La and K. A. Teague (2018), "Collaborative and Compressed Mobile Sensing for Data Collection in Distributed Robotic Networks", *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1729-1740.
- b. Minh Nguyen (2018), "Advanced Flocking Control Algorithms in Mobile Sensor Networks," *ICSES Interdisciplinary Transactions on Cloud Computing, IoT, and Big Data (IITCIB)*, vol. 2, no. 4, pp. 4-9.

6. Transfer alternatives, application institutions, impacts and benefits of research results: The results would be used as good research references for teachers and students.

MỞ ĐẦU

Thu thập dữ liệu trong mạng cảm biến luôn là vấn đề cần thiết trong rất nhiều ứng dụng nổi bật trong các lĩnh vực khác nhau, từ các lĩnh vực dân dụng, công nghệ cao và cả trong quân sự. Triển khai mạng robot cũng rất cần thiết và phức tạp không chỉ về phần điều khiển đàn robot mà còn về vấn đề truyền thông trong mạng robot.

Mục đích chính của đề tài là nghiên cứu và đề xuất thuật toán thu thập dữ liệu mới làm giảm đáng kể năng lượng tiêu thụ trong các mạng cảm biến không dây hay mạng robot thu thập dữ liệu. Điều đó có nghĩa là tuổi thọ của mạng trên dài hơn. Các thuật toán mới này có thể hỗ trợ làm giảm số lượng các bộ cảm biến hay số robot khi kết hợp với các thuật toán điều khiển. Nói chung, chi phí cho các mạng sẽ giảm đáng kể.

Trong bài báo cáo này, chúng tôi khai thác sự tích hợp giữa tính di động của robot và sự hợp tác giữa chúng để lấy mẫu các khu vực cảm biến cần được giám sát và thu thập dữ liệu. Một thuật toán cảm biến di động hợp tác và nén (CCMS) được đề xuất cho các mạng robot phân tán để xây dựng các bản đồ trường vô hướng. Để di chuyển trong trường cảm biến và tránh va chạm với chướng ngại vật và với nhau, một luật điều khiển, được gọi là “flocking”, được đưa vào mỗi robot. Những robot này thu thập dữ liệu, kết hợp công nghệ cảm biến nén để truyền, nhận, khôi phục dữ liệu từ vùng cảm biến. Phương pháp này làm giảm đáng kể lưu lượng dữ liệu giữa các robot. Chúng tôi tiếp tục phân tích và hình thành mức tiêu thụ năng lượng cho robot và đề xuất một số trường hợp tối ưu để robot tiêu thụ ít năng lượng nhất.

1- Giới thiệu chung

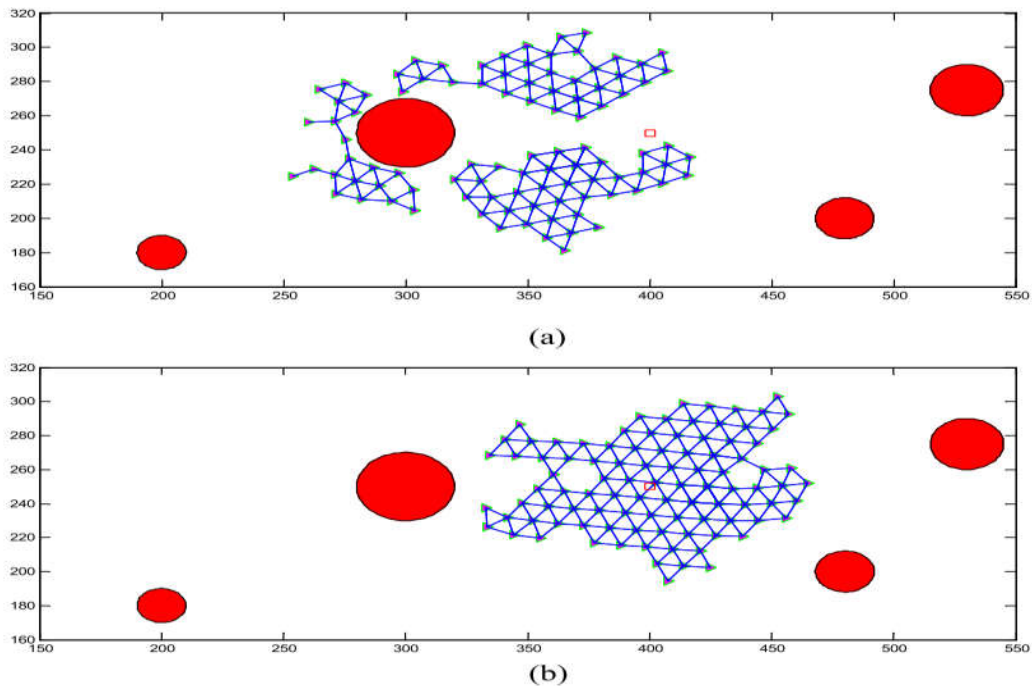
Mạng cảm biến di động (MSN) đã nổi lên như một giải pháp hiệu quả cho một loạt các ứng dụng. Chúng là một lớp các mạng nơi các thiết bị cảm biến nhỏ di chuyển trong không gian theo thời gian để hợp tác theo dõi các điều kiện vật lý và môi trường (ví dụ: nhiệt độ, âm thanh, rung, áp suất, chuyển động, phát hiện sự kiện). Các mạng được kết hợp từ các cảm biến, thuật toán điều khiển và các yếu tố động khác phụ thuộc vào các mục đích cụ thể hoặc các kịch bản ứng dụng.

Một trong những ứng dụng phổ biến nhất trong MSN là ánh xạ trường vô hướng. Bản đồ vô hướng có thể được trình bày dưới dạng vector bao gồm số đọc cảm biến không xác định từ N điểm quan tâm (POI) trong khu vực cảm biến cần được quan sát. Các bài đọc là độ ẩm, nhiệt độ, vv và thường có mối tương quan cao hoặc có thể nén được. Các thiết bị cảm biến thường được gắn vào robot hoặc phương tiện di chuyển được điều khiển bằng thuật toán. Để xây dựng bản đồ đầy đủ, tất cả các robot cần phải truy cập vào toàn bộ trường cảm biến với chi phí năng lượng cao cho cả chuyển động cảm biến và liên lạc. Đã có rất nhiều kết quả kỹ thuật được hiển thị để tinh chỉnh các cảm biến vật lý, phương pháp xử lý dữ liệu, thuật toán điều khiển và liên lạc với robot để tiết kiệm năng lượng hơn trong các mạng như vậy. Bản đồ tuyên truyền cho các thiết bị di động sử dụng kết nối WiFi được đề cập trong. Mạng cảm biến không dây cũng được sử dụng làm phương tiện liên lạc cho robot di động.

Cảm biến nén (CS) dựa trên ý tưởng rằng tín hiệu của tín hiệu có thể nhỏ hơn nhiều so với tín hiệu của tín hiệu. Kỹ thuật này hoàn toàn có thể áp dụng cho các bài đọc cảm biến thu thập MSN. Dựa trên thực tế là tín hiệu có thể được biểu thị bằng ít mẫu hơn nhiều so với định lý lấy mẫu Nyquist-

Shannon cho phép, CS khai thác thực tế này và đề nghị tái cấu trúc tất cả các số đọc từ POI với số đo CS nhỏ hơn nhiều so với tổng số POI (N).

Bài viết này xem xét vấn đề trong đó một số lượng robot phân tán nhất định cần phải truy cập vào một số POI trong khu vực cảm biến để tự xây dựng bản đồ vô hướng. Đội ngũ robot, được dẫn dắt bởi một thuật toán điều khiển hợp tác, lấy mẫu một vùng cảm biến thưa thớt ở mỗi thời điểm lấy mẫu. Tại thời điểm tức thì t , các robot phân tán cộng tất cả các số đọc từ POI trong phạm vi cảm nhận của chúng lại với nhau và sau đó trao đổi các giá trị vô hướng tích lũy của riêng chúng được gắn với các chỉ số vị trí tương ứng với nhau trong phạm vi giao tiếp của chúng. Mỗi phép đo CS được tạo là tổng của tất cả các số đọc cảm biến vô hướng được đo bởi robot làm việc như một nhóm được kết nối. Sau một số lần lấy mẫu nhất định (M), mỗi robot có được các phép đo để có thể tái tạo lại số đọc cảm biến N từ POI. Lưu ý rằng số lượng phép đo nhỏ hơn nhiều so với số POI.



Hình 1: Mạng robot thu thập dữ liệu trong vùng cảm biến (màu xanh), trong điều kiện có nhiều vật cản (màu đỏ)

Phương pháp được đề xuất của chúng tôi khác với các phương pháp khác như phương pháp đồng thuận trong đó rất có thể yêu cầu các mạng được kết nối. Mạng robot của chúng tôi đôi khi có thể bị ngắt kết nối do giới hạn phạm vi liên lạc của robot và / hoặc tránh chướng ngại vật trên trường cảm biến. Điều này có thể dẫn đến các phép đo CS không đồng đều được tạo ra giữa các nhóm robot khác nhau, nhưng nó không làm giảm hiệu suất của việc khôi phục dữ liệu. Tổng mức tiêu thụ năng lượng cho robot và phạm vi bảo hiểm được phân tích và xây dựng.

2- Ứng dụng của mạng cảm biến không dây kết hợp cảm biến di động và robot

2.1. Ứng dụng trong nông nghiệp

Có một số loại cảm biến được sử dụng trong các ứng dụng nông nghiệp cho mạng cảm biến không dây để đo nhiệt độ, độ ẩm, tưới tiêu (điều khiển tự động hiệu quả năng lượng), pH đất, các thông số trong nông nghiệp và canh tác chính xác, độ chói, gió (tốc độ và hướng), EC, và CO₂ trong nhà kính.

Một số ứng dụng của mạng cảm biến không dây bao gồm giám sát và thu thập thông tin khí tượng và đất như nhiệt độ, độ ẩm, gió, không khí, lượng mưa và pH đất; giám sát đất phân phối; xử lý nhiều loại cây trồng trên một mảnh đất; trang bị cho nông dân với các yêu cầu đa dạng của cây trồng cho các điều kiện thời tiết và đất đai khác nhau; cung cấp thông tin cho tưới tiêu và phân bón đầy đủ tự động; chọn thời điểm tốt nhất để thu hoạch cây trồng dựa trên sự trưởng thành của từng sản phẩm nông nghiệp; và thu thập dữ liệu môi trường một cách chính xác để có được điều kiện môi trường mùa vụ mong muốn trong nhà kính.

Giám sát cây trồng và các thông số môi trường trong nông nghiệp chính xác: Nông nghiệp thông minh và chính xác là nghệ thuật và khoa học sử dụng công nghệ tiên tiến để tăng cường sản xuất cây trồng. Sự phát triển của các

ứng dụng WSN trong nông nghiệp chính xác giúp tăng năng suất, hiệu quả và lợi nhuận trong các hệ thống sản xuất nông nghiệp đa dạng, cũng giảm thiểu các tác động không mong muốn đối với động vật hoang dã và môi trường. Thông tin thời gian thực được thu thập từ các cánh đồng có thể cung cấp một cơ sở vững chắc cho nông dân để điều chỉnh chiến lược bất cứ lúc nào. Ba bước sau đây là cần thiết để đạt được sự kiểm soát chính xác của môi trường sản xuất: 1) theo dõi nhiệt độ, độ ẩm, độ chiếu sáng và các thông số liên quan khác ảnh hưởng đến chất lượng và năng suất sản phẩm; 2) phân tích dữ liệu được theo dõi và đưa ra quyết định được hỗ trợ bởi tối ưu hóa; và 3) áp dụng các cơ chế kiểm soát. Do khí hậu toàn cầu đang thay đổi nghiêm trọng mỗi ngày, không chỉ cần một loạt các nghiên cứu và nghiên cứu về sự tăng trưởng của cây trồng, môi trường quy mô nhỏ cho sự tăng trưởng của cây trồng cũng cần được hiểu. Cùng với sự trợ giúp của các ứng dụng tích hợp mạng có mặt khắp nơi của Internet vạn vật (IOT), sự phát triển của nông nghiệp thông minh và chính xác sẽ được thúc đẩy. Từ tất cả các dữ liệu được thu thập, nông dân có thể tải trực tiếp thông tin qua IoT và lên lịch cho các kế hoạch hoạt động của riêng họ; tưới tiêu chính xác tự động có thể được xây dựng để tiết kiệm việc sử dụng nước; và nông nghiệp chính xác có thể được áp dụng cho nhà kính giúp nông dân trồng các loại cây trồng chất lượng cao.

Giám sát nhà kính: Giám sát và kiểm soát nhà kính không chỉ cần thiết để đạt được năng suất cây trồng tối đa mà còn để quản lý hiệu quả nhà kính. Một số thông số liên quan chặt chẽ với nhau là cần thiết để đo lường, tính toán và điều chỉnh như CO₂, ánh sáng, nhiệt độ, pH và độ ẩm. Một số yếu tố này được điều khiển bởi một hệ thống cảm biến được bố trí hợp lý. Tính khả thi của hệ thống đã được xác minh trong một thiết lập cấu trúc liên kết sao đơn giản trong nhà kính cà chua. Nhiệt độ không khí, độ ẩm, điều kiện đất và quá trình kiểm soát khí hậu nhà kính cũng được mô tả chi tiết trong; dựa

trên dữ liệu thu thập được từ các cảm biến, việc tưới tiêu và bón phân thích hợp cho các loại cây trồng khác nhau tùy theo loại, tuổi, pha và khí hậu.

2.2. Ứng dụng trong hỗ trợ y tế

WSN đã đạt được một tiến bộ đáng chú ý trong lĩnh vực theo dõi sức khỏe và theo dõi sức khỏe. Một số ứng dụng sức khỏe cho mạng cảm biến là phát hiện ung thư; mức độ glucose và theo dõi chất lỏng não; bệnh tim mạch, Alzheimer, trầm cảm và người cao tuổi theo dõi; theo dõi đột quỵ và sau đột quỵ; giám sát nhà; theo dõi nhịp tim; giám sát dấu hiệu quan trọng trong bệnh viện; phòng ngừa tai nạn y tế; áo phao; sức khỏe di động; hệ thống điện sinh lý; đồng hồ điện tử; quản lý thuốc; phẫu thuật truyền phát video thời gian thực; và một số ứng dụng hỗ trợ để theo dõi chăm sóc sức khỏe.

Giám sát sinh lý của con người: Bằng cách khai thác các hệ thống WSN, dữ liệu sinh lý có thể được thu thập và lưu trữ trong một thời gian dài. Dữ liệu có thể cung cấp cho mọi người nhiều dịch vụ chăm sóc sức khỏe để theo dõi y tế, tăng cường trí nhớ, truy cập dữ liệu y tế và phát hiện dấu hiệu quan trọng trong các tình huống khẩn cấp. Theo dõi liên tục với các mạng cảm biến cơ thể có thể đeo và cấy ghép sẽ tăng phát hiện sớm các tình trạng khẩn cấp và đưa ra cảnh báo ngay lập tức về những thay đổi trong tình trạng bệnh nhân. Dữ liệu cũng có thể được chuyển tiếp đến bệnh viện hoặc tương quan với hồ sơ bệnh nhân, v.v. Mục đích của giám sát trong nhà và giám sát ngoài trời là cung cấp đủ dữ liệu cảm giác từ cả mạng cảm biến cơ thể và mạng cảm biến gia đình để đưa ra quyết định về tình trạng sức khỏe và theo dõi báo cáo, bao gồm cả tình huống khẩn cấp. Dựa trên dữ liệu, thời gian nằm viện có thể giảm.

Các ứng dụng hỗ trợ cho giám sát chăm sóc sức khỏe: Ngoài các ứng dụng cho chăm sóc sức khỏe, có một số ứng dụng hỗ trợ và tăng chất lượng và hiệu quả giám sát. Trong nhiều thiết bị và cảm biến, rất khó để chọn giữa độ

phân giải cao dẫn đến giám sát chất lượng cao và tiêu thụ điện năng thấp. Người dùng hy vọng cả lợi ích của việc sử dụng thời gian dài và độ phân giải cao. Nhưng tiêu thụ ít năng lượng hơn sẽ khiến chất lượng thấp hơn và chất lượng cao hơn cũng sẽ tiêu tốn nhiều điện năng hơn. Một mạng cảm biến cơ thể không dây có độ phân giải thay đổi được trình bày để cho phép các bác sĩ thiết lập độ phân giải linh hoạt trong mọi tình huống do yêu cầu sử dụng chất lượng cao hoặc thời gian dài. Những lo ngại về quyền riêng tư và bảo mật cũng được hiển thị

2.3. Ứng dụng giám sát ngoài khơi

Một số ứng dụng của mạng cảm biến không dây cho các khía cạnh môi trường ngoài khơi là theo dõi và đo lường các thông số vật lý và hóa học khác nhau như nhiệt độ nước (cảm biến MCP9700), áp suất (cảm biến SBE 39 hoặc cảm biến YOUNG 61302L), pH, độ mặn, độ đục, độ dẫn điện, oxy hòa tan và mức diệp lục cho trang trại cá; giám sát chất lượng nước và rạn san hô cho mục đích bảo vệ môi trường; và tốc độ gió và hướng gió cho các trang trại gió. Nhiều ứng dụng của mạng cảm biến không dây trong lắp đặt dầu khí. Có hai loại nút cảm biến trong bất kỳ hệ thống giám sát ngoài khơi nào: nút nổi và nút neo. Dữ liệu được thu thập từ mỗi nút được xử lý trong một trạm ngoài khơi. Cấu trúc chung của nút cảm biến về cơ bản giống nhau, tuy chức năng hoạt động khác nhau. Năng lượng cho các nút cảm biến có thể thay thế là pin, tụ điện, động cơ nhiệt, pin nhiên liệu và thu hoạch năng lượng, nói chung là năng lượng mặt trời.

2.4. Ứng dụng trong lĩnh vực quân sự

Với sự phát triển về kích thước của các cảm biến và các nút cảm biến ngày càng nhỏ hơn, cùng với việc triển khai nhanh, tự tổ chức và sự cố khả năng hoạt động liên tục của một số thành phần của nó, mạng cảm biến trở nên rất

hứa hẹn cho ứng dụng quân sự như giám sát lực lượng thân thiện, thiết bị và đạn dược, giám sát chiến trường, trinh sát các lực lượng và địa hình đối lập, nhắm mục tiêu, và phát hiện và trinh sát tấn công sinh học và hóa học hạt nhân.

Giám sát lực lượng, thiết bị và đạn dược thân thiện: Tình trạng của quân đội thân thiện, chất lượng thiết bị và đạn dược có thể dễ dàng kiểm tra và ghi lại cho các nhà lãnh đạo và chỉ huy. Mỗi đội quân, thiết bị và đạn dược cụ thể được gắn với cảm biến nhỏ, thông tin được lắp ráp đến các nút chìm và gửi đến các nhà lãnh đạo đoàn quân hoặc có thể được chuyển tiếp đến chỉ huy cấp cao hơn.

