

**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, 5/2019

**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, 5/2019

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

Lời mở đầu	1
1- Giới thiệu chung	2
2- Xây dựng bài toán	3
2.1. Công nghệ nén cảm biến	4
2.2. Xây dựng hệ thống	4
2.3. Thu thập dữ liệu	5
2.4. Các robot trao đổi dữ liệu	5
2.5. Các robot tiếp tục tạo ra các mẫu nén cảm biến mới	5
2.6. Khôi phục dữ liệu tại từng robot	5
3- Phân tích thuật toán CCMS	5
4- Một số kết quả triển khai và mô phỏng	6
4.1. Kết quả thử nghiệm của thuật toán điều khiển nhóm	6
4.2. Kết quả mô phỏng thực hiện việc lấy mẫu và khôi phục tín hiệu	7
Kết luận	13

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)	3
Hình 2: 7 Rovio robot được thực hiện thuật toán điều khiển nhóm chạy trên nền nhà tránh các vật cản.	7
Hình 3: 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)	8
Hình 4: Số lượng POIs được thu/đo dữ liệu bởi mỗi robot ...	8
Hình 5: Thời gian hội tụ với hai nhóm robots khác nhau, nhóm 50 robots và nhóm 100 robots, là khác nhau.....	9
Hình 6: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với khoảng giao tiếp của các robots	9
Hình 7: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với số lượng mẫu cảm biến thu được bởi toàn bộ các robots trong mạng	10
Hình 8: 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.	10
Hình 9: So sánh kết quả dữ liệu khôi phục (màu xanh) và dữ liệu gốc (màu đỏ).	11
Hình 10: Hình 3D (a): bản đồ cảm biến gốc, (b) bản đồ được khôi phục, (c) bản đồ thể lỗi khôi phục.	12

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

TÍNH CẤP THIẾT CỦA VẤN ĐỀ CẦN NGHIÊN CỨU

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.

Mạng cảm biến không dây (WSNs) nói chung, mạng cảm biến di động (MSNs), mạng robot di động hiện đang là đối tượng nghiên cứu rất phổ biến trên thế giới. Những mạng trên có rất nhiều ứng dụng không chỉ trong dân dụng mà còn trong quân sự [1, 2]. Chức năng chính của những mạng trên là phát hiện, cảnh báo sự kiện, thu thập thông tin cảm biến, tạo ra những bản đồ cảm biến, phục vụ cho nhiều mục đích giám sát khác nhau.

Sử dụng hiệu quả năng lượng luôn là vấn đề quan trọng được đề cập ở các mạng trên [3, 4, 5]. Các bộ cảm biến được thả xuống các nơi có điều kiện khắc nghiệt, khó tiếp cận, không có điều kiện sạc lại pin. Các phương thức truyền nhận dữ liệu, thuật toán di chuyển phải được sử dụng hiệu quả.

Mục đích chính của đề tài là nghiên cứu và đề xuất những thuật toán thu thập dữ liệu mới làm giảm đáng kể năng lượng tiêu thụ trong các mạng WSNs và MSNs. Điều đó có nghĩa là tuổi thọ của mạng trên dài hơn. Trong MSNs, 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.

Hơn nữa, các đặc tính, các mô hình truyền sóng được xem xét cụ thể. Các vấn đề liên quan đến công suất tiêu thụ, truyền sóng được công thức hóa, sau đó là được mô phỏng và kiểm tra thực nghiệm. Một số điểm tối ưu sẽ được đề xuất cho các mạng, góp phần nâng cao chất lượng dịch vụ.

VẤN ĐỀ CỦA ĐỀ TÀI THỰC HIỆN

Trong bài báo cáo này, chúng tôi khai thác sự tích hợp giữa tính cơ động của robot và sự hợp tác giữa chúng để lấy mẫu các khu vực cảm biến cần được quan sát. 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 đưa vào robot. Tại một thời điểm lấy mẫu, mỗi robot cảm nhận và thêm dữ liệu trong phạm vi cảm nhận của nó và hợp tác với những người khác bằng cách trao đổi dữ liệu với các nước láng giềng. Phép đo cảm biến nén (CS) được tạo là tổng các giá trị vô hướng được thu thập bởi một nhóm robot được kết nối. Một số phép đo CS nhất định được yêu cầu ở mỗi robot để có thể xây dựng lại tất cả các bài đọc cảm giác từ các điểm quan tâm mà nhóm robot truy cập. 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 không dây (WSNs) nói chung, mạng cảm biến di động (MSNs), mạng robot di động hiện đang là đối tượng nghiên cứu rất phổ biến trên thế giới. Những mạng trên có rất nhiều ứng dụng không chỉ trong dân dụng mà còn trong quân sự. Chức năng chính của những mạng trên là phát hiện, cảnh báo sự kiện, thu thập thông tin cảm biến, tạo ra những bản đồ cảm biến, phục vụ cho nhiều mục đích giám sát khác nhau.