Giám sát chiến trường: Các con đường tiếp cận, khu vực chiến tranh có thể nhanh chóng được bao phủ bởi các nút cảm biến. Mọi hành động của kẻ thù đều được theo dõi chặt chẽ, vì vậy các nhà lãnh đạo sẵn sàng chuẩn bị kế hoạch sớm và giành chiến thắng dễ dàng.

Trinh sát các lực lượng và địa hình đối lập: Mạng cảm biến được gắn vào các vị trí quan trọng của kẻ thù để theo dõi tình hình, số lượng và kế hoạch của các lực lượng đối phương một cách nhanh chóng. Sau đó, các mạng cảm biến thu thập thông tin lên cấp trên cho các kế hoạch hoạt động mới để chặn các tuyến đường tiếp cận của kẻ thù.

Nhắm mục tiêu: các chương trình nhắm và hệ thống hướng dẫn liên kết với các mạng cảm biến, được gắn với đạn hiện đại để có hiệu quả cao hơn và điều khiển từ xa.

Phát hiện và trinh sát tấn công sinh học và hóa học hạt nhân: Trong chiến tranh hóa học và sinh học, mặt đất rất quan trọng để tính toán và phát hiện các tác nhân gây hại. Mạng cảm biến được triển khai trên các khu vực thân thiện và được sử dụng như một hệ thống cảnh báo hóa học hoặc sinh học có

thể cung cấp thời gian phản ứng cho các lực lượng thân thiện do đó làm giảm số lượng tử vong một cách đáng kể.

2.5. Ứng dụng hỗ trợ giám sát bảo vệ môi trường

Có nhiều ứng dụng môi trường của mạng cảm biến không dây như: giám sát ô nhiễm không khí, phát hiện thảm họa, giám sát sinh vật, giám sát chỉ số nông nghiệp và giám sát sinh hoạt trong nhà.

Ô nhiễm không khí: Với sự phát triển nhanh chóng của công nghiệp và hoạt động của máy móc và phương tiện nặng dẫn đến chất lượng không khí kém trong một thời gian dài cũng gây ra những thiệt hại cho sức khỏe con người. Hệ thống giám sát chất lượng không khí trong khu vực đô thị, công nghệ WSN được áp dụng để giảm chi phí so với trạm giám sát truyền thống. Hệ thống này được triển khai trên một con đường chính để theo dõi nồng độ CO, mỗi nút cảm biến thu thập dữ liệu theo thời gian thực vào cơ sở dữ liệu được xem bởi một phần mềm được kết nối trực tiếp hoặc người dùng từ xa có thể truy cập qua internet. Mạng cảm biến cung cấp một số cảm biến để phát hiện ô nhiễm không khí sau khi khảo sát về xu hướng thị trường. Công nghệ ZigBee đã được áp dụng cho hệ thống này, các thử nghiệm đã thử nghiệm đã tìm thấy giao thức định tuyến phù hợp giữa Lữ lựt, Tin đồn và Sửa đổi LEACH. Sự cân bằng giữa phạm vi làm việc và công suất đầu ra cũng được xem xét. Và một lý tưởng khác để giám sát chất lượng không khí là làm cho các nút di động bằng cách tấn công chúng vào xe hơi, hệ thống này bao gồm các cảm biến xe cộ, trạm gốc GSM và máy chủ giám sát. Để giảm chi phí liên lạc, một nút chính có thể tạo thành một mạng ad hoc với các nút gần đó thông qua các giao diện không dây của họ (ví dụ: Wi-Fi), cho phép giao tiếp cơ hội giữa các nút chính.

Phát hiện cháy rừng: Mạng cảm biến không dây để phát hiện sớm các vụ cháy rừng là một hệ thống phát hiện đám cháy bằng cách phân tích Chỉ số thời tiết cháy (FWI). Hệ thống FWI bao gồm sáu thành phần: ba mã nhiên liệu và ba chỉ số lửa. Các mã nhiên liệu là giá trị độ ẩm ở lớp khác nhau trong đất sâu đến 20 cm. Ba chỉ số lửa là tốc độ lan truyền lửa, tốc độ gió và tổng lượng nhiên liệu có sẵn để đốt cháy. Thuật toán đơn giản được ngụ ý để giải quyết vấn đề bao phủ k, nó không yêu cầu bất kỳ sơ đồ triển khai nút cụ thể nào, vì vậy các nút có thể được triển khai thống nhất bằng cách ném chúng ra khỏi máy bay. Nhiều hệ thống phát hiện cháy rừng dựa trên công nghệ ZigBee. Cấu trúc của WSN này là cấu trúc liên kết mạng cây bao gồm các nút cảm biến, đầu cụm, điều phối mạng, cổng, mạng vệ tinh và máy tính giám sát máy chủ. Nút cảm biến được thiết kế phần cứng bao gồm chip lõi CC2430, cảm biến SHT11, bộ nhớ định danh duy nhất chip DS2401, nguồn điện và ăng ten.

Khi máy tính giám sát gửi một đơn đặt hàng về dữ liệu nhiệt độ và độ ẩm đến bộ định tuyến qua internet, bộ định tuyến sẽ quét thứ tự để quyết định điều phối viên mục tiêu, sau đó đầu cụm mục tiêu được kích hoạt và dữ liệu được thu thập bởi các nút. Một hệ thống thông minh khác để phát hiện cháy rừng hiệu quả bằng cách sử dụng dữ liệu không gian, hệ thống này bao gồm Chuyển đổi không gian màu chuyển đổi không gian màu RGB sang CIE XYZ, Phân đoạn khuếch tán bất đẳng hướng giúp tăng cường đáp ứng của thuật toán phát hiện cạnh bằng một loạt các hoạt động cụ thể: làm mịn nội thất hình ảnh để nhấn mạnh ranh giới để phân đoạn, loại bỏ chi tiết giả và loại bỏ nhiễu khỏi hình ảnh một cách hiệu quả, Mạng nơ ron nhân tạo (ANN) có khả năng nhận dạng các mẫu, quản lý dữ liệu và học như não. Đầu tiên, hình ảnh RGB từ dữ liệu không gian được chuyển đổi sang không gian màu XYZ, và sau đó hình ảnh được chuyển đổi được phân đoạn bằng

cách sử dụng phân đoạn khuếch tán dị hướng để phát hiện vùng cháy, sau đó được đưa vào làm đầu vào cho ANN.

Giám sát cuộc sống trong nhà: An ninh và tự động hóa trong nhà và tòa nhà là những ứng dụng đầy hứa hẹn của mạng cảm biến không dây. Một hệ thống an ninh gia đình từ xa dựa trên công nghệ GSM có thể phát hiện hành vi trộm cắp, rò rỉ khí gas và hỏa hoạn. Hệ thống cấu trúc bao gồm các nút thu thập dữ liệu, mô-đun nút trung tâm, mô-đun GSM trong nhà, mô-đun GSM và điện thoại di động của người dùng. Nếu phát hiện bất kỳ lỗi nào, thông báo cảnh báo sẽ được gửi đến người dùng thông qua mạng GPRS. Hệ thống tự động hóa và bảo mật gia đình, được trình bày trong, sử dụng ZigBee để liên lạc nhiều bước. Pic18f452 là bộ điều khiển chính được trang bị mô-đun GSM để gửi và nhận SMS. Trong hệ thống an ninh gia đình, nút kích hoạt gửi tín hiệu cảnh báo đến bộ điều khiển chính thông qua giao tiếp đa bước, sau đó nút chính gửi SMS đến người dùng thông qua mô-đun GSM. Trong hệ thống tự động hóa gia đình, người dùng gửi thông điệp lệnh đến nút chính và sau đó nó được chuyển tiếp đến nút đích thông qua giao tiếp nhiều bước nhảy. Nút đích sẽ thực hiện tác vụ được chỉ huy bởi người dùng.

2.6. Ứng dụng trong công nghiệp

Mạng cảm biến không dây có nhiều ứng dụng cho công nghiệp như: Giám sát sức khỏe của thiết bị, Giám sát tài nguyên ngầm, giám sát và kiểm soát các hoạt động của một quy trình cụ thể để đạt được mục tiêu, Robot di động tự động.

Một nền tảng cảm biến thông minh đã được giới thiệu dành cho nhiều ứng dụng trong công nghiệp, mỗi cảm biến hoặc bộ truyền động được trang bị giao diện cảm biến thông minh hoặc không dây chung có thể điều chỉnh lại

có thể đọc dữ liệu từ các cảm biến, ra lệnh cho bộ truyền động và cung cấp giao diện truyền thông cho bộ điều khiển. Thiết kế phần cứng và phần mềm của các nút cảm biến được xem xét rõ ràng, kiểm soát thời gian thực và bảo trì dự đoán được thực hiện. Ngoài ra, còn có nhiều thách thức, nguyên tắc thiết kế và phương pháp kỹ thuật của mạng cảm biến không dây công nghiệp (IWSN) được trình bày, các thách thức của IWSN được nêu ra như: hạn chế tài nguyên, cấu trúc liên kết động và điều kiện môi trường khắc nghiệt, chất lượng dịch vụ khắc nghiệt, các mục tiêu thiết kế được theo sau những thách thức để giải quyết nó. Theo các yêu cầu đó, thiết kế phần cứng là sự so sánh giữa nhiều chip và cảm biến thương mại, sự khác biệt giữa dung lượng của pin và hiệu suất truyền dữ liệu cũng được thảo luận. Một số nỗ lực tiêu chuẩn hóa chính liên quan đến IWSN trong số ZigBee, HART không dây, UWB, 6LoWPAN, ISA 100 và Bluetooth. Trong nhiều nghiên cứu, một mạng cảm biến tự thích ứng tự nhận thức (SASA) đã được giới thiệu. Các chức năng chính của SASA là Phát hiện và xác định vị trí lỗi sập, báo cáo tai nạn, phát hiện nút và cấu hình lại nút bị dịch chuyển. Các nút cảm biến được triển khai trên tường và trần của các đường hầm tạo thành một mạng lưới.

3- Thách thức đối với các mạng cảm biến

Tiết kiệm năng lượng là một vấn đề quan trọng đối với bất kỳ WSN nào. Nhiều giao thức định tuyến, quản lý năng lượng và phổ biến dữ liệu đã được đề xuất để giảm mức tiêu thụ điện năng cho các mạng. Thông thường, WSN chứa hàng trăm hoặc hàng ngàn cảm biến. Các cảm biến thường được triển khai dày đặc trong một khu vực cảm biến cần phải được quan sát. Số lượng cảm biến càng nhiều thì độ chính xác của thông tin quan sát càng lớn. Như đã đề cập ở trên, chi phí cho mỗi cảm biến thường rất nhỏ do các hạn chế, chẳng hạn như nguồn cung cấp năng lượng hạn chế, năng lực tính toán hạn

ché và băng thông hạn chế của các liên kết không dây kết nối các nút cảm biến. Theo mục tiêu truyền dữ liệu đến trung tâm xử lý dữ liệu theo cách tiết kiệm năng lượng, tiết kiệm mức tiêu thụ năng lượng của cảm biến mà không làm mất độ chính xác và duy trì tuổi thọ mạng, thiết kế WSN gặp một số thách thức khó khăn.

- Triển khai nút cảm biến: Các nút cảm biến có thể được đặt thủ công hoặc thả ngẫu nhiên trong vùng cảm biến cần quan sát. Với việc triển khai thủ công, dữ liệu được thu thập tại bồn rửa với các tuyến đường được xác định trước. Hầu hết các mạng liên quan đến việc triển khai ngẫu nhiên với tất cả các cảm biến được phân tán ngẫu nhiên, tạo ra một cơ sở hạ tầng định tuyến ad hoc.
- Cân bằng và giảm thiểu tiêu thụ năng lượng: thiết kế mạng cần có sự cân nhắc về năng lượng để tiêu thụ ít năng lượng nhất để duy trì các kết nối mạng hoặc kéo dài tuổi thọ mạng. Kết nối giữa các cảm biến thường vượt quá khoảng cách sắp xếp do hạn chế về năng lượng và băng thông. Truyền dữ liệu đến bồn rửa thích định tuyến nhiều bước thường tiêu thụ ít năng lượng hơn so với giao tiếp trực tiếp. Bên cạnh đó, các tuyến đường được thiết kế sẽ làm cạn kiệt năng lượng như nhau từ tất cả các cảm biến được triển khai trong khu vực cảm biến.
- Phương pháp báo cáo dữ liệu: Tùy thuộc vào ứng dụng cụ thể và mức độ quan trọng của thời gian của dữ liệu cảm biến, báo cáo dữ liệu trong WSN có thể được phân loại thành theo thời gian, theo sự kiện, theo truy vấn hoặc kết hợp một số hoặc tất cả các phương thức. Trong phương pháp theo thời gian, các cảm biến thu thập và gửi dữ liệu của họ theo định kỳ. Trong các phương pháp hướng sự kiện và điều khiển truy vấn, các nút cảm biến phản ứng khi có sự kiện xảy ra và gửi dữ liệu tới bồn rửa hoặc BS. Một số mạng sử dụng mô hình phân phối dữ liệu lai để tạo điều kiện cho các cảm biến.

- Khả năng cảm biến: Trong nhiều nghiên cứu, tất cả các nút cảm biến được triển khai trong vùng cảm biến được coi là đồng nhất. Điều này có nghĩa là chúng có dung lượng tương đương về pin được sạc trước, giao tiếp và tính toán. Nhưng trong một số mạng, cảm biến có thể không đồng nhất do các vai trò khác nhau. Ví dụ, có thể có các loại dữ liệu khác nhau được thu thập như nhiệt độ, áp suất và độ ẩm. Hơn nữa, với các đầu cụm (CH) được chọn trước trong các mạng được phân cụm, các CH có công suất cao hơn các nhóm khác do gánh nặng truyền dữ liệu thường rơi vào chúng.
- Dung sai lỗi: Các cảm biến có thể thay đổi từ trạng thái hoạt động hoặc hoàn toàn hoạt động để bị chặn do thiếu năng lượng. Các nút bị trục trặc được cách ly nhưng vẫn có thể được sử dụng để chuyển tiếp dữ liệu trong mạng. Các nút có chức năng đầy đủ có thể bao gồm các nút bất hoạt và lỗi này sẽ không ảnh hưởng đến mạng trong việc thu thập dữ liệu tại BS. Điều này đòi hỏi nhiều dung lượng hơn cho mỗi cảm biến để có thể hoạt động trong mạng chịu lỗi. Chẳng hạn như cảm biến có thể điều chỉnh công suất phát, tốc độ tín hiệu, v.v.
- Phạm vi cảm biến: Do các giới hạn về phạm vi cảm biến và phạm vi truyền, các cảm biến chỉ có thể bao phủ một vùng giới hạn. Vùng phủ sóng phụ thuộc nhiều vào số lượng cảm biến, loại cảm biến và thuật toán phủ sóng để giải quyết vấn đề phủ sóng tốt nhất.
- Động lực học mạng: Trong nhiều ứng dụng, cảm biến có thể không được cố định mọi lúc. Các cảm biến có thể lần lượt di động để thu thập dữ liệu từ các cảm biến tĩnh. Trong một số trường hợp, hiện tượng này có thể là di động trong việc theo dõi các ứng dụng mục tiêu. Cấu trúc mạng động trở nên linh hoạt và thách thức các thuật toán định tuyến dữ liệu. Mạng động có thể yêu cầu thêm năng lượng, băng thông, v.v.

- Tổng hợp dữ liệu: Các cảm biến có thể tạo ra dữ liệu dư thừa đáng kể do các vùng chồng chéo được bao phủ bởi nhiều hơn một cảm biến. Các gói tương tự từ nhiều nút có thể được tổng hợp để giảm số lượng truyền trong mạng. Tổng hợp dữ liệu hoặc hợp nhất dữ liệu là sự kết hợp dữ liệu từ các nguồn khác nhau với dữ liệu được cảm nhận được xử lý trước khi gửi đến BS.
- Chất lượng dịch vụ: Bên cạnh độ chính xác của việc truyền dữ liệu đến BS, độ trễ là một điều kiện khác cho các ứng dụng bị hạn chế về thời gian. Thời gian báo cáo dữ liệu và chất lượng của dữ liệu được cảm nhận, quan trọng trong một số ứng dụng và bảo tồn năng lượng, có liên quan chặt chẽ đến tuổi thọ mạng, đang cạnh tranh. Cân bằng chất lượng dịch vụ để kéo dài tuổi thọ mạng là một thách thức đối với việc thiết kế WSN.

Khác với những thách thức và vấn đề thiết kế được liệt kê ở trên, các yếu tố khác phải được xem xét trong thiết kế mạng bao gồm khả năng mở rộng cảm biến, phương tiện truyền dẫn, kết nối, v.v. và các yếu tố khác. Dựa trên những hạn chế thiết kế này, nhiều phương pháp thu thập dữ liệu đã được đề xuất để giải quyết các vấn đề và thách thức.

4- Các phương pháp thu thập dữ liệu trong mạng cảm biến không dây

Việc thu thập dữ liệu trong các WSN đã được tập trung với nhiều phương thức khác nhau trên các cấu trúc mạng khác nhau. Các phương pháp định tuyến ngẫu nhiên, dựa trên cụm và dựa trên cây được đề xuất để có thể đạt được một số mục tiêu tiết kiệm năng lượng, các con đường ngắn nhất hoặc cân bằng năng lượng. Phần này cung cấp một số phân loại phương pháp thu thập dữ liệu theo các mục đích đó với các cuộc thảo luận.

4.1. Các phương pháp phân cấp

Vì các cảm biến đang hoạt động dựa trên pin được sạc trước của chúng, cả phạm vi giao tiếp và phạm vi cảm biến của chúng đều bị hạn chế. Sự giao tiếp giữa các cảm biến được tập trung hơn. Các cảm biến có khả năng điều chỉnh các phạm vi để tổ chức lại mạng. Vì vậy, các phương pháp định tuyến hoặc cấu trúc mạng cần được xem xét nghiêm túc cho mỗi mạng để có thể kéo dài tuổi thọ mạng.

a- Phương pháp phân cụm

Định tuyến dựa trên phân cấp hoặc theo cụm được sử dụng để thực hiện định tuyến tiết kiệm năng lượng trong các WSN. Để giữ cho các cảm biến trong WSN tồn tại lâu hơn trong các nhiệm vụ của chúng, nhiều thuật toán phân cụm đã được phát triển và cải tiến trong nghiên cứu. Các cảm biến được chia thành các cụm theo khu vực với một số cụm thích hợp. Mỗi cụm chọn một trong những người lãnh đạo thành viên, được gọi là trưởng cụm (CH), sẽ đóng vai trò chuyển tiếp tất cả dữ liệu tổng hợp từ cụm đến bồn hoặc BS. Các cảm biến đầu không cụm chỉ gửi dữ liệu của chúng đến CHs riêng của chúng.

Có nhiều thuật toán phân cụm khác nhau. Một số tập trung vào việc cân bằng năng lượng cho các mạng, hoặc khoảng cách giữa các cảm biến không CH và CH và khoảng cách giữa CH và BS; một số khác tối ưu hóa số lượng cụm trong WSN; và những người khác xác định cấu trúc liên kết hiệu quả năng lượng cho mạng. Các phương pháp thu thập dữ liệu phân cấp có các tính năng chung như sau.