Mạng cảm biến di động (MSNs) tạo ra nhiều thuận lợi cho nhiều lĩnh vực ứng dụng hiện có như theo dõi (nhiệt độ, độ ẩm, âm thanh, rung động) hoặc phát hiện các mục tiêu hoặc các sự kiện đặc biệt (robot cứu hộ, rò rỉ hoá học,...). Trong đó tính di động đóng vai trò quan trọng giúp mạng vươn tới được những vị trí mà các bộ cảm biến tĩnh không tới được. Các mạng này là sự kết hợp của các bộ cảm biến gắn lên các phương tiện hoặc robot, các thuật toán điều khiển và các yếu tố động khác tùy thuộc vào các mục đích cụ thể.

Có rất nhiều thuật toán thu thập dữ liệu hiện có đã được khai thác để giảm tổng năng lượng tiêu thụ cho các mạng. Các phương pháp đề xuất khác nhau dựa trên các cấu trúc mạng khác nhau, các chức năng khác nhau hoặc tình trạng của các bộ cảm biến trong mạng.

Để đảm bảo tất cả các điểm quan tâm được giám sát, tất cả các bộ cảm biến di động được huy động. Ở đây, bộ cảm biến được gắn vào các phương tiện di chuyển, robot để tới được các địa hình mà các bộ cảm biến tĩnh khó tiếp cận. Các cảm biến di động thu thập dữ liệu từ các khu vực của mình và cuối cùng gửi dữ liệu đến trung tâm xử lý dữ liệu (BS). Để tránh mất mát dữ liệu, mỗi cảm biến di động có thể là một BS để có thể thu thập tất cả các dữ liệu từ những bộ còn lại. Trong trường hợp này, nếu những bộ khác có thể bị phá hủy bởi kẻ thù hoặc một số vấn đề kỹ thuật, mỗi cảm biến di động (robot) vẫn có thể xây dựng một bản đồ cảm biến đầy đủ.

Một số công nghệ mới đã được áp dụng để cải thiện các vấn đề thu thập dữ liệu trong các mạng cảm biến không dây. Công nghệ Compressive sensing (CS) cung cấp một công cụ xử lý dữ liệu vượt trội cho phép một số lượng nhỏ mẫu đo để có thể phục hồi một số lượng lớn dữ liệu gốc. Số lượng mẫu thu thập cần thiết ở công nghệ CS nhỏ hơn nhiều so với số mẫu mà Nyquist / Shannon cho phép. Điều này làm giảm đáng kể năng lượng tiêu thụ cho truyền dữ liệu trong toàn mạng. Có một số phương pháp thu thập dữ liệu sử dụng CS trong các mạng cảm biến đã được đề cập.

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).

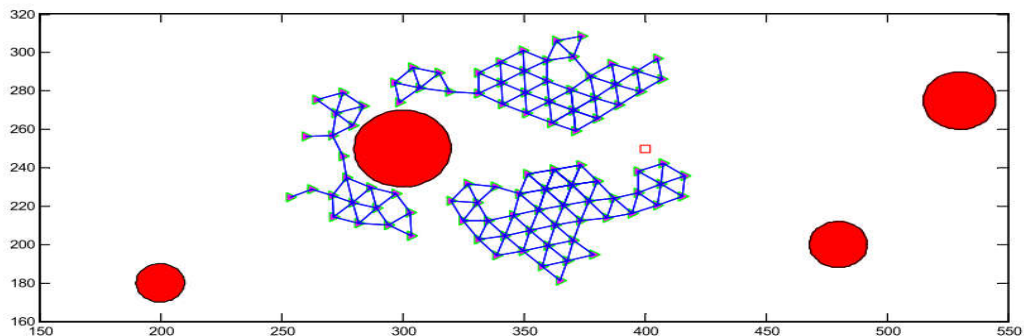
Bài viết này xem xét vấn đề trong đó một số lượng robot phân tán nhất định cần phải truy cập vào một số POI trong khu vực cảm biến để tự xây dựng bản đồ vô hướng. Đội ngũ robot, được dẫn dắt bởi một thuật toán điều khiển hợp tác, lấy mẫu một vùng cảm biến thưa thớt ở mỗi thời điểm lấy mẫu. Tại thời điểm 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 gán 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.

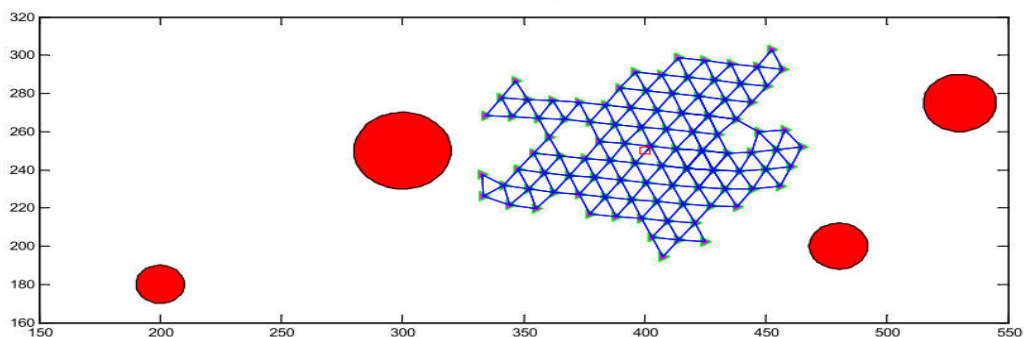
Phương pháp được đề xuất của chúng tôi khác với các phương pháp khác như phương pháp đồng thuận trong đó rất có thể yêu cầu các mạng được kết nối. Mạng robot của chúng tôi đôi khi có thể bị ngắt kết nối do giới hạn phạm vi liên lạc của robot và / hoặc tránh chướng ngại vật trên trường cảm biến. Điều 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- 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.



(a)



(b)

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

2.1. 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 - rỗng” 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 rỗng mức k nếu nó có biểu diễn tín hiệu ở một miền nào đó thích hợp, ví dụ $\psi = [\psi_i, j] \in \mathbb{R}^{N \times N}$ 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 $M = O(k \log N / \epsilon)$ có thể khôi phục được toàn bộ dữ liệu cảm biến.

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

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:

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

2.2. 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 .

2.3. 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.

2.4. 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.

2.5. 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.

2.6. 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).

3- 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_c . 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.

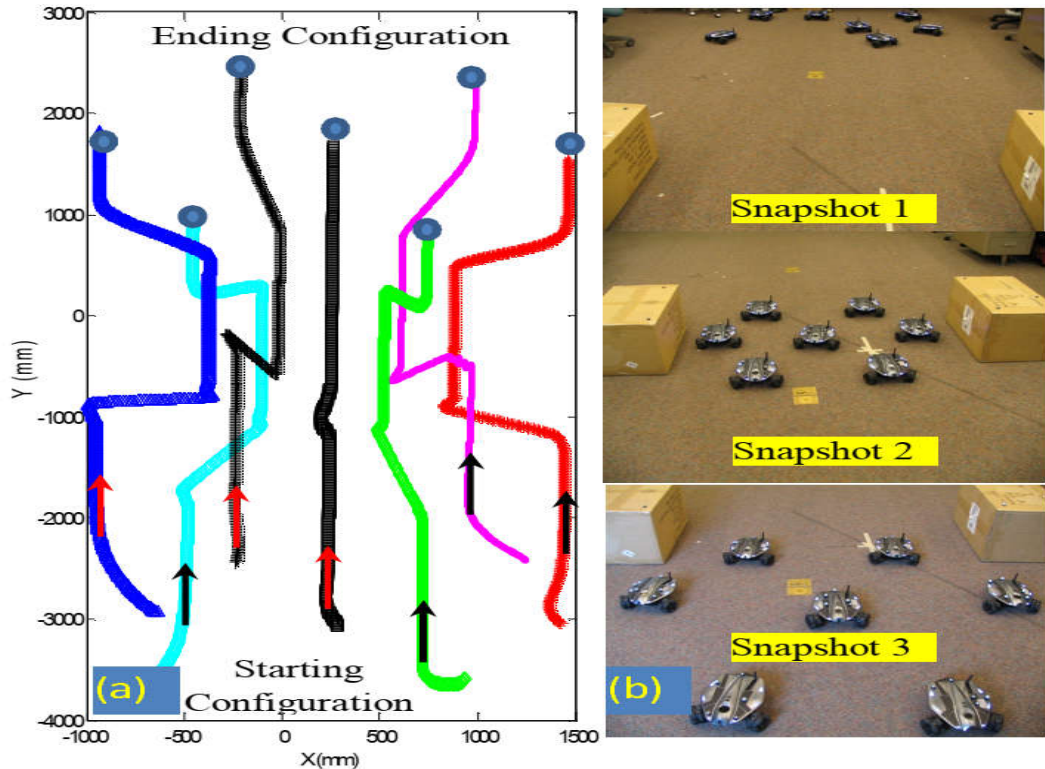
4- Một số kết quả triển khai và mô phỏng