- Đầu cụm (CH) có thể được xác định trước bởi nhà thiết kế mạng trước khi được triển khai đến khu vực cảm biến. Các CH này có thể có tài nguyên phong phú hơn các cảm biến đầu không phải cụm vì chúng phải tiêu tốn nhiều năng lượng hơn để truyền dữ liệu tổng hợp từ các cụm đến BS trong

khi tất cả các cảm biến khác chỉ gửi các bài đọc của chúng đến khoảng cách ngắn hơn tới các CH. Cấu hình này có thể giúp làm cho mạng hoạt động lâu hơn nhưng sẽ là một thách thức để triển khai các CH đó đồng đều trong vùng cảm biến. Tuy nhiên, mạng không linh hoạt như dự định hoặc có thể bị lỗi khi một số CH không hoạt động đúng.

- Vai trò của CH có thể được trao đổi (dung sai) bằng thuật toán: trong hầu hết các trường hợp, CH được chọn từ một số cảm biến được triển khai đến các khu vực cảm biến và được xác định sau khi hạ cánh và phân cụm. Tùy thuộc vào một thuật toán cụ thể, một CH được chọn để đáp ứng các yêu cầu của mạng và hoạt động cho đến khi hết điện. Để tránh mạng bị ngắt kết nối vì các cảm biến làm mất năng lượng của chúng, đặc biệt là CH vì chúng hoạt động trong khoảng cách dài nhất với tất cả dữ liệu được thu thập cụm, trong nhiều thuật toán, vai trò của CH sẽ được thay đổi thường xuyên dựa trên các thông báo năng lượng thấp trong cụm. Trong LEACH hoặc HEED, một số lượng CH nhất định được chọn tùy thuộc vào năng lượng dư được đo từ các nút cảm biến. Vì vậy, gánh nặng có thể được chia sẻ cho tất cả các nút có thể giúp cân bằng năng lượng mạng. Các nút được tổ chức thành các cụm địa phương. Trong mỗi cụm, tất cả các cảm biến đều không cụm truyền dữ liệu của chúng đến CH. CH này thu thập dữ liệu từ tất cả các nút trong cụm của nó bao gồm cả dữ liệu của chính nó. CH có thể thực hiện xử lý dữ liệu và sau đó gửi cho BS. Dựa trên điểm này, gánh nặng năng lượng rơi vào CHs vì chúng phải truyền không chỉ một lượng dữ liệu lớn hơn các nút khác mà còn trên một khoảng cách xa hơn từ vị trí của nó. Các CH này tiêu tốn năng lượng nhanh hơn các nút không CH dẫn đến ngắt kết nối mạng trước đó. LEACH được thiết kế để hy vọng rằng tất cả các nút trong WSN có cơ hội tiêu thụ năng lượng như nhau. Mỗi cảm biến lần lượt là một CH với xác suất. Sau một vòng, vai trò là CH sẽ được chuyển sang nút khác.

- Có thể áp dụng định tuyến nhiều bước nhảy hoặc một bước nhảy trong một cụm (giao tiếp trong cụm): Nói chung, CH thường định vị ở giữa các cụm và giảm thiểu tổng khoảng cách giữa các CH nhỏ nhất và CH nhỏ nhất. Nếu các cụm lớn, các liên kết trực tiếp giữa các cảm biến và CH có thể tiêu tốn rất nhiều năng lượng. Trong trường hợp này, chúng tôi gọi truyền dữ liệu hop đơn. Để giảm mức tiêu thụ năng lượng, các liên kết multi-hop cho phép các cảm biến truyền dữ liệu của chúng qua các nút lân cận và cuối cùng đạt tới CH. Những phương pháp này được đề cập trong.
- Định tuyến nhiều cụm hop hoặc đơn hop: Tùy thuộc vào vị trí của BS, mạng sẽ quyết định cách CHs kết nối với BS. Các CH ở xa BS có thể chọn các CH trung gian để chuyển tiếp dữ liệu của họ thay vì gửi trực tiếp đến BS. Những người gần nhất chuyển tiếp tất cả dữ liệu nhận được bao gồm cả dữ liệu của họ cho BS. Khoảng cách truyền càng ngắn, năng lượng tiêu hao càng thấp. Sẽ có một cấu trúc liên kết cây cho các CH được kết nối để thực hiện loại nhiệm vụ này.
- Các phương pháp phân cụm thường tạo thành các cụm không chồng chéo với kích thước bằng nhau hoặc kích thước khác nhau. K-mean hoặc Fuzzy C-mean cố gắng cân bằng mức tiêu thụ năng lượng trong cụm dựa trên khoảng cách giữa các cảm biến không CH và CH của chúng. Trong các phương pháp khác, do CH được chọn ngẫu nhiên, các cảm biến không phải CH thường tìm CH gần nhất để kết nối. Vì vậy, kích thước của các cụm trong các mạng như vậy là khác nhau.
- Cân bằng năng lượng mạng với kích thước cụm không bằng nhau (EEUC): các nhân viên gần gũi với BS thường có hai vai trò, chuyển tiếp dữ liệu nhận được từ những người ở xa BS và gửi dữ liệu của họ đến BS. Vì vậy, các cụm này nên có kích thước nhỏ hơn để giảm mức tiêu thụ năng lượng trong cụm của chính nó để có thể bù từ các nhiệm vụ khác. Trong EEUC, việc đọc dữ

liệu được chuyển từ các cụm sang các cụm gần nhất tới BS và sau đó là BS. Với các cụm có kích thước không bằng nhau, các cụm nhỏ tiêu thụ ít năng lượng hơn cho giao tiếp giữa các cụm nhưng năng lượng lớn hơn trong việc truyền dữ liệu, đó là nghịch đảo của các cụm có kích thước lớn hơn. Vai trò của CHs được xoay giữa các cảm biến trong mỗi vòng thu thập dữ liệu qua mạng. CHs được chọn dựa trên năng lượng còn lại của mỗi nút. Do kích thước cụm khác nhau, có một số lượng lớn các cụm có kích thước nhỏ gần với BS. Và có ít cụm với kích thước lớn xa BS. Các CH dự kiến được chọn lúc đầu với cùng xác suất. EEUC cố gắng cân bằng mức tiêu thụ năng lượng trong toàn bộ WSN để kéo dài tuổi thọ mạng. EEUC cũng đóng góp một tỷ lệ tốt giữa kích thước cụm và khoảng cách từ cụm đến BS.

- Nói chung, phân cụm trong các WSN với nhiều mục tiêu: với mục đích chung là tiết kiệm chi phí vận chuyển và năng lượng và kéo dài tuổi thọ mạng, các mục tiêu có thể cân bằng tải giữa các cụm, tối ưu hóa số cụm, khả năng chịu lỗi, tăng kết nối và giảm kết nối độ trễ.

b- Phương pháp thu thập dựa vào cấu trúc Cây

Dữ liệu định tuyến trong WSN sử dụng cây là rất phổ biến để thu thập dữ liệu. BS được cho là ở gốc của cây để thu thập tất cả dữ liệu cảm nhận từ các nút trong cây. Định tuyến dựa trên cây được cung cấp trong cả cấu trúc liên kết và giao thức hình thành cây để truyền dữ liệu qua.

Các giao thức định tuyến dựa trên cây được đề xuất thường nhằm mục đích tăng cường định tuyến cây và cố gắng kéo dài thời gian tồn tại của mạng. Một giao thức thường bao gồm các giai đoạn khác nhau. Đầu tiên, nó xây dựng một cây logic giữa các nút mạng. Trong quá trình xây dựng, mỗi nút nhận một địa chỉ (ID) và xây dựng bảng lân cận. Thứ hai, nó khai thác các kết nối lân cận để truyền các thông điệp có tính đến năng lượng và độ sâu

của các nút trung gian trong khi truyền. Cuối cùng, cây, hoặc một phần của nó, được xây dựng lại do lỗi nút Nút và lỗi vào nút mới.

Nhiều phương pháp định tuyến dựa trên cây cố gắng giảm thiểu cây bao trùm để tiết kiệm năng lượng trong mạng. Cấu trúc cây bao trùm cần các mạng được kết nối mọi lúc. Những con đường ngắn nhất cũng được xem xét để tìm ra những con đường ngắn nhất từ cảm biến đến BS. Các thuật toán tham lam cũng được coi là tạo thành một cây nơi các cảm biến tìm thấy những cái gần nhất để chuyển tiếp dữ liệu của chúng cho đến khi BS nhận được tất cả dữ liệu cảm biến từ tất cả các nút cảm biến.

4.2. Phương pháp thu thập mặt phẳng

Trong các WSN phẳng, mọi cảm biến thường đóng vai trò giống nhau. Các cảm biến cũng hợp tác để thực hiện các nhiệm vụ cảm biến trong các mạng như vậy. Do số lượng lớn các cảm biến được triển khai trong vùng cảm biến, việc gán các định danh toàn cầu cho tất cả các nút cảm biến là không khả thi. Điều này dẫn đến khó thu thập các tập hợp nút cụ thể được truy vấn. Việc xem xét này đã dẫn đến định tuyến tập trung vào dữ liệu, khác với định tuyến dựa trên địa chỉ truyền thống nơi các liên kết định tuyến được tạo giữa các nút có thể định địa chỉ được quản lý trong lớp mạng. Trong định tuyến tập trung vào dữ liệu, BS gửi các truy vấn đến các vùng nhất định và chờ dữ liệu từ các cảm biến trong các vùng đã chọn.

a- Phương pháp bước ngẫu nhiên

Phương pháp này đã được đề cập trong nhiều nghiên cứu. Mục tiêu của các phương pháp thu thập dữ liệu dựa trên bước đi ngẫu nhiên là để đạt được sự cân bằng tải theo nghĩa thống kê. Vì tất cả các cảm biến làm cạn kiệt năng lượng như nhau, các kết nối trong mạng được tạo bởi các cảm biến có thể tồn tại lâu hơn.

Đi bộ ngẫu nhiên (RW) trên biểu đồ có thể được mô hình thành Chuỗi Markov như được đề cập trong. Các kết nối được tạo ra dựa trên vùng lân cận cảm biến. Mỗi cảm biến có thể có nhiều hơn một kết nối với hàng xóm để sẵn sàng cho việc định tuyến đi bộ ngẫu nhiên. Các bước đi bộ nhảy từ nút này sang nút khác một cách ngẫu nhiên dựa trên xác suất được tạo dựa trên vùng lân cận cảm biến, được gọi là xác suất chuyển tiếp. Cụ thể, nút j tiếp theo trong chuỗi được chọn từ tập hợp lân cận của nút i trước đó trong chuỗi có xác suất P_{ij} . Các xác suất tạo thành ma trận chuyển tiếp $P = [P_{ij}]_{(N \times N)}$ trong đó N là số lượng nút cảm biến. Ma trận có thể được sử dụng để phân tích để giảm thiểu kết nối trong các mạng như vậy.

Dữ liệu cảm biến từ mạng được chuyển tiếp đến BS thông qua các nút trung gian được chọn ngẫu nhiên như đã đề cập ở trên. Định tuyến với RW không cần thông tin toàn cầu hoặc địa phương. Ngoài ra, phương pháp này phù hợp để áp dụng lịch trình ngủ và các sơ đồ chống lỗi có thể kéo dài tuổi thọ mạng.

b- Phương pháp ngập và lan truyền

Phương pháp ngập và lan truyền là hai phương pháp cổ điển để chuyển tiếp dữ liệu trong WSN. Trong phương pháp chống ngập, mỗi cảm biến tiếp tục gửi tin nhắn quảng bá đến các vùng lân cận trong phạm vi truyền cảm biến cho đến khi nhận được gói dữ liệu hoặc số bước nhảy tối đa cho gói tin đạt được. Mặt khác, buôn chuyện là một phiên bản ngập lụt được tăng cường một chút trong đó nút nhận sẽ gửi gói đến một hàng xóm được chọn ngẫu nhiên. Người hàng xóm này sẽ chọn một người hàng xóm ngẫu nhiên khác để chuyển tiếp dữ liệu, v.v.

c- Giao thức cảm biến cho thông tin thông qua đàm phán (SPIN)

SPIN là một nhóm các giao thức phổ biến thông tin dựa trên đàm phán phù hợp với các WSN. Trong các giao thức này, tất cả thông tin được phổ biến

tại mỗi cảm biến đến mọi nút trong mạng. Như đã giả định, tất cả các nút cảm biến có thể là nút chìm hoặc BS. Trong SPIN, các nút cảm biến đặt tên dữ liệu của họ bằng cách sử dụng các bộ mô tả dữ liệu cấp cao, còn được gọi là dữ liệu meta, để loại bỏ việc truyền dữ liệu dư thừa trên toàn mạng. Trước khi truyền, dữ liệu meta được trao đổi giữa các cảm biến thông qua cơ chế quảng cáo dữ liệu. Mỗi cảm biến khi nhận được dữ liệu mới, quảng cáo nó cho hàng xóm và hàng xóm quan tâm. Các cảm biến không có dữ liệu lấy dữ liệu bằng cách gửi tin nhắn yêu cầu.

Các nút cảm biến đàm phán với nhau. Các cuộc đàm phán đảm bảo rằng các nút chỉ truyền dữ liệu khi cần thiết và không bao giờ lãng phí năng lượng vào các truyền dẫn vô ích. Đàm phán siêu dữ liệu SPIN sườn giải quyết các vấn đề về lũ lụt như truyền thông tin dư thừa, chồng chéo vùng cảm nhận và mù tài nguyên.

Một trong những lợi thế của SPIN là các thay đổi topology được bản địa hóa do mỗi nút chỉ cần biết các lân cận của nó với các liên lạc đơn lẻ. Tuy nhiên, cơ chế quảng cáo dữ liệu không thể đảm bảo phân phối dữ liệu. Ví dụ, khi xem xét ứng dụng phát hiện xâm nhập nơi dữ liệu phải được báo cáo theo các khoảng thời gian định kỳ và giả sử rằng các nút quan tâm đến dữ liệu được đặt cách xa nút nguồn, v.v. dữ liệu đó sẽ không được gửi đến đích.

d- Phương pháp định hướng khuếch tán

Đây là một thuật toán định tuyến tập trung vào dữ liệu (DC) trong đó tất cả các giao tiếp dành cho dữ liệu được đặt tên. Tất cả các nút trong mạng dựa trên khuếch tán có hướng đều nhận biết ứng dụng. Dữ liệu được tạo bởi các nút cảm biến được đặt tên theo các cặp giá trị thuộc tính. Ý tưởng chính của mô hình DC là kết hợp dữ liệu đến từ nhiều nguồn bằng cách loại bỏ sự dư thừa, giảm thiểu số lượng truyền, do đó tiết kiệm năng lượng mạng và kéo dài tuổi thọ mạng.

Trong DC, các nút cảm biến phát hiện các sự kiện và tạo độ dốc thông tin trong các vùng lân cận tương ứng của chúng. BS yêu cầu dữ liệu bằng cách phát sóng lợi ích. Một sở thích mô tả một nhiệm vụ cần thiết phải được thực hiện bởi mạng. Sự quan tâm lan tỏa qua mạng hop bằng cách nhảy từ hàng xóm sang hàng xóm. Khi sự quan tâm được phát trong mạng, độ dốc được thiết lập để vẽ dữ liệu thỏa mãn truy vấn về nút yêu cầu. Mỗi cảm biến nhận được sự quan tâm sẽ thiết lập một độ dốc về phía các cảm biến mà nó nhận được sự quan tâm. Quá trình này tiếp tục cho đến khi độ dốc được thiết lập từ các nguồn trở lại BS.

Một gradient chỉ định một giá trị thuộc tính và hướng. Độ mạnh của độ dốc có thể khác nhau do các lân cận khác nhau dẫn đến luồng thông tin khác nhau. Khi sở thích phù hợp với độ dốc, các đường dẫn cho luồng thông tin được hình thành từ nhiều đường dẫn, và sau đó các đường dẫn tốt nhất được củng cố để ngăn chặn lũ lụt tiếp theo theo quy tắc địa phương. Dữ liệu được tổng hợp để giảm chi phí truyền thông. Mục tiêu là tìm một cây tổng hợp để truyền dữ liệu từ các nút nguồn đến BS. BS định kỳ làm mới và gửi lại tiền lãi khi bắt đầu nhận dữ liệu từ các nguồn.

e- Phương pháp thu thập tin đồn

Đây là một sự thỏa hiệp hợp lý giữa các truy vấn ngập lụt và thông báo sự kiện ngập lụt. Ý tưởng chính trong định tuyến tin đồn là định tuyến các truy vấn đến các nút đã quan sát một sự kiện cụ thể thay vì làm ngập toàn bộ mạng để lấy thông tin về các sự kiện xảy ra. Mỗi nút duy trì một danh sách các láng giềng cũng như một bảng sự kiện. Khi một nút cảm biến tạo ra một truy vấn cho một sự kiện, những người biết tuyến đường có thể trả lời truy vấn bằng cách kiểm tra bảng sự kiện của nó. Lưu ý rằng bất kỳ nút nào cũng có thể tạo ra một truy vấn, cần được định tuyến đến một sự kiện cụ thể. Không cần thiết phải làm ngập toàn bộ mạng. Định tuyến tin đồn chỉ duy trì

một đường dẫn giữa nguồn và đích trái ngược với khuếch tán có hướng trong đó dữ liệu có thể được định tuyến qua nhiều đường ở tốc độ thấp.

Định tuyến tin đồn chỉ có thể thực hiện tốt khi số lượng sự kiện nhỏ. Đối với một số lượng lớn các sự kiện, chi phí cho việc duy trì các tác nhân và bảng sự kiện trong mỗi nút trở nên không khả thi nếu không có đủ sự quan tâm đến các sự kiện này từ BS. Ngoài ra, chi phí liên quan đến định tuyến tin đồn được kiểm soát bởi các tham số khác nhau được sử dụng trong thuật toán, chẳng hạn như thời gian để liên quan đến các truy vấn và tác nhân.

f- Thuật toán chuyển tiếp chi phí tối thiểu (MCFA)

Trong phương pháp này, mỗi cảm biến nên biết đường dẫn chi phí thấp nhất ước tính từ chính nó đến BS. BS phát đi một thông điệp với chi phí được đặt thành 0, trong khi mọi cảm biến bắt đầu chi phí tối thiểu của nó đến BS đến vô cùng. Mỗi nút cảm biến, khi nhận được tin nhắn quảng bá có nguồn gốc từ BS, sẽ kiểm tra xem liệu ước tính trong tin nhắn cộng với liên kết mà nó nhận được có nhỏ hơn ước tính hiện tại để cập nhật hay không. Trong trường hợp này, các nút ở xa BS nhận được nhiều cập nhật hơn các nút gần với BS hơn. Khi trường chi phí được thiết lập, bất kỳ cảm biến nào cũng có thể phân phối dữ liệu đến phần chìm dọc theo đường dẫn chi phí tối thiểu. Mỗi nút trung gian chỉ chuyển tiếp thông báo nếu nó tìm thấy chính nó trên đường dẫn tối ưu cho thông báo này dựa trên trạng thái chi phí tin nhắn.

g- Phương pháp định tuyến dựa trên độ dốc (GBR)

Trong GBR, mỗi cảm biến sẽ tính toán một tham số gọi là chiều cao của nút, đây là số bước nhảy tối thiểu để đạt được BS. Sự khác biệt giữa chiều cao của cảm biến và chiều cao của hàng xóm được coi là độ dốc trên liên kết đó. Một gói được chuyển tiếp trên một liên kết có độ dốc lớn nhất. GBR sử dụng các kỹ thuật phụ trợ như tổng hợp dữ liệu và phân tán lưu lượng để phân chia lưu lượng truy cập qua mạng một cách thống nhất.

Trong GBR, ba kỹ thuật phổ biến dữ liệu khác nhau đã được thảo luận. Sơ đồ ngẫu nhiên, trong đó một cảm biến chọn một gradient ngẫu nhiên khi có nhiều hơn một bước nhảy tiếp theo có cùng một gradient. Trong sơ đồ dựa trên năng lượng, cảm biến sẽ tăng chiều cao khi năng lượng của nó giảm xuống dưới một ngưỡng nhất định. Trong sơ đồ dựa trên luồng, các luồng mới không được định tuyến qua các nút hiện là một phần của đường dẫn của các luồng khác. Mục tiêu chính của các chương trình này là cân bằng lưu lượng trong mạng, để kéo dài tuổi thọ mạng.

h- Phương pháp truy vấn cảm biến hướng thông tin và định tuyến khuếch tán bất đẳng hướng

Phương pháp mô tả hai kỹ thuật, truy vấn cảm biến điều khiển thông tin (IDSQ) và định tuyến khuếch tán bất đẳng hướng bị hạn chế (CADR), để truy vấn và định tuyến dữ liệu hiệu quả năng lượng trong các mạng cảm biến ad-hoc. Ý tưởng là truy vấn các cảm biến và định tuyến dữ liệu trong mạng để tối đa hóa mức tăng thông tin, đồng thời giảm thiểu độ trễ và băng thông.

Trong CADR, mỗi nút đánh giá một mục tiêu thông tin và định tuyến dữ liệu dựa trên độ dốc thông tin cục bộ và yêu cầu của người dùng cuối. Các biện pháp tiện ích thông tin được mô hình hóa bằng lý thuyết ước tính tiêu chuẩn. CADR khuếch tán các truy vấn bằng cách sử dụng một bộ tiêu chí thông tin để chọn cảm biến nào có thể lấy dữ liệu. Điều này đạt được bằng cách chỉ kích hoạt các cảm biến gần với một sự kiện cụ thể và tự động điều chỉnh các tuyến dữ liệu.

Trong IDSQ, nút truy vấn có thể xác định nút nào có thể cung cấp thông tin hữu ích nhất với lợi thế bổ sung là cân bằng chi phí năng lượng. Mặc dù IDSQ cung cấp cách chọn thứ tự tối ưu của cảm biến để tăng thông tin gia tăng tối đa, nhưng nó không xác định cụ thể cách truy vấn và thông tin được

định tuyến giữa các cảm biến và BS. Do đó IDSQ có thể được coi là một thủ tục tối ưu hóa bổ sung.

i- Phương pháp chuyển tiếp truy vấn hoạt động (ACQUIRE)

Trong ACQUIRE, một truy vấn hoạt động được chuyển tiếp qua mạng và các nút trung gian sử dụng thông tin cục bộ được lưu trong bộ nhớ cache (trong vòng một bước trước d hops) để giải quyết một phần truy vấn. Khi truy vấn được giải quyết hoàn toàn, một phản hồi đã hoàn thành được gửi trực tiếp back lo nút truy vấn.

Tương tự như COUGAR, ACQUIRE xem mạng dưới dạng cơ sở dữ liệu phân tán, nơi các truy vấn phức tạp có thể được chia thành nhiều truy vấn phụ. Hoạt động của phương pháp này có thể được giải quyết như sau. BS gửi một truy vấn đến các cảm biến khác. Trong quá trình này, mỗi nút cảm biến cố gắng trả lời một phần truy vấn bằng cách sử dụng thông tin được lưu trong bộ nhớ cache của nó và sau đó chuyển tiếp nó đến một nút khác. Nếu thông tin được lưu trong bộ nhớ cache không được cập nhật, các nút sẽ thu thập thông tin từ hàng xóm của họ trong một cái nhìn trước các bước nhảy. Khi truy vấn được giải quyết hoàn toàn, nó sẽ được gửi trở lại qua đường dẫn ngược hoặc ngắn nhất tới BS. Do đó, ACQUIRE có thể xử lý các truy vấn phức tạp bằng cách cho phép nhiều cảm biến gửi phản hồi.

ACQUIRE chọn nút tiếp theo để chuyển tiếp một truy vấn có hai tùy chọn, chọn ngẫu nhiên hoặc chọn dựa trên sự hài lòng truy vấn tiềm năng tối đa.

j- Phương pháp nhận thức năng lượng

Mục tiêu của phương pháp này là cố gắng tìm đường năng lượng tối thiểu để tối ưu hóa việc sử dụng năng lượng tại một nút để tăng tuổi thọ mạng. Nó duy trì một tập hợp các đường dẫn thay vì duy trì hoặc thực thi một đường dẫn tối ưu ở mức cao hơn. Những con đường này được duy trì và lựa chọn bằng một xác suất nhất định. Xác suất phụ thuộc vào mức độ tiêu thụ năng

lượng thấp mà mỗi con đường có thể đạt được. Bằng cách chọn các đường dẫn tại các thời điểm khác nhau, năng lượng của bất kỳ đường dẫn đơn lẻ nào sẽ không bị cạn kiệt nhanh chóng. Ngoài ra, năng lượng bị tiêu tán đồng đều giữa tất cả các cảm biến giúp cân bằng mức tiêu thụ năng lượng trong mạng và kéo dài tuổi thọ của mạng.

4.3. Phương pháp thu thập dữ liệu dựa trên vị trí

Có nhiều phương pháp thu thập dữ liệu cho các WSN yêu cầu thông tin vị trí cho các cảm biến để tính khoảng cách truyền dữ liệu giữa hai cảm biến hoặc giữa các cảm biến và BS. Dựa vào đó, mức tiêu thụ năng lượng để truyền dữ liệu có thể được ước tính. Thông tin cục bộ của cảm biến có thể được sử dụng trong định tuyến theo cách tiết kiệm năng lượng. Chẳng hạn, truy vấn chỉ có thể được khuếch tán đến một vùng cụ thể có thể làm giảm số lượng truyền giữa các cảm biến.

a- MECN and SMECN

Mạng truyền thông năng lượng tối thiểu thiết lập và duy trì mức tiêu thụ năng lượng tối thiểu cho WSN bằng cách sử dụng GPS công suất thấp. Bài viết mô tả một giao thức mạng phân tán được tối ưu hóa để đạt được năng lượng tối thiểu cho các mạng ad-hoc được triển khai ngẫu nhiên. Giao thức mạng không chỉ duy trì một mạng được kết nối toàn cầu mặc dù có thể xảy ra lỗi mô-đun, mà còn xác định chiến lược quản lý năng lượng chính dựa trên thiết kế bộ thu phát RF công suất thấp. Mặc dù thuật toán được thiết kế cho các mạng di động, nhưng nó có thể áp dụng cho các WSN.

MECN xác định vùng chuyển tiếp cho mọi nút. Vùng chuyển tiếp bao gồm các nút trong khu vực xung quanh nơi truyền qua các nút đó tiết kiệm năng lượng hơn so với truyền trực tiếp. Ý tưởng chính của MECN là tìm một mạng con, mạng này sẽ có số lượng nút nhỏ hơn và cần ít năng lượng hơn

để truyền giữa hai nút cụ thể. Theo cách này, các đường dẫn công suất tối thiểu toàn cầu được tìm thấy mà không cần xem xét tất cả các nút trong mạng.

MECN tự cấu hình lại và do đó có thể tự động thích ứng với lỗi nút hoặc triển khai các cảm biến mới. Trong SMECN là phần mở rộng của MECN, các trở ngại có thể có giữa bất kỳ cặp nút nào đều được xem xét. Mạng luôn được kết nối như trong MECN, nhưng SMECN tiêu thụ ít năng lượng hơn MECN.

b- Độ trung thực thích ứng địa lý (GAF)

GAF là một thuật toán định tuyến dựa trên vị trí nhận biết năng lượng được thiết kế chủ yếu cho các mạng ad-hoc di động. Nó cũng có thể được áp dụng cho WSN. Vùng cảm biến được chia thành các vùng cố định tạo thành lưới ảo. Trong mỗi khu vực, các nút cảm biến hợp tác với nhau để đóng vai trò khác nhau, ngủ và thức chẳng hạn. Mỗi nút sử dụng GPS của nó để liên kết chính nó với một điểm trong lưới ảo. Các nút liên kết với cùng một điểm trên lưới được coi là tương đương về chi phí định tuyến gói. Sự tương đương như vậy được khai thác trong việc giữ một số nút nằm trong một khu vực lưới cụ thể ở trạng thái ngủ để tiết kiệm năng lượng.

Có ba trạng thái được xác định trong khám phá GAF để xác định các lân cận trong lưới; hoạt động để phản ánh sự tham gia trong định tuyến; và ngủ khi tắt radio để tiết kiệm năng lượng. Các nút thay đổi trạng thái từ ngủ sang hoạt động lần lượt để tải được cân bằng để kéo dài tuổi thọ mạng. GAF cố gắng giữ cho mạng được kết nối bằng cách giữ một nút đại diện luôn ở chế độ hoạt động cho từng vùng trên lưới ảo của nó. GAF thực hiện ít nhất cũng như một giao thức định tuyến đặc biệt bình thường về độ trễ và mất gói và tăng tuổi thọ của mạng bằng cách tiết kiệm năng lượng. GAF có thể được coi là một giao thức phân cấp, trong đó các cụm dựa trên vị trí địa lý.

c- Định tuyến nhận thức về địa lý và năng lượng (GEAR)

GEAR sử dụng phương pháp phỏng đoán lựa chọn hàng xóm nhận biết về năng lượng và thông tin địa lý để định tuyến một gói đến khu vực đích. Ý tưởng chính là hạn chế số lượng quan tâm trong việc khuếch tán theo hướng bằng cách chỉ xem xét một khu vực nhất định thay vì gửi lỗi cho toàn mạng. GEAR có thể bảo tồn nhiều năng lượng hơn khuếch tán theo hướng.

Trong GEAR, mỗi cảm biến giữ một chi phí ước tính và chi phí học tập để đến đích thông qua các nước láng giềng. Chi phí ước tính là sự kết hợp giữa năng lượng dư và khoảng cách đến đích. Có hai giai đoạn: (1) Chuyển tiếp các gói tới vùng đích: Khi nhận được gói, một nút sẽ kiểm tra các lân cận của nó để xem liệu có một lân cận nào gần khu vực đích hơn chính nó không. Nếu không có nhiều hơn một, hàng xóm gần nhất được chọn làm bước nhảy tiếp theo. Nếu tất cả chúng đều xa hơn chính nút, một trong những hàng xóm được chọn để chuyển tiếp gói dựa trên hàm chi phí học tập. (2) Chuyển tiếp các gói trong khu vực: Nếu gói đã đến khu vực, nó có thể được khuếch tán trong khu vực đó bằng cách chuyển tiếp địa lý đệ quy hoặc lũ lụt bị hạn chế. GEAR được so sánh với GPSR trong việc giải quyết vấn đề lỗi hồng. GEAR không chỉ giảm mức tiêu thụ năng lượng cho thiết lập tuyến mà còn vượt trội hơn GPSR về khả năng phân phối gói.

d- MFR, DIR, and GEDIR

Các giao thức này xử lý các khoảng cách cơ bản, tiến độ và phương pháp dựa trên hướng. Các ý tưởng chính là hướng về phía trước và phía sau. Một nút nguồn hoặc bất kỳ nút trung gian nào sẽ chọn một trong các nút lân cận theo một tiêu chí nhất định. Các phương thức định tuyến thuộc danh mục này là Chuyển tiếp nhiều nhất trong Bán kính (MFR), Định tuyến khoảng cách địa lý (GEDIR) bao gồm một biến thể của thuật toán tham lam, phương

pháp tham lam hai bước, phương pháp tham lam xen kẽ và Phương thức định tuyến la bàn).

GEDIR là một thuật toán tham lam luôn di chuyển gói đến hàng xóm của đỉnh hiện tại có khoảng cách đến đích được thu nhỏ. Thuật toán thất bại khi gói vượt qua cùng một cạnh hai lần liên tiếp. Trong hầu hết các trường hợp, phương pháp MFR và tham lam có cùng đường dẫn đến đích. Ở TRỰC TIẾP, người hàng xóm tốt nhất có hướng gần nhất đến đích. GEDIR và MFR không có vòng lặp, trong khi DIR có thể tạo các vòng lặp trừ khi lưu lượng truy cập trong quá khứ được ghi nhớ hoặc dấu thời gian được thi hành.

e- SPAN

SPAN là một thuật toán phối hợp hiệu quả năng lượng để bảo trì cấu trúc liên kết trong mạng không dây Ad Hoc chọn một số nút làm điều phối viên dựa trên vị trí của chúng. SPAN thích nghi bầu các điều phối viên từ tất cả các nút trong mạng và xoay chúng kịp thời. Các điều phối viên tạo thành một xương sống mạng được sử dụng để chuyển tiếp tin nhắn. Một nút sẽ trở thành một điều phối viên nếu hai hàng xóm của một nút không phối hợp có thể tiếp cận trực tiếp với nhau hoặc thông qua một hoặc hai điều phối viên. Các điều phối viên mới và hiện tại không nhất thiết là hàng xóm, điều này có hiệu quả làm cho thiết kế ít tiết kiệm năng lượng hơn do phải duy trì vị trí của các hàng xóm hai hoặc ba hop trong thuật toán SPAN phức tạp. Các điều phối viên SPAN luôn tỉnh táo và thực hiện định tuyến gói nhiều bước trong mạng ad hoc, trong khi các nút khác vẫn ở chế độ tiết kiệm năng lượng và kiểm tra định kỳ xem họ có nên thức dậy và trở thành điều phối viên hay không.

SPAN không chỉ bảo tồn kết nối mạng, nó còn bảo tồn dung lượng, giảm độ trễ và cung cấp tiết kiệm năng lượng đáng kể. Lượng năng lượng mà SPAN

tiết kiệm chi tăng lên một chút khi mật độ tăng. Điều này phần lớn là do việc triển khai SPAN hiện tại sử dụng các tính năng tiết kiệm năng lượng của 802.11, trong đó các nút định kỳ thức dậy và lắng nghe các quảng cáo giao thông.

5- Nghiên cứu các phương pháp đang phổ biến

Sự hợp tác giữa các robot trong MSN đã được nghiên cứu với các ứng dụng khác nhau, từ giám sát (ví dụ: phòng ngừa ô nhiễm, nông nghiệp chính xác, trường hợp khẩn cấp lũ lụt) và theo dõi mục tiêu (ví dụ: giám sát). Các robot di động kết nối với nhau với phạm vi liên lạc hạn chế để trao đổi dữ liệu cảm nhận của chúng thông qua hàng xóm của chúng cho các mục đích được lập trình. Chiến lược triển khai robot hai giai đoạn, các robot trong các nhóm ở xa được hợp nhất thành một nhóm bao gồm một khu vực mong muốn và thông tin liên lạc của robot được tối ưu hóa về số lượng truyền dự kiến trên mỗi gói được gửi thành công, đã được đề xuất.

Dựa trên một số sơ đồ định tuyến dữ liệu sử dụng CS trong các mạng cảm biến không dây (WSN), gần đây, có một vài nghiên cứu nghiên cứu về sự tích hợp giữa CS và tính di động của cảm biến. Một số đã giám sát các mạng lưới sử dụng CS để giảm chi phí liên lạc. Một số đã xây dựng bản đồ các khu vực cảm biến và chương ngại vật / vật thể bằng cách sử dụng các mạng robot và cảm biến di động hợp tác, tương ứng. Các cảm biến di động và robot được đề cập trong các bài báo được sử dụng bên ngoài các khu vực cảm biến. Một số cảm biến di động được triển khai ngẫu nhiên trong không gian làm việc để thu thập dữ liệu để tạo các phép đo CS. Họ trao đổi các phép đo giữa các nước láng giềng của mình để đạt được số lượng đo CS đủ để tái cấu trúc tất cả dữ liệu được thu thập từ vùng cảm biến. Trong một số

ngiên cứu, robot di động thực hiện các bước đi ngẫu nhiên độc lập để thu thập các phép đo CS để có thể xây dựng các bản đồ vô hướng.

Chúng tôi đã xem xét các phương pháp đồng thuận hiện đang được sử dụng trong việc chia sẻ dữ liệu giữa các robot để xây dựng bản đồ vô hướng. Trong các phương pháp như vậy, tất cả dữ liệu cảm giác từ POI cần phải được chuyển giữa các robot gây ra chi phí liên lạc lớn. Ngoài ra, khi robot di động di chuyển đến thăm tất cả các POI, nhiều POI được truy cập nhiều lần gây ra sự dư thừa trong lấy mẫu và di chuyển. Khác với các phương pháp đồng thuận, thuật toán đề xuất của chúng tôi không yêu cầu robot di động duy trì kết nối của chúng trong khi di chuyển và thu thập dữ liệu. Tính năng này là mới và nó có thể hữu ích cho các ứng dụng trong thế giới thực, nơi các chướng ngại vật ngẫu nhiên có thể tồn tại và làm gián đoạn kết nối mạng. Ngoài ra, mạng robot chỉ cần truy cập vào một số vị trí mục tiêu nhất định trên trường thay vì phủ sóng toàn trường để có thể khôi phục bản đồ trường vô hướng dựa trên thực tế là các số đọc cảm giác của chúng ta có tương quan cao.

Các công trình nghiên cứu hiện tại đã không đề cập đến sự hợp tác giữa các cảm biến robot trong việc chia sẻ dữ liệu cảm biến tích lũy của chúng để tạo thành các phép đo CS. Trong phương pháp đề xuất của chúng tôi, các robot chỉ cần lấy mẫu và truyền cho nhau số lượng mẫu nhỏ hơn nhiều so với tổng số POI. Mỗi robot phân tán có thể xây dựng lại dữ liệu từ POI dựa trên một số phép đo nhất định được thu thập. Ma trận đo lường trong CS, còn được gọi là ma trận định tuyến và một số yếu tố mạng quan trọng được phân tích để đề xuất tối ưu hóa mạng. Những đóng góp của bài báo của chúng tôi có thể được tóm tắt như sau.