4.1. 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 2 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.

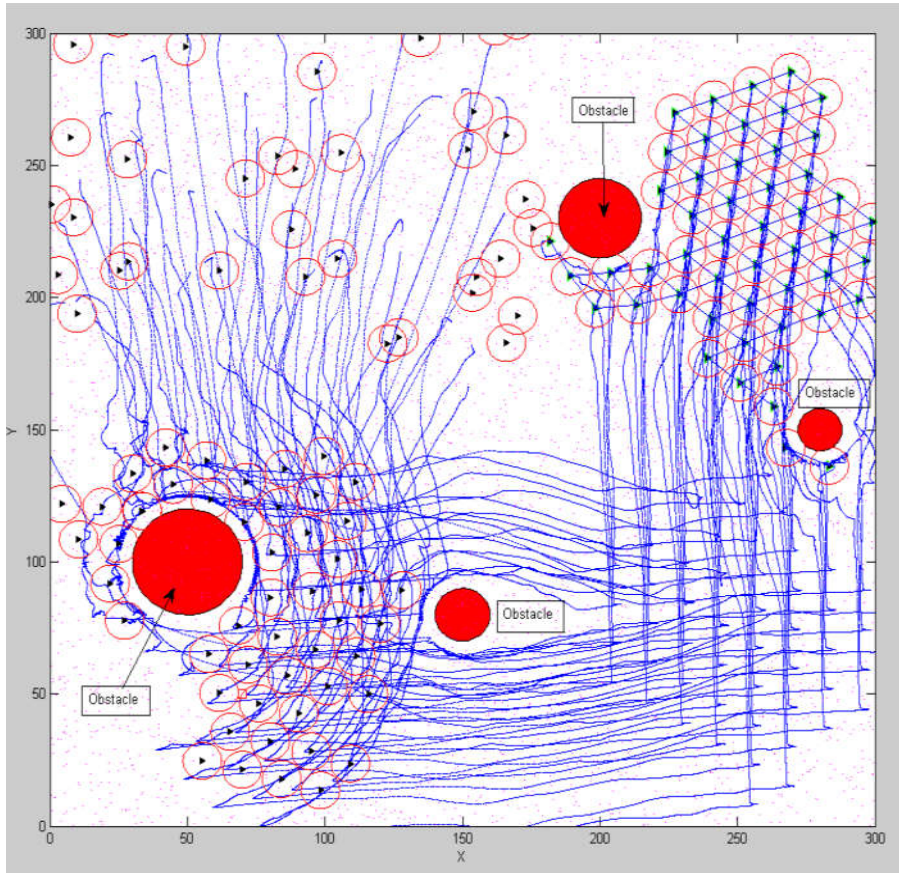


Hình 2: 7 Rovio robot được thực hiện thuật toán điều khiển nhóm chạy trên nền nhà tránh các vật cản.

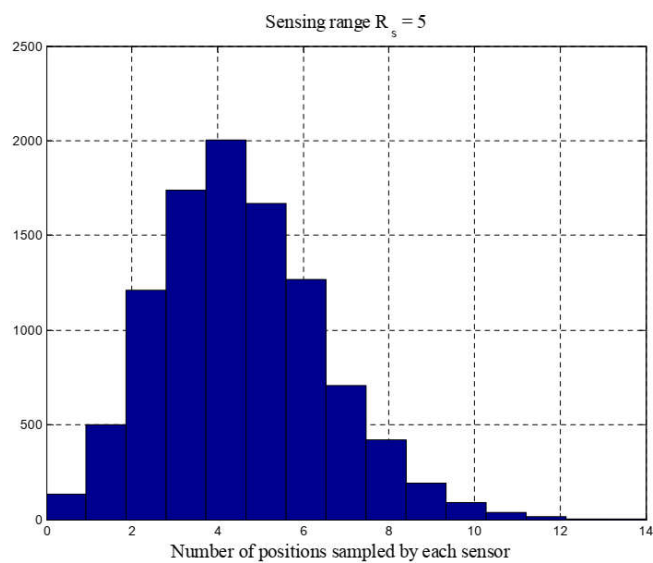
4.2. Kết quả mô phỏng thực hiện việc lấy mẫu và khôi phục tín hiệu

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 3 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.