- Một thuật toán cảm biến di động hợp tác và nén mới để lập bản đồ trường vô hướng tại mỗi robot di động trong MSN phân tán được đề xuất.
- Tiêu thụ điện năng cho các robot được mô hình hóa và xây dựng. Phạm vi cảm nhận được phân tích chi tiết.
- Một số yếu tố quan trọng của mạng robot như số lượng robot di động, thời gian hội tụ, phạm vi liên lạc và phạm vi cảm biến của robot được phân tích và mô phỏng để giảm thiểu mức tiêu thụ điện năng của mạng.

6- Xây dựng bài toán

Trong phần này, trước tiên chúng tôi mô hình hóa một mạng lưới robot để có thể di chuyển trong khu vực cảm biến và thu thập / đo lường dữ liệu. Một số thông số chính cho các robot được xác định. Để sử dụng CS, chúng tôi trình bày các quy trình trao đổi và tạo các phép đo CS giữa các robot để có thể xây dựng lại các bản đồ vô hướng dựa trên thuật toán phục hồi CS ở mỗi robot phân tán.

6.1. Công nghệ nén cảm biến

Công nghệ lấy mẫu nén (CS – Compressive sensing) cho phép khôi phục toàn bộ dữ liệu dựa trên một số lượng mẫu nhỏ hơn rất nhiều so với các phương pháp nén và lấy mẫu thông thường như Shannon /Nyquist. Điều kiện tiên quyết để sử dụng công nghệ này là tín hiệu phải “thưa - rộng” trong miền thích hợp.

a. Biểu diễn của tín hiệu:

Một tín hiệu, ví dụ $X = [x_1 x_2 \dots x_N]^T \in \mathbb{R}^N$, được định nghĩa là rộng mức k nếu nó có biểu diễn tín hiệu ở một miền nào đó thích hợp, ví dụ $\psi = [\psi_l, j] \in \mathbb{R}^{N \times N}$ và $X = \psi \theta$ và θ có k thành phần khác 0 và các thành phần nhỏ còn lại có thể coi như bằng không.

b. Lấy mẫu tín hiệu và ma trận lấy mẫu

Các mẫu cảm biến được tạo ra dựa trên công thức $Y = \Phi X$, where $\Phi = [\varphi_{i,j}] \in \mathbb{R}^{M \times N}$ bao gồm các thành phần là các hệ số Gaussian được tạo ra một cách ngẫu nhiên. Vector các mẫu cảm biến còn có thể được viết như sau: $Y = [y_1 y_2 \dots y_M]^T \in \mathbb{R}^M$.

c. Khôi phục tín hiệu

Với số lượng mẫu cảm biến nhất định $M = O(k \log N / k)$ có thể khôi phục được toàn bộ dữ liệu cảm biến.

$$\hat{\Theta} = \operatorname{argmin} \|\Theta\|_1, \text{ s.t. } Y = \Phi \Psi \Theta \quad (1)$$

Trên thực tế, những mẫu cảm biến khi thu thập được sẽ thường gắn với nhiễu như sau: $Y = \Phi X + e$, trong đó $\|e\|_2 = \epsilon$. Và dữ liệu sẽ được khôi phục theo thuật toán sau:

$$\hat{\Theta} = \operatorname{argmin} \|\Theta\|_1, \text{ s.t. } \|Y - \Phi \Psi \Theta\|_2 < c \quad (2)$$

6.2. Xây dựng hệ thống

Chúng tôi giả định rằng trường cảm biến có POI ngẫu nhiên N tương ứng với số đọc cảm giác không xác định N cho ánh xạ vô hướng. Chúng tôi cũng giả định rằng robot di động phân tán L hoạt động như một nhóm trong khu vực để thu thập dữ liệu định kỳ. Có một thuật toán hợp tác dẫn các robot bao quát tất cả các khu vực cảm biến sẽ được giải quyết trong phần sau. Các robot kết nối không dây với nhau giữa một phạm vi R_c , được gọi là phạm vi giao tiếp. Các robot có phạm vi cảm biến bằng nhau, ký hiệu là R_s , thường được thiết lập nhỏ hơn R_c . Trong bài báo này, chúng được chọn là $R_c > 2R_s$ và R_c của các robot được chọn nhỏ hơn nhiều so với trường cảm biến do sức

mạnh hạn chế của chúng. Robot được kết nối thông qua hàng xóm của chúng để chia sẻ dữ liệu với nhau.

Các thuật toán điều khiển hợp tác với các nhà lãnh đạo ảo được xác định trước được chọn để dẫn dắt robot đo dữ liệu và tránh chướng ngại vật và lấy mẫu toàn bộ trường vô hướng. Những trở ngại và giới hạn của R_c khiến nhóm robot không được kết nối đầy đủ mọi lúc. Điều này không ảnh hưởng đến phương pháp thu thập dữ liệu được đề xuất của chúng tôi sẽ được phân tích trong các phần sau.

Với một trường không xác định có N giá trị vô hướng cần quan sát, các số đọc cảm giác vô hướng được biểu diễn dưới dạng X . Trong khoảng thời gian T , thuật toán hợp tác dẫn nhóm robot phân tán L được kết nối để đo tất cả trường cảm biến. Khoảng thời gian T được chia thành các khe thời gian M là $t = T/M$. Một phép đo CS cần được thu thập tại mỗi robot sau một khe thời gian t .

6.3. Thu thập dữ liệu

Tại một thời điểm tức thì, mỗi robot có thể cảm nhận được một số POI trong phạm vi cảm biến của nó trong vòng tròn màu đỏ. Như đã giả định, việc phân phối POI là ngẫu nhiên.

Trong đó S là vùng cảm nhận. Do giả định, không có vùng cảm ứng chồng chéo giữa các robot L . Hình cũng minh họa rằng có những vùng không chồng lấp được đo bằng robot. Điều đó có nghĩa là không có vùng hoặc POI nào được đo nhiều lần cùng một lúc.

6.4. Các robot trao đổi dữ liệu:

Sau khi cộng tất cả các giá trị vô hướng lại với nhau, các robot chia sẻ số đọc tích lũy của chúng được đính kèm với các chỉ số tương ứng của POI thông qua các vùng lân cận robot dựa trên phạm vi giao tiếp R_c . Sau một số

lần chia sẻ dữ liệu nhất định, được xác định là thời gian hội tụ, các robot phân tán sẽ tự mình đạt được một phép đo CS, đó là tổng dữ liệu cảm giác từ tất cả các POI được cảm nhận bởi các robot được kết nối L bộ di động.

6.5. Các robot tiếp tục tạo ra các mẫu nén cảm biến mới:

Được điều khiển bởi thuật toán điều khiển hợp tác với các nhà lãnh đạo ảo, nhóm robot phân tán L di chuyển đến thăm các POI khác nhau để thu thập dữ liệu. Tại một thời điểm khác ($t + 1$), nhóm tạo thêm một phép đo CS theo các bước trước đó (thu thập và trao đổi dữ liệu). Sau các khe thời gian M hoặc khoảng thời gian T ($T = M t$), một robot phân phối lưu trữ các phép đo M CS cho quá trình khôi phục CS.

6.6. Khôi phục dữ liệu tại từng robot

Sau khi thu thập đủ M mẫu nén cảm biến, mỗi robot sẽ áp dụng thuật toán khôi phục dữ liệu cảm biến để khôi phục lại toàn bộ dữ liệu của toàn bộ vùng cảm biến đã được lấy mẫu bởi các robot theo công thức (1) hoặc (2).

7- Thuật toán điều khiển nhóm tiên tiến

Trong phần này, một thuật toán điều khiển có tên Advanced Flocking Control (AFC) được đề xuất để dẫn các cảm biến di động hoạt động trong các lĩnh vực cảm biến cho các mục đích tiết kiệm năng lượng. Thuật toán này thực sự có hai phần. Đầu tiên một cảm biến di động dẫn đầu di chuyển trong các lĩnh vực cảm biến. Cái thứ hai khai thác tính di động của các cảm biến và mẫu với ít dữ liệu được gửi trong mạng được kết nối cho mục đích tiết kiệm năng lượng.

Như đã đề cập, chúng ta có L-cảm biến di động tạo nên một mạng lưới $G(V, E)$. Tập hợp $V = \{1, 2, \dots, L\}$ đại diện toàn bộ các bộ cảm biến di động.

Tập hợp $E = \{(i, j): i, j \in V, i \neq j\}$ được tạo nên bởi các kết nối giữa các bộ cảm biến di động thông qua đường truyền R_c .

Gọi $p_i, v_i \in R^2$ là vị trí và tốc độ của robot thứ i^{th} . Để cho đơn giản, chuyển động của các robot hay bộ cảm biến di động được định nghĩa như sau:

$$\begin{cases} p_i = v_i \\ v_i = u_i, i = 1, 2, \dots, L \end{cases} \quad (3)$$

Trong đó u_i là vector điều khiển đầu vào của robot thứ i^{th} . Công thức (3) có thể được sử dụng để xây dựng/ mô phỏng các bộ cảm biến di động có khả năng vận động theo nhiều hướng khác nhau như Rovio robots.

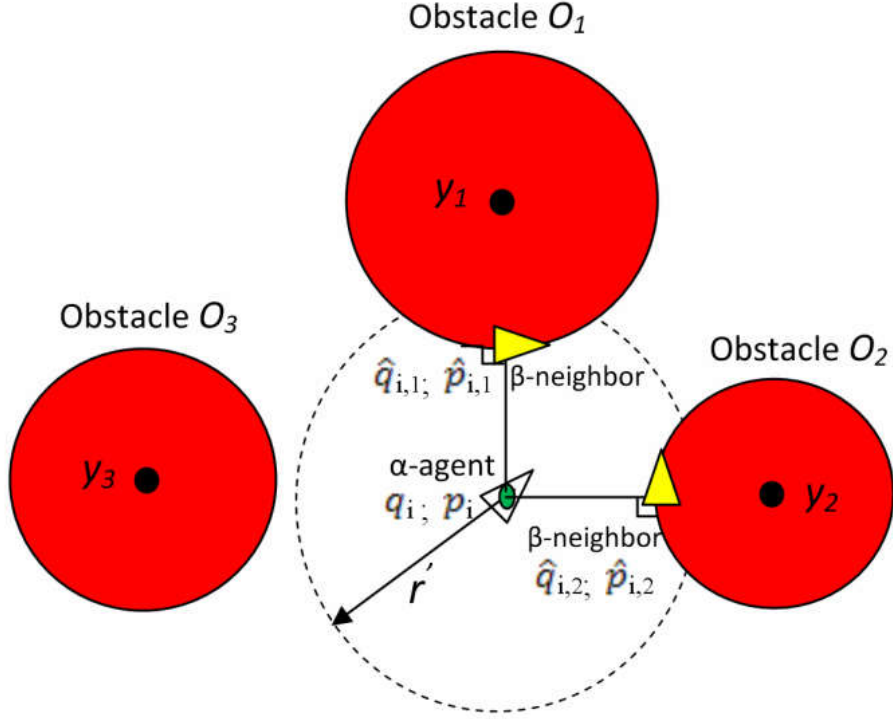
Ta sẽ định nghĩa tập các bộ cảm biến gần nhau của bộ cảm biến thứ i^{th} tại thời điểm t như sau:

$$N_i^a(t) = \{j \in V: \|p_j - p_i\| \leq r_a, i \neq j\} \quad (4)$$

Trong đó r_a là khoảng vận động, và $\|p_j - p_i\|$ là khoảng cách giữa các robots. Phần này định nghĩa các bộ cảm biến gần kề thực tế, từ đó sẽ dẫn tới việc hoạt động để tránh các vật chướng ngại. Tập các bộ cảm biến gần kề ảo của bộ cảm biến i tại thời điểm t với K vật cản được định nghĩa như sau:

$$N_i^v(t) = \{k \in V_o: \|p_{ik} - p_i\| \leq r_o, V_o = \{1, 2, \dots, K\}\} \quad (5)$$

Trong đó r_o là khoảng cách nhận diện vật cản, và V_o là tập các vật cản. p_{ik} là vị trí của bộ cảm biến thứ i^{th} trong điều kiện gặp vật cản thứ k^{th} . Để thuận tiện, ta chỉ sử dụng N_i^a và N_i^v trong thời điểm t . Những bộ cảm biến cận kề ảo được sử dụng để tạo ra những lực để đẩy các bộ cảm biến ra xa khỏi các vật cản. Những vật cản di động có thể coi như những kẻ săn mồi cần phải tránh xa.



Hình 2: Các hàm thực hiện việc điều khiển đàn robot di chuyển trên miền cảm biến tránh các vật cản (3 vật cản màu đỏ)

Các cảm biến di động trong nhóm sẽ phối hợp với các bộ khác cần kề để tạo thành một hình dạng hình học nhất định (ví dụ: hình thành mạng tinh thể) trong khi tránh va chạm với nhau và các chướng ngại vật tĩnh / di chuyển. Luật điều khiển hợp tác/hợp tác và phân tán u_i được giới thiệu ở đây bao gồm 3 vấn đề: Điều khiển chung f_i^f , Tránh vật cản f_i^o , và di chuyển các hướng f_i^n ,

$$u_i = f_i^f \mid f_i^o \mid f_i^n. \quad (6)$$

Trong đó f_i^f là hàm tương tác hai chiều cho phép các bộ cảm biến giữ được khoảng cách tương đối giữa các robots với nhau cũng như là tránh được các vật cản chúng gặp trên đường di chuyển. Hàm này có thể được thiết kế như sau:

$$f_i^f = c_1^a \sum_{j \in \mathcal{N}_i^a} \Phi_a(\|p_{ik} - p_i\|_\sigma) n_{ij} + c_2^a \sum_{j \in \mathcal{N}_i^a} a_{ij}(p)(v_j - v_i), \quad (7)$$

Trong đó ϕ_a là hàm chuyển động. Phép toán $\| \cdot \|_\sigma$ được định nghĩa $\|x\|_\sigma = \frac{1}{\epsilon} [\sqrt{1 + \epsilon \|x\|^2} - 1]$ với $\epsilon > 0$, không giống với Euclidean norm $\|z\|$.

Trong quá trình khai thác vùng cảm biến, một robot có thể gặp các vật cản trong quá trình chuyển động và hàm tránh các vật cản này cần phải đượ thiết kế cho các bộ cảm biến di động hay robots có khả năng tránh những vật cản trên. Với mục đích như vậy f_i^o trong công thức (6) là hàm tích cực cho phép các bộ robot tránh được vật cản và được thiết kế như sau:

$$f_i^o = c_1^o \sum_{j \in N_i^o} \Phi_o \left(\|p_{ik} - p_j\|_\sigma \right) n_{ik} + c_2^o \sum_{j \in N_i^o} b_{ik}(p) (v_{ik} - v_j), \quad (8)$$

Trong đó $\Phi_o(\cdot)$ là một hàm tích cực cho phép các bộ robots tránh được vật cản. n_{ij} và n_{ik} là các vectors dọc theo kết nối p_j tới p_i và p_{ik} tới p_i , một cách lần lượt. Ma trận $A = [a_{ij}]$ và $B = [b_{ik}]$ là các ma trận liên kề.

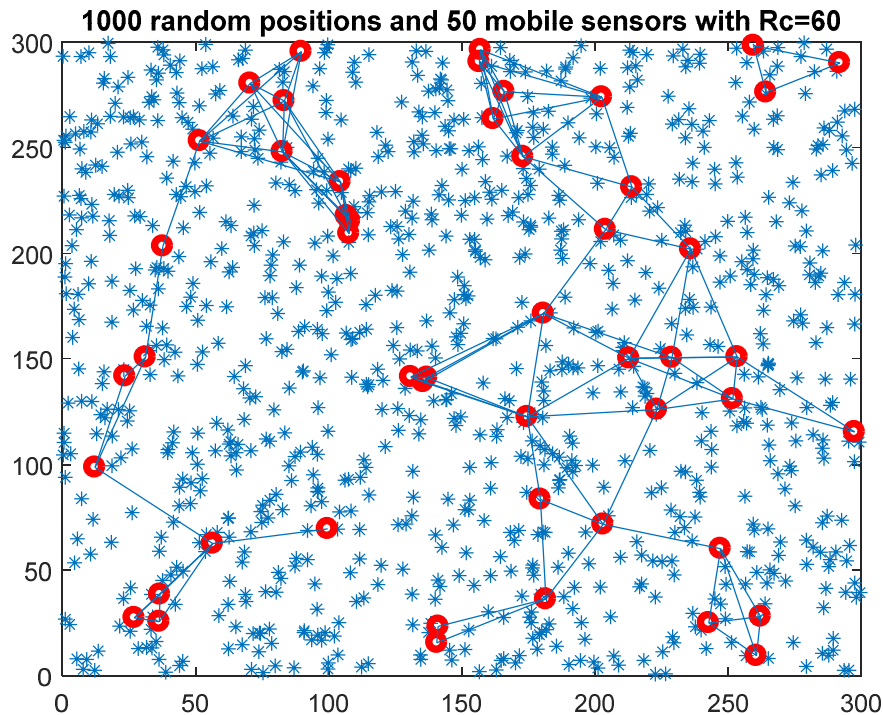
Vùng cảm biến thường là rất rộng so với khả năng tính toán thu thập dữ liệu của mỗi bộ cảm biến hay robots, tất cả các robot cần phải thu thập dữ liệu và cộng tác với các robots còn lại để có thể thu thập dữ liệu và sau đó khôi phục được toàn bộ sơ đồ của cả vùng cảm biến. Để cho phép mạng robots di chuyển đến các vị trí nhất định trên vùng cảm biến, cần phải có thiết kế sau:

$$f_i^n = -c_1 (p_i - p_t) - c_2 (\bar{p}_{(N_i^a \cup \{i\})} - p_t), \quad (9)$$

Trong đó c_1 và c_2 là những hằng số dương, và $\bar{p}_{(N_i^a \cup \{i\})}$ được định nghĩa là $\bar{p}_{(N_i^a \cup \{i\})} = \frac{1}{|N_i^a \cup \{i\}|} \sum_{i=1}^{|N_i^a \cup \{i\}|} p_i$, trong đó $|N_i^a \cup \{i\}|$ là số lượng những robots thuộc nhóm cận kề với robot thứ i bao gồm cả chính nó. p_t là tiêu điểm vị trí mà mạng robots muốn tới để thu thập dữ liệu. Chắc chắn rằng, nếu vùng

cảm biến càng rộng thì sẽ có nhiều vị trí cần phải hướng tới để thu thập dữ liệu.

Phần nâng cao của thuật toán là khi các mục tiêu được cung cấp ngẫu nhiên để dẫn các cảm biến di động trong trường. Trong trường hợp này, các cảm biến theo dõi và di chuyển đến các điểm ngẫu nhiên để cảm nhận. Phần này hỗ trợ tất cả MS để có thể áp dụng các kỹ thuật cảm biến nén để lấy mẫu và thu thập dữ liệu cảm biến. Ngoài ra, MS đôi khi có thể bị ngắt kết nối mà không ảnh hưởng đến hiệu suất CS. Họ vẫn truyền dữ liệu cảm biến cho những người được kết nối và tự xây dựng các phép đo CS. Thuật toán không yêu cầu duy trì tất cả kết nối cảm biến mọi lúc như các thuật toán trước làm cung cấp tính linh hoạt cho không chỉ các cảm biến mà cả các mạng.



Hình 3: 50 cảm biến di động được triển khai trong một đơn vị vùng cảm biến (300×300) với phạm vi giao tiếp $R_c = 60$. Số robot làm cho ba nhóm kết nối. Robots chia sẻ và

truyền dữ liệu cảm biến cho những người khác thông qua hàng xóm của họ. Robots có thể nhận được tất cả kết nối ngay khi chúng di chuyển gần nhau hơn.

Như đã đề cập, công nghệ nén cảm biến được tích hợp trong mỗi bộ MS hay robots để thực hiện quá trình lấy mẫu nén. Tất cả các điểm ngẫu nhiên (POI) sẽ được lấy mẫu. Những điểm này tạo nên một vector dữ liệu như sau: $\underline{X} = [\mathbf{x}_1, \mathbf{x}_2, \dots, \mathbf{x}_N]$. Như ta đã biết, dữ liệu cảm biến thường có độ tương quan cao hay có khả năng nén. Điều này thỏa mãn điều kiện của công nghệ lấy mẫu nén CS. Ra giả sử rằng MS/robot i^{th} thu dữ liệu \mathbf{x}_i ở vị trí của nó và chia sẻ \mathbf{x}_i với những robot khác thông qua những robot cận kề. Những robot cận kề cũng tìm cách chia sẻ dữ liệu như vậy với các robot khác. Sau khi mỗi MS/robot nhận dữ liệu từ các nhóm, một mẫu nén cảm biến được tạo ra ở mỗi bộ cảm biến di động MS hay robot trong một mạng kết nối với nhau.

Mỗi một robot hay MS sẽ di chuyển trong vùng cảm biến theo thuật toán AFC. Tại mỗi một thời điểm lấy mẫu, mỗi một robot tạo ra được một mẫu nén cảm biến. Sau một khoảng thời gian được tính là M khoảng thời gian sẽ tạo ra được M mẫu nén cảm biến theo cách như đã trình bày. Viết theo toán học, quá trình lấy mẫu có thể được tính toán như: $\underline{Y} = \Phi \underline{X}$, trong đó $\underline{Y} \in \mathbb{R}^M$ bao gồm M mẫu cảm biến, và là tổng tuyến tính của vector dữ liệu \underline{X} . Điều quan trọng nhất là kỹ thuật CS cho phép $M \ll N$. Ma trận lấy mẫu Φ , chỉ ra cách mà những bộ cảm biến di động MS hay robots thu thập dữ liệu và tạo ra các mẫu cảm biến từ vùng cảm biến..

$$\Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{1} & \mathbf{0} & \mathbf{1} & \dots & \mathbf{1} \\ \vdots & & \ddots & & \vdots \\ \mathbf{0} & \mathbf{1} & \mathbf{0} & \dots & \mathbf{0} \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (10)$$

Trong đó những thành phần khác “0” trên một hàng của ma trận là những điểm vị trí ngẫu nhiên mà những robots kết nối và chia sẻ thông tin với nhau để tạo nên một mẫu nén cảm biến.

Sau khi thu thập được M mẫu cảm biến nén, mỗi bộ robot có thể đủ điều kiện áp dụng thuật toán khôi phục dữ liệu CS để khôi phục toàn bộ dữ liệu từ vùng cảm biến theo công thức sau:.

$$\underline{\mathbf{X}} = \operatorname{argmin} \|\underline{\mathbf{X}}\|_1, \text{ subject to } \underline{\mathbf{Y}} = \Phi \underline{\mathbf{X}} \quad (11)$$

Trong trường hợp $\underline{\mathbf{X}}$ chỉ rỗng trong một số domain (Ψ thuộc DCT hay Wavelet), Θ được xem xét là rỗng trong các domain trên.

$$\underline{\Theta} = \operatorname{argmin} \|\underline{\Theta}\|_1, \text{ subject to } \underline{\mathbf{Y}} = \Phi \Psi \underline{\Theta}. \quad (12)$$

Thuật toán AFC được ra nhiều điểm khả thi, đặc biệt là khi nhóm các MS/robots bị chia rẽ như hình 1. Ma trận lấy mẫu vẫn thỏa mãn quá trình lấy mẫu và khả năng khôi phục dữ liệu vẫn thực hiện được ở mỗi robot. Điều này là rất quan trọng, khác và vượt xa với những thuật toán đã và đang tồn tại.

8- Phân tích hệ thống

8.1. Phân tích độ bao phủ giám sát

Được dẫn dắt bởi thuật toán AFC, các cảm biến di động hoạt động như một nhóm làm việc để lấy mẫu khu vực theo các bộ dẫn đường ngẫu nhiên. Vùng cảm biến (S) có kích thước cố định có thể được lấy mẫu hoàn toàn tùy thuộc vào cả phạm vi cảm biến R_s và phạm vi giao tiếp R_c . Như đã đề cập, không có bất kỳ khu vực chồng lấn nào được lấy mẫu bởi nhiều hơn một cảm biến do mạng lưới và giả định $R_s \leq \frac{1}{2} R_c$. Vì vậy, khi chúng tôi tăng R_s và R_c , vùng cảm biến được lấy mẫu nhiều hơn mỗi lần t. Nhưng tiêu thụ điện năng cũng tăng. Chúng tôi muốn giảm thiểu cả R_s và R_c để tiêu thụ ít năng lượng nhất và có phạm vi bảo hiểm được lấy mẫu hoàn toàn bởi mạng robot. Tại một thời điểm t, cảm biến L có thể lấy mẫu một khu vực như

$$C_t = L \times \pi R_s^2. \quad (13)$$

Nói chung, sau các khe thời gian M , vùng phủ sóng được lấy mẫu bởi các cảm biến L là $C = M L \pi R_s^2$ và $C \gg S$. Điều này cho thấy nhiều vị trí trong vùng cảm biến được đo nhiều lần tại các thời điểm lấy mẫu khác nhau. Ngoài ra, do các số đọc từ các vị trí đó thường có mối tương quan cao, nếu có một vài vị trí bị bỏ lỡ như trong Hình 2, toàn bộ bản đồ vô hướng vẫn có thể được phục hồi bằng thuật toán khôi phục CS.

8.2. Phân tích năng lượng tiêu thụ

Nói chung, điều khiển, cảm biến và giao tiếp được kết hợp trong mỗi robot. Chúng tôi thường xây dựng mức tiêu thụ năng lượng cho từng chức năng chính và sau đó tập trung vào phần truyền thông áp dụng CS để thu thập dữ liệu cho các bản đồ vô hướng.

a. Năng lượng tiêu thụ của vi điều khiển và máy tính nhúng

Một bộ điều khiển vi mô trực tiếp điều khiển động cơ, thăm dò ý kiến từ các cảm biến và cung cấp giao diện lập trình cho máy tính nhúng. Các tác vụ của nó thường được đặt và công suất tiêu thụ cho bộ điều khiển vi mô có thể được coi là một hằng số.

Máy tính nhúng chịu trách nhiệm kiểm soát mức cao hơn, chẳng hạn như lập kế hoạch và phối hợp chuyển động. Nó phức tạp hơn bộ điều khiển vi mô. Tiêu thụ năng lượng của máy tính nhúng có thể được thay đổi để chạy các chương trình khác nhau. Nhiều nghiên cứu đã được đóng góp cho các phương pháp dựa trên mô phỏng để ước tính mức tiêu thụ điện năng

b. Năng lượng tiêu thụ thu thập dữ liệu ở bộ cảm biến

Có nhiều loại cảm biến đang được sử dụng với robot tùy thuộc vào mục đích cụ thể. Công suất tiêu thụ cho cảm biến thay đổi từ các cảm biến và tần số

cảm biến khác nhau (f_s). Chúng ta có thể xác định mức tiêu thụ năng lượng của các cảm biến theo chức năng tuyến tính dưới đây

$$p_s(f_s) = c_{\{s0\}} + c_{\{s1\}}f_s, \quad (14)$$

trong đó f_s là mức tiêu thụ năng lượng cho cảm biến, $c_{\{s0\}}$ và $c_{\{s1\}}$ là hai hệ số hằng dương phụ thuộc vào loại cảm biến được triển khai.

c. Năng lượng tiêu thụ bởi robot di chuyển

Động cơ DC thường được sử dụng trong robot để biến đổi dòng điện trực tiếp thành năng lượng cơ học. Tiêu thụ điện năng trên các động cơ là tổng công suất đầu ra cơ học và tổn thất biến đổi. Biểu thị khối lượng của robot là m và hằng số ma sát mặt đất là μ . Trong khi một robot di chuyển với vận tốc v và gia tốc a , thì robot này cần một lực kéo là $m(a + f\mu)$. Sản lượng điện cơ học được tính bằng $m(a + f\mu)v$. Tiêu thụ năng lượng cho chuyển động có thể được coi là một hàm của vận tốc, gia tốc và khối lượng của robot như sau

$$p_m(m, v, a) = p_l + m(a + g\mu)v, \quad (15)$$

trong đó g là hằng số trọng lực và p_m là công suất chuyển động. p_l là tổn thất chuyển đổi. Với nguồn điện một chiều, tổn thất điện năng này bao gồm tổn thất dòng điện xoáy, tổn thất cơ học bên trong và tổn thất phản ứng. Như được thể hiện trong Công thức (15), tổn thất điện năng tăng lên khi tốc độ robot tăng lên.

d. Năng lượng tiêu thụ cho truyền thông

Nói chung, mức tiêu thụ năng lượng để truyền và nhận dữ liệu trong các mạng, được ký hiệu là P_{Tx} và P_{Rx} , được tính tương ứng là

$$P_{Tx} = P_{T0} + P_{A(d)} \quad (16)$$

$$P_{Rx} = P_{R0} \quad (17)$$

trong đó P_{T0} và P_{R0} là năng lượng tiêu thụ điện tử tùy thuộc vào một số yếu tố như mã hóa, điều chế và xử lý tín hiệu. Các yếu tố này không phụ thuộc vào khoảng cách truyền, ký hiệu là d . Chỉ có công suất tiêu thụ của bộ khuếch đại công suất $P_A(d)$ là hàm số của d được coi là thể hiện mức tiêu thụ năng lượng cho liên lạc giữa các robot trong công việc này.

Tổng mức tiêu thụ năng lượng để truyền dữ liệu giữa các robot bao gồm một số yếu tố chính; thông tin liên lạc trong khu vực, được ký hiệu là P_{nei} , đại diện cho tất cả các thông tin liên lạc giữa tất cả các khu vực khác, thời gian hội tụ, được gọi là I và số lượng đo CS đủ (M). Để tạo một phép đo CS, các robot cần chia sẻ dữ liệu với các vùng lân cận của chúng. I đếm số lần chia sẻ trung bình ở trên cho đến khi một phép đo CS được tạo. Mỗi robot phân tán được yêu cầu làm việc thông qua các khe thời gian M tương ứng với số lượng phép đo CS đủ để có thể tái tạo lại dữ liệu. Vì vậy, tổng công suất tiêu thụ có thể được xây dựng như sau

$$P_{tổng} = P_{nei} \times I \times M, (18)$$

trong đó năng lượng tiêu thụ P_{nei} trong số các vùng lân cận của L robots.

Thời gian hội tụ I có thể được phân tích dựa trên mật độ robot và phạm vi giao tiếp R_c của robot. Số lượng robot kết nối càng nhiều, thời gian hội tụ càng lớn. Một mạng lưới được hình thành giữa một nhóm các robot được kết nối dựa trên thuật toán điều khiển hợp tác. Vì vậy, số lượng kết nối giữa các robot bị hạn chế. Thời gian hội tụ tương ứng sẽ không thay đổi ngay cả phạm vi thay đổi giao tiếp. Điểm này được làm rõ trong phần mô phỏng.

5.3. Phân tích ma trận lấy mẫu Φ

Phép nhân của tín hiệu và các phần tử ma trận có thể làm trì hoãn quá trình lấy mẫu. Trong phương pháp của chúng tôi, các tín hiệu được thêm vào để

tạo thành các phép đo CS giúp đơn giản hóa quy trình. Sau khi thu thập các phép đo M mẫu cảm biến nén trong vector Y , ma trận lấy mẫu được xây dựng dưới dạng ma trận nhị phân thưa thớt như trong Phương trình. Mỗi hàng của ma trận tương ứng với một phép đo CS. Các mục nhập khác không trong một hàng biểu thị POI được lấy mẫu bởi một nhóm robot được kết nối. Điều đó có nghĩa là nhóm robot có cùng số đo CS được thu thập từ POI.

$$\Phi = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 \\ 0 & 1 & 1 & 0 & 0 & 0 & \dots & 1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 1 & 0 & \dots & 1 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 1 & 1 & 0 & 1 & 0 & 1 & \dots & 0 \end{bmatrix}_{M \times N} \quad (18)$$

Nếu tất cả các robot phân phối L này được kết nối thành một nhóm trong suốt thời gian lấy mẫu, trọng lượng hàng trung bình của ma trận đo có thể được tính là γL . Điều này có nghĩa là một robot có thể có dữ liệu từ tất cả các hàng khác và các hàng tương ứng có các số không γL ('1') và $(N - \gamma L)$ trong mỗi hàng.

Theo cách sắp xếp và lấy mẫu dữ liệu (X), loại ma trận này có thể được coi là nhị phân thưa thớt ngẫu nhiên không có triệu chứng. Điều kiện đẳng hình (RIP) trên ma trận nhị phân thưa thớt (Φ) thiết lập chức năng quan trọng của nó trong hiệu suất CS. RIP của ma trận nhị phân ngẫu nhiên đã được nghiên cứu kỹ. Loại ma trận này có thể đáp ứng RIP và do đó chúng có thể được sử dụng làm ma trận lấy mẫu hiệu quả năng lượng. Các ma trận (Φ) có thể thực hiện cũng như các ma trận Gaussian ngẫu nhiên dày đặc trong các quá trình tái tạo tín hiệu CS. Điều đó có nghĩa là ma trận được tạo thông qua phương pháp thu thập dữ liệu được đề xuất của chúng tôi không làm giảm hiệu suất CS sẽ được hiển thị trong phần mô phỏng.

Như đã đề cập, có sự đánh đổi giữa độ thưa của ma trận đo và số lượng phép đo CS hoặc số hàng của ma trận đo Φ . Theo trực giác, nếu ma trận quá thưa

thót, hiệu suất CS sẽ giảm. Điều đó có nghĩa là nếu chúng tôi triển khai rất ít robot, số lượng phần tử khác không trong mỗi hàng quá nhỏ và một số phép đo CS cố định không chứa đủ thông tin để tái tạo tín hiệu. Để đảm bảo một lỗi nhỏ làm mục tiêu, mỗi robot cần thu thập thêm các phép đo CS để giảm lỗi tái thiết. Chúng ta cần triển khai một số robot nhất định xây dựng ma trận đo lường phù hợp và không làm giảm hiệu suất CS.

5.4. *Phân tích thuật toán CCMS*

Trong Phase {**Giai đoạn bắt đầu**}, tất cả các robot phân tán thu thập dữ liệu cảm biến từ POI trong phạm vi cảm biến của chúng R_S và thêm dữ liệu dưới dạng một giá trị vô hướng. Như đã đề cập, số POI trung bình được lấy mẫu bởi một robot được tính là $\gamma = \frac{N}{S}\pi R_S^2$.

Trong giai đoạn thứ hai, Phase {**Giai đoạn chia sẻ dữ liệu**}, sau khi tìm thấy hàng xóm trong phạm vi liên lạc, nhóm robot được kết nối trao đổi dữ liệu của chính họ với các nhóm khác để xây dựng phép đo CS ngay lập tức t. Những robot di động phân tán này chỉ hợp tác với hàng xóm của chúng để chia sẻ dữ liệu. Các robot chỉ nhận và thêm dữ liệu mới từ những người khác được công nhận bởi các chỉ số của họ. Tất cả các chỉ số nhận được cũng tạo thành một ma trận đo lường ở mỗi robot cho quá trình tái tạo dữ liệu. Sau mỗi lần chia sẻ, thời gian hội tụ sẽ tăng thêm một.

Trong giai đoạn thứ ba, Phase {**Giai đoạn di chuyển**}, nhóm robot được dẫn dắt bởi thuật toán hợp tác để di chuyển trong trường, như được đề cập. Nó phụ thuộc vào chất lượng dự kiến của bản đồ vô hướng được tái cấu trúc ở mỗi robot, các robot cần truy cập POI để xây dựng đủ số lượng phép đo CS. Số lượng phép đo CS được tạo ra ở mỗi robot càng nhiều, chất lượng bản đồ được phục hồi càng tốt. Như đã đề cập, vì dữ liệu cảm biến thường có mối tương quan cao, các robot có thể không cần phải truy cập tất cả các POI. Để

đáp ứng mục tiêu lỗi, mỗi robot có thể được chỉ định một số lần lấy mẫu hoặc số lần đo CS tương ứng.

Trong giai đoạn cuối, Phase {**Giai đoạn tái tạo dữ liệu**}, mỗi robot dành các khe thời gian M và hoàn thành việc tạo các phép đo M CS để có thể tự xây dựng bản đồ vô hướng. Trong thực tế, các phép đo thu thập có tiếng ồn phụ gia. Thuật toán phục hồi CS có thể làm việc với các phép đo nhiễu trong việc tái tạo dữ liệu.

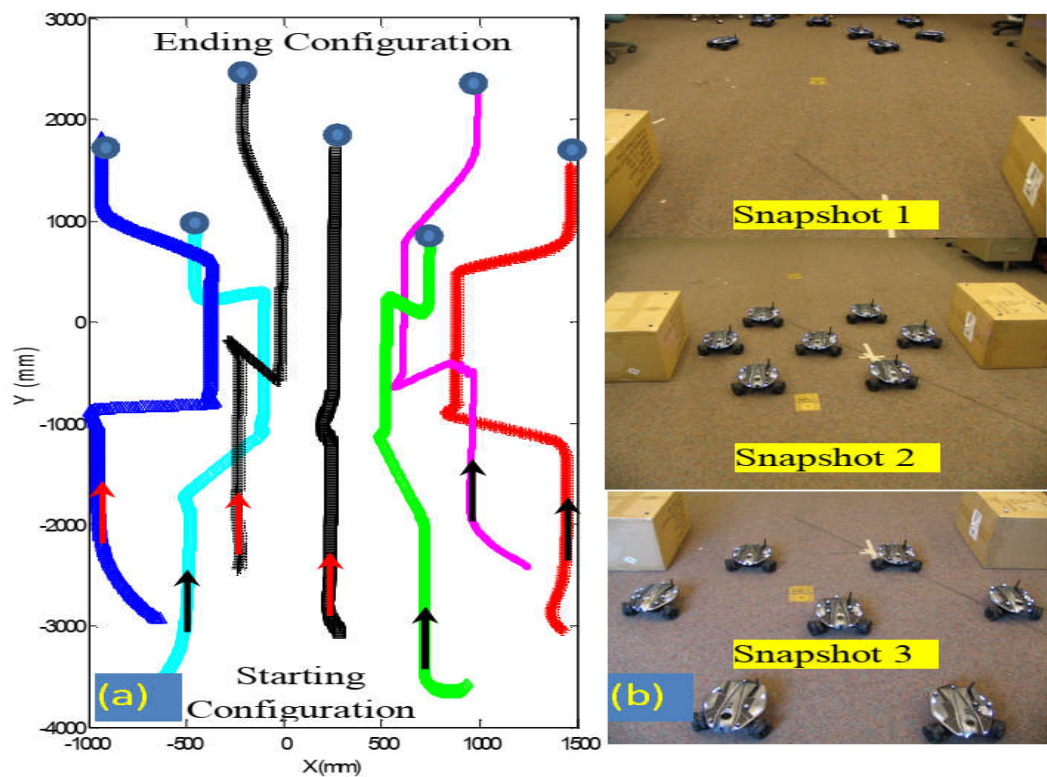
Trong một số trường hợp, nhóm robot di động có thể được tách thành các nhóm nhỏ hơn để tránh chướng ngại vật hoặc do giới hạn của phạm vi giao tiếp R_r . Điều này có nghĩa là các phép đo CS được thu thập tại thời điểm lấy mẫu đó không bằng với tất cả các robot L . Các phép đo từ các nhóm kết nối khác nhau là khác nhau. Robot từ cùng một khu phố nên có số đo CS bằng nhau. Nếu robot có số đo CS khác với các loại khác, điều đó có nghĩa là trọng lượng hàng của hàng tương ứng trong ma trận đo của nó là khác nhau. Như đã đề cập, điều này có thể không ảnh hưởng đến các thuật toán khôi phục CS tùy thuộc vào độ thừa cho phép của ma trận. Với sự kết hợp giữa CS và robot hợp tác, một robot phân tán chỉ cần tạo ra các phép đo M CS để có thể tự xây dựng bản đồ vô hướng. Điều này giúp tiết kiệm đáng kể năng lượng tiêu thụ không chỉ cho việc liên lạc giữa các robot mà còn cho chuyển động của chúng.

9- Một số kết quả triển khai và mô phỏng

9.1. Kết quả thử nghiệm của thuật toán điều khiển nhóm

Trong phần này, chúng tôi đã triển khai 7 robot Rovio để áp dụng thuật toán điều khiển đồ xô được xử lý.

Hình 4 cho thấy kết quả thử nghiệm của luật điều khiển được áp dụng cho một nhóm robot di động để hợp tác hình thành và thay đổi hình dạng để vượt qua các chướng ngại vật một cách hiệu quả mà không bị va chạm. Như thể hiện trong ba bức ảnh chụp nhanh, robot Rovio liên lạc với hàng xóm để vượt qua chướng ngại vật. Mỗi liên hệ của họ và hình dạng của nhóm có thể được thay đổi khi họ vượt qua chướng ngại vật.

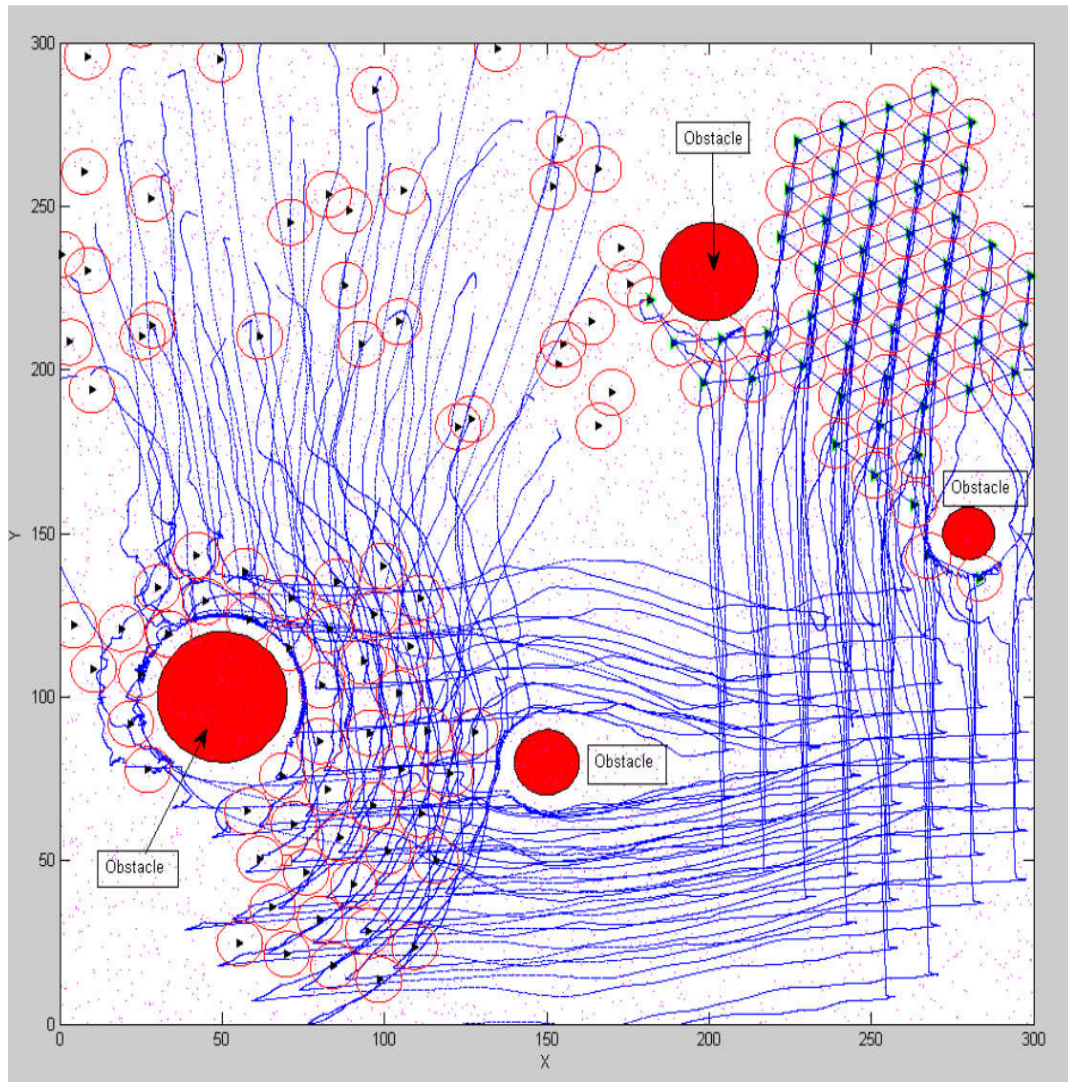


Hình 4: 7 Rovio robot được thực hiện thuật toán điều khiển nhóm chạy trên nền nhà tránh các vật cản.

9.2. Kết quả mô phỏng thực hiện việc lấy mẫu và khôi phục tín hiệu

Chúng tôi xem xét 5000 POI được phân phối ngẫu nhiên và thống nhất trong một khu vực cảm biến vuông 300×300 lần đơn vị vuông. Hai nhóm robot khác nhau được triển khai trong khu vực cảm biến, 50 robot và 100 robot. Chúng được dẫn dắt bởi các thuật toán điều khiển như được giải quyết.

Chúng tôi đã sử dụng dữ liệu thực được thu thập từ Sensorscope. Chúng tôi đã chọn ma trận thưa thớt Ψ làm biến đổi cosine rời rạc (DCT). Như đã đề cập, ma trận thưa thớt DCT cung cấp hiệu suất CS tốt nhất.

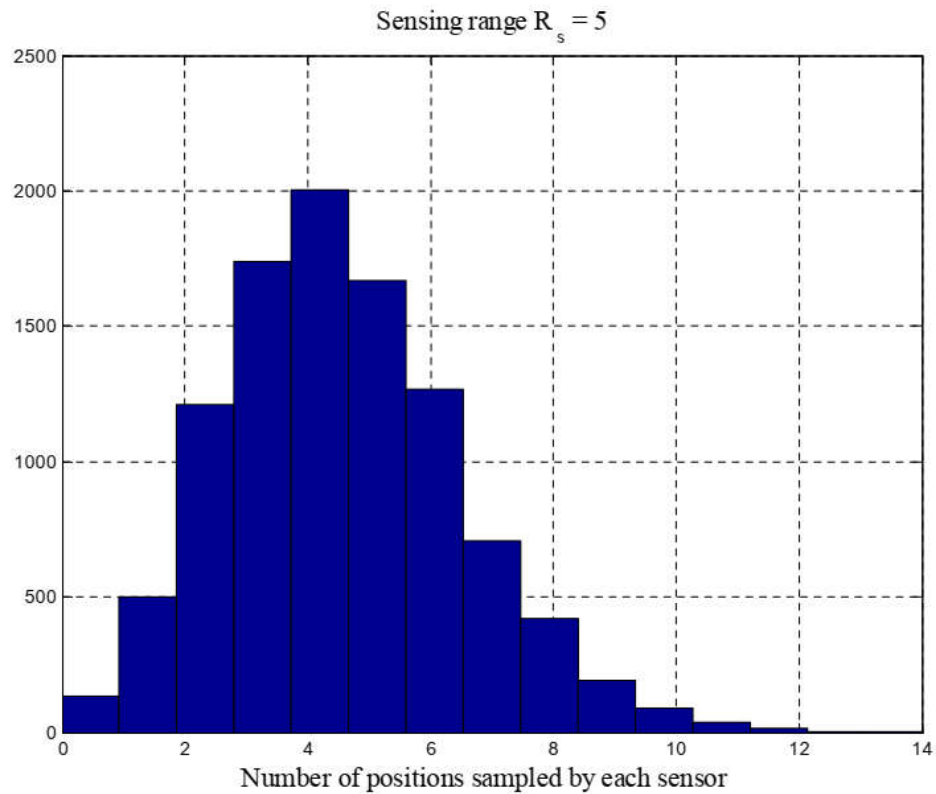


Hình 5: 50 robots triển khai trên miền cảm biến kích thước 300*300. Các hướng di chuyển của đàn robots được mô phỏng (màu xanh) trên miền cảm biến cùng với 04 vật cản (đỏ).

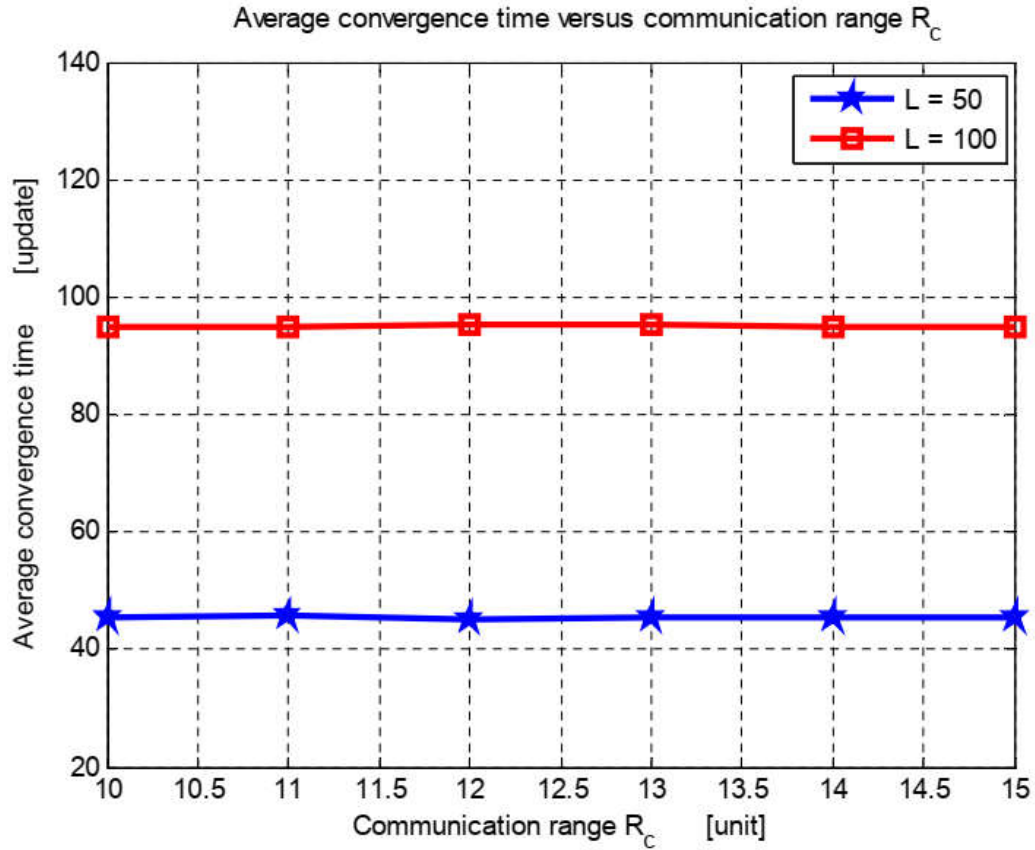
Hình 5 mô tả các ảnh chụp nhanh khi 50 robot làm việc theo nhóm để lấy mẫu khu vực vào các thời điểm khác nhau để tạo các phép đo CS. 8 phép đo

CS được tạo trong khi các robot được kết nối hoặc tách rời. Các robot tiếp tục di chuyển và lấy mẫu để thu thập thêm phép đo CS để có thể tái tạo lại tất cả dữ liệu từ 5000 POI. Điều này cho thấy rằng khi robot không được kết nối, chúng vẫn tạo các phép đo CS cho quá trình khôi phục của chúng.

Với phạm vi cảm biến của $R_s = 5$, biểu đồ số lượng POI được cảm nhận bởi một robot trong trường được hiển thị trong Hình 6. Điều này có thể cung cấp cho tổng số POI được robot L lấy mẫu ngay lập tức. Chúng ta có thể tính toán số POI trung bình.



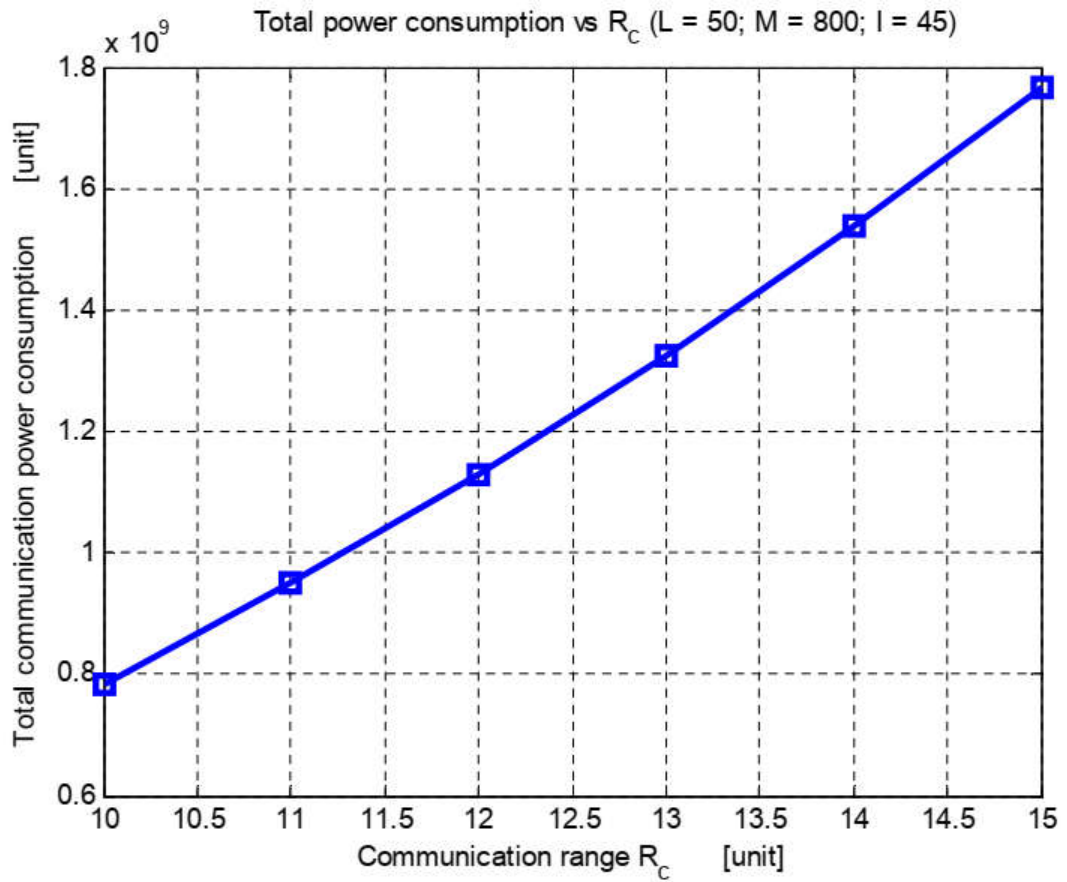
Hình 6: Số lượng POIs được thu/đo dữ liệu bởi mỗi robot



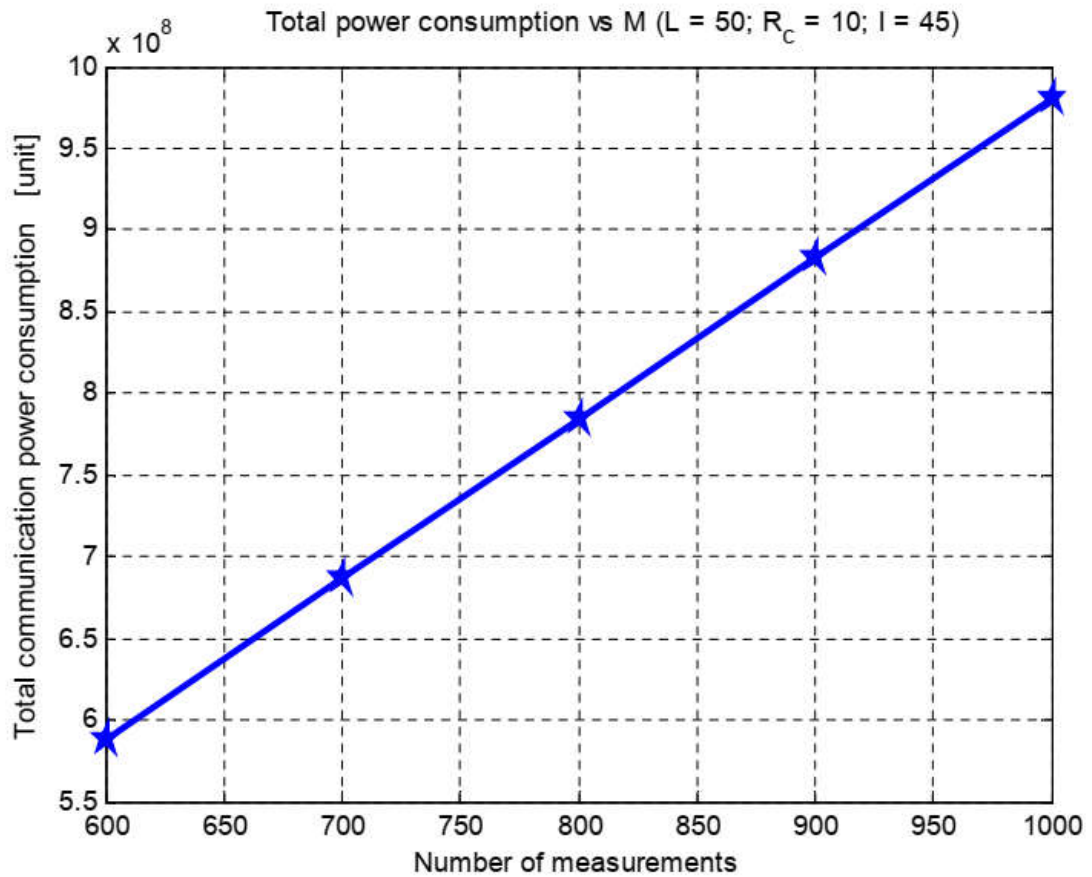
Hình 7: Thời gian hội tụ với hai nhóm robots khác nhau, nhóm 50 robots và nhóm 100 robots, là khác nhau.

Như đã đề cập, việc thay đổi phạm vi giao tiếp R_c không thay đổi thời gian hội tụ do các robot được hình thành dưới dạng mạng tinh thể. Như được hiển thị trong Hình 7, số lượng robot trong mỗi nhóm càng nhỏ, thời gian hội tụ càng nhỏ. Vì vậy, nhóm 50 robot sẽ được ưu tiên để giảm mức tiêu thụ điện năng. Câu hỏi ở đây là liệu nhóm 50 robot có thể hoạt động tốt như nhóm 100 robot trong việc xây dựng bản đồ trường vô hướng sẽ được trả lời sau.

Tổng mức tiêu thụ năng lượng để truyền dữ liệu trong mạng gồm 50 robot để tạo 800 phép đo CS với các phạm vi giao tiếp khác nhau (R_c) được mô tả trong Hình 8. Phạm vi giao tiếp nhỏ nhất, công suất tiêu thụ nhỏ nhất.

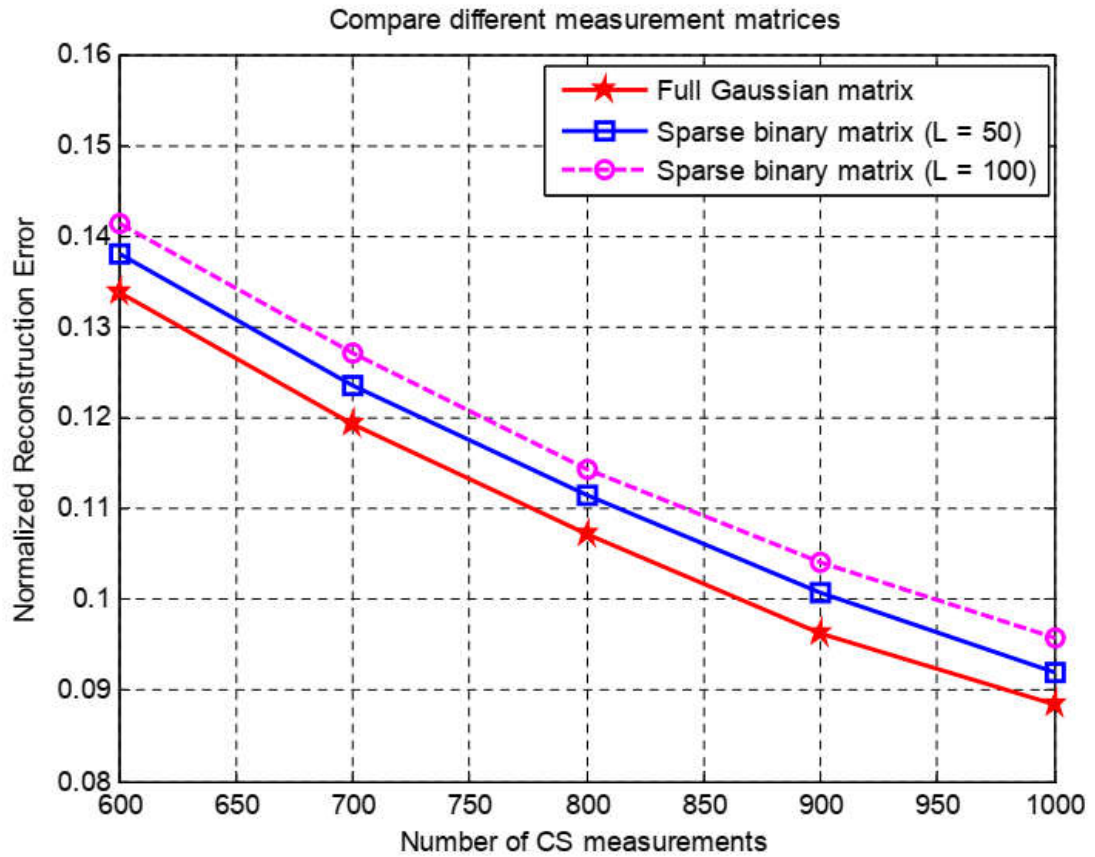


Hình 8: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với khoảng giao tiếp của các robots



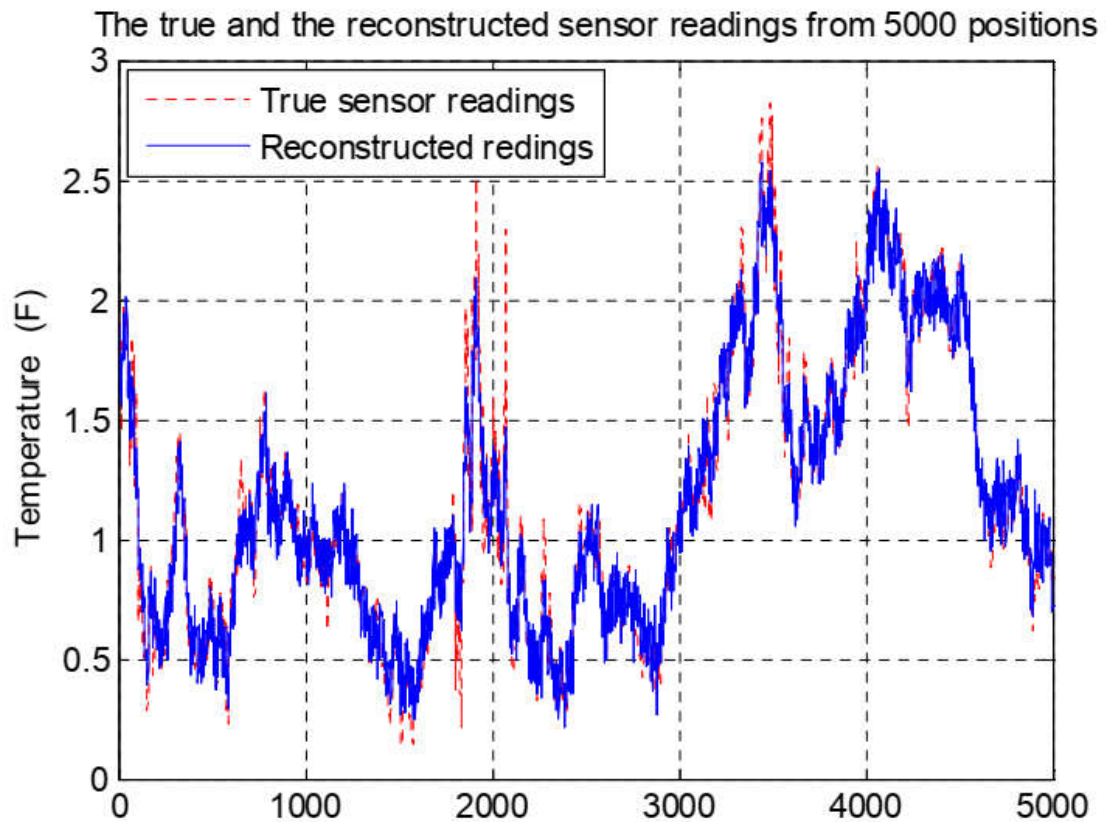
Hình 9: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với số lượng mẫu cảm biến thu lượm bởi toàn bộ các robots trong mạng

Hình 9 mô tả tổng mức tiêu thụ năng lượng cho tất cả các giao tiếp trong mạng 50 robot với số lượng đo khác nhau với phạm vi giao tiếp cố định là $R_c = 10$.



Hình 10: Lỗi khôi phục dữ liệu cảm biến tương ứng với số lượng mẫu cảm biến CS thu được từ mỗi robot. Kết quả thực hiện so sánh nhiều nhóm với số lượng robots khác nhau.

Như đã đề cập, ma trận đo nhị phân thưa thớt có thể hoạt động tốt như ma trận Gaussian dày đặc đầy đủ. Lỗi tái cấu trúc chuẩn hóa được xem xét trong tất cả các quá trình khôi phục. Hình 10 mô tả các lỗi tái cấu trúc khác nhau được cung cấp bởi hai ma trận nhị phân thưa thớt và ma trận Gaussian dày đặc. Nó cho thấy rằng 50 hoặc 100 robot có ma trận ngẫu nhiên thưa thớt có thể hoạt động tốt như trường hợp khi mọi phép đo CS được thu thập từ tất cả POI ($N = 5000$) tương ứng với ma trận Gaussian dày đặc. Để giảm tổng chi phí cho mạng, chúng tôi có thể chọn mạng 50 robot dựa trên điểm này.

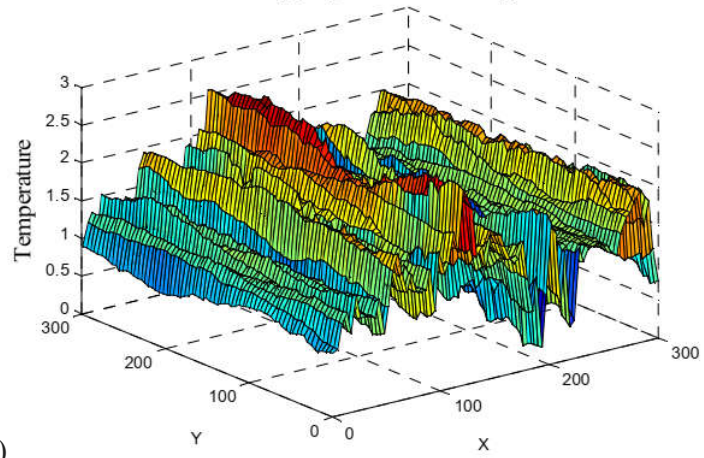


Hình 11: So sánh kết quả dữ liệu khôi phục (màu xanh) và dữ liệu gốc (màu đỏ).

So sánh giữa các lần đọc được xây dựng lại trên các bản đồ vô hướng được xây dựng ở mỗi robot và các bản đồ thật được trình bày trong 2-D trong Hình X. Sau khi thu thập 800 phép đo CS, các robot có thể khôi phục các bản đồ với lỗi tái cấu trúc chuẩn hóa là 0,1.

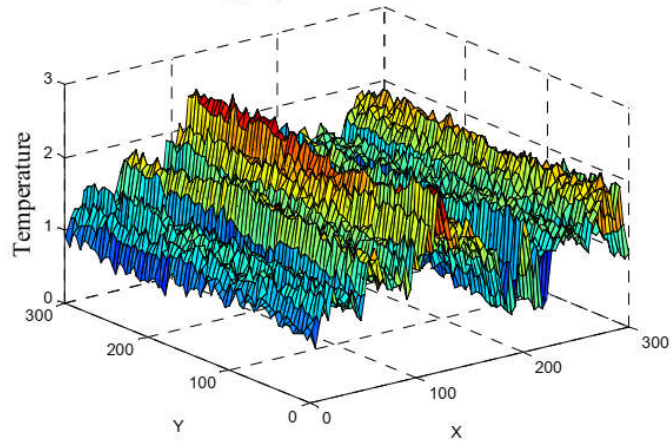
Hình 11 mô tả bản đồ thực, bản đồ được xây dựng lại và bản đồ lỗi trong 3-D. Bản đồ thực sự đại diện cho dữ liệu thực cần được thu thập. Bản đồ được xây dựng lại được xây dựng trên mỗi robot dựa trên 800 phép đo CS được thu thập có thể cung cấp cho bản đồ lỗi tái cấu trúc chuẩn hóa là 0,1. Bản đồ thứ ba là bản đồ lỗi cho thấy sự khác biệt giữa dữ liệu thật và dữ liệu được phục hồi. Bản đồ lỗi này khá đồng nhất cho thấy thuật toán khôi phục CS có thể tái cấu trúc dữ liệu từ tất cả các POI trong trường vô hướng như nhau.

Scalar field mapping based on the original data



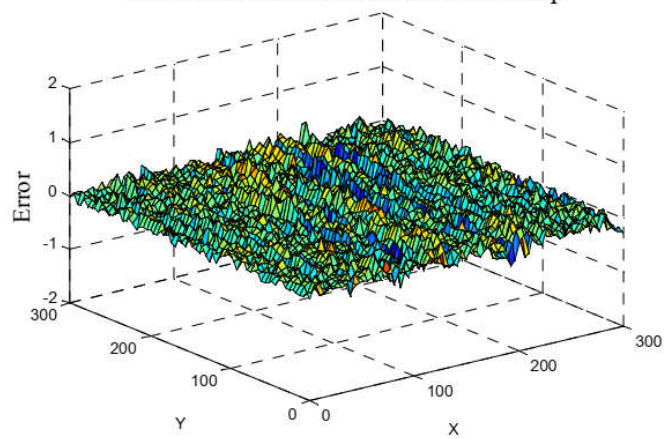
(a)

Scalar field mapping based on the reconstructed data



(b)

Error between the true and reconstructed map



(c)

Hình 12: (a): bản đồ cảm biến gốc, (b) bản đồ được khôi phục, (c) bản đồ lỗi khôi phục.

KẾT LUẬN

Trong bài báo cáo, một thuật toán cảm biến di động hợp tác và nén (CCMS) được đề xuất cho các robot di động phân tán để thu thập dữ liệu trong các mạng robot để xây dựng bản đồ vô hướng ở mỗi robot. Sự kết hợp mới lạ giữa sự hợp tác của robot và cảm biến di động nén có thể giảm mức tiêu thụ năng lượng cho cả chuyển động và liên lạc của robot. Các robot chỉ cần di chuyển để thu thập và truyền một lượng dữ liệu cảm biến nhất định tương ứng với một số lượng nhỏ các phép đo CS để có thể xây dựng các bản đồ trường vô hướng đầy đủ. Tiêu thụ năng lượng cho robot và vùng phủ sóng cảm biến được phân tích và xây dựng chi tiết. Cả hai kết quả thử nghiệm và mô phỏng được cung cấp để cho thấy hiệu quả của phương pháp đề xuất. Nên sử dụng phạm vi liên lạc nhỏ nhất hoặc số lượng robot nhỏ nhất để giảm thiểu tổng mức tiêu thụ điện cho các mạng đó. Do sự thừa thớt cần thiết cho ma trận đo lường, số lượng robot có thể được giảm để tối ưu hóa chi phí mạng.

Trong công việc trong tương lai, chúng tôi sẽ triển khai thuật toán đề xuất vào các hệ thống thực và xem xét tất cả mức tiêu thụ năng lượng phát sinh từ robot để đánh giá chi phí mạng. Dựa vào đó, chúng ta có thể xác định một số thông số chính, chẳng hạn như số lượng robot, phạm vi giao tiếp, v.v để tối ưu hóa chi phí.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. P. Ogren, E. Fiorelli, and N. E. Leonard (2004), “Cooperative Control of Mobile Sensor Networks: Adaptive Gradient Climbing in a Distributed Environment”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 49, no. 8, pp. 1292–1302.
2. R. Olfati-Saber (2006), “Flocking for Multi-Agent Dynamic Systems: Algorithms and Theory”, *IEEE Transactions on Automatic Control*, vol. 51, no. 3, pp. 401–420.
3. H. M. La and Weihua Sheng (2009), “Moving targets tracking and observing in a distributed mobile sensor network,” *2009 American Control Conference*.
4. Hung Manh La and Weihua Sheng (2013), “Distributed Sensor Fusion for Scalar Field Mapping Using Mobile Sensor Networks,” *IEEE Transactions on Cybernetics*, vol. 43, no. 2, pp. 766–778.
5. Wei Ren, R. W. Beard, and E. M. Atkins (2005), “A survey of consensus problems in multi-agent coordination”, *Proceedings of the 2005 American Control Conference*.
6. E. Kokopoulou and P. Frossard (2011), “Distributed Classification of Multiple Observation Sets by Consensus,” *IEEE Transactions on Signal Processing*, vol. 59, no. 1, pp. 104–114.
7. Donoho, David L. (2006), "Compressed sensing." *IEEE Transactions on information theory*, 52.4: 1289-1306.
8. Candès, Emmanuel J., Justin Romberg, and Terence Tao (2006), "Robust uncertainty principles: Exact signal reconstruction from highly incomplete frequency information." *IEEE Transactions on information theory*, 52.2: 489-509.
9. Minh T. Nguyen and K. A. Teague (2014), “Tree-based energy-efficient data gathering in wireless sensor networks deploying compressive sensing,” *23rd Wireless and Optical Communication Conference (WOCC)*.
10. M. T. Nguyen, K. A. Teague, and N. Rahnavard (2016) "CCS: Energy-efficient data collection in clustered wireless sensor networks utilizing block-wise compressive sensing." *Computer Networks* 106: 171-185.
11. Nguyen, Minh T., and Keith A. Teague (2017) "Compressive sensing based random walk routing in wireless sensor networks." *Ad Hoc Networks*, 54: 99-110.
12. Y. Mostofi (2011), “Compressive Cooperative Sensing and Mapping in Mobile Networks,” *IEEE Transactions on Mobile Computing*, vol. 10, no. 12, pp. 1769–1784.
13. M. T. Nguyen and K. A. Teague (2015), “Random sampling in collaborative and distributed mobile sensor networks utilizing compressive sensing for scalar field mapping,” *2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*.

14. M. T. Nguyen and K. A. Teague (2015), "Compressive and cooperative sensing in distributed mobile sensor networks," *MILCOM 2015 - 2015 IEEE Military Communications Conference*.
15. Minh Nguyen (2018), "Compressed Sensing based Data Collection Algorithms in Wireless Ad-hoc/Mobile Sensor," *ICSES Transactions on Computer Networks and Communications (ITCNC)*, vol. 4, no. 3, pp. 1-4.
16. F. Bullo, J. Cortés, and S. Martínez (2012), "Robotic Networks, Distributed Algorithms for," *Mathematics of Complexity and Dynamical Systems*, pp. 1489–1504.
17. M. T. Nguyen, H. M. La and K. A. Teague (2018), "Collaborative and Compressed Mobile Sensing for Data Collection in Distributed Robotic Networks", *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1729-1740.
18. Minh Nguyen (2018), "Advanced Flocking Control Algorithms in Mobile Sensor Networks," *ICSES Interdisciplinary Transactions on Cloud Computing, IoT, and Big Data (IITCIB)*, vol. 2, no. 4, pp. 4-9.