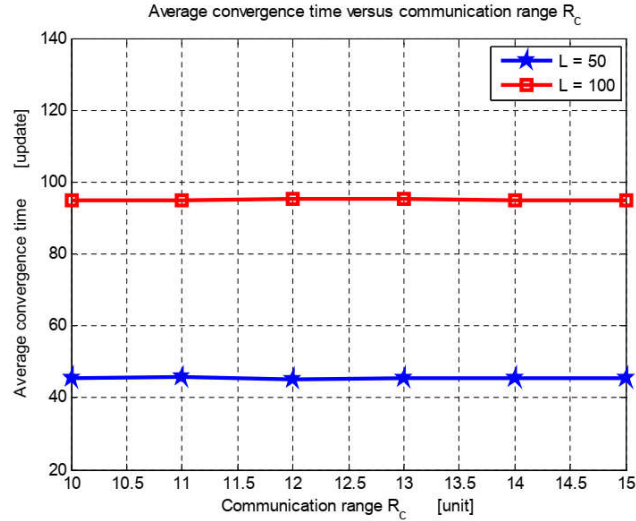


Hình 3: 50 robots triển khai trên miền cảm biến kích thước 300*300. Các hướng di chuyển của đàn robots được mô phỏng (màu xanh) trên miền cảm biến cùng với 04 vật cản (đỏ).



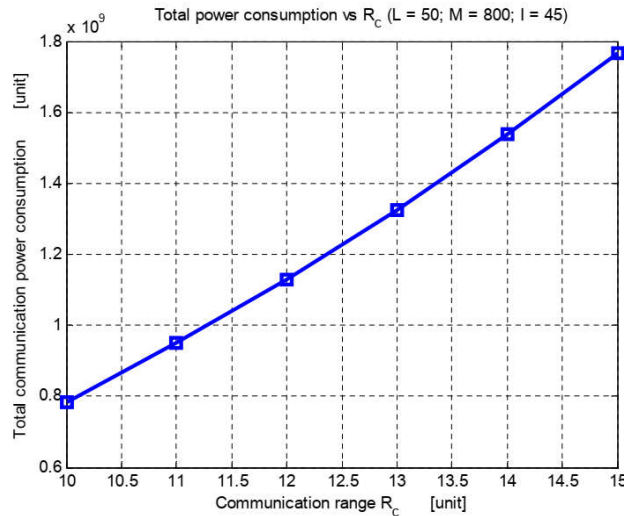
Hình 4: Số lượng POIs được thu/đo dữ liệu bởi mỗi robot

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.



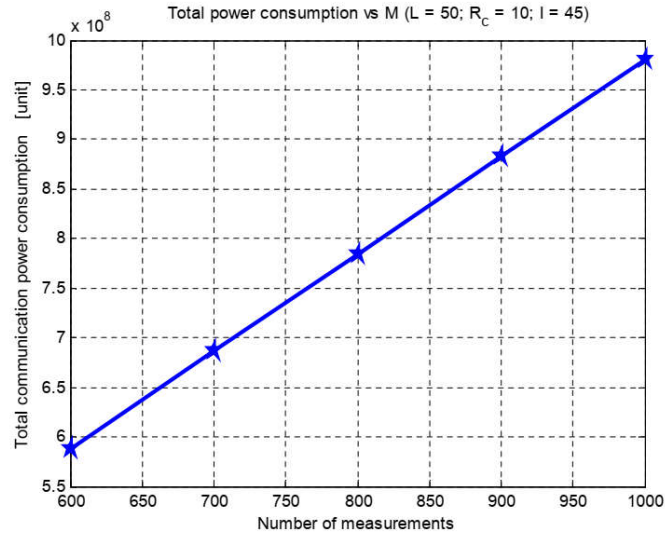
Hình 5: Thời gian hội tụ với hai nhóm robots khác nhau, nhóm 50 robots và nhóm 100 robots, là khác nhau.

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 5, 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.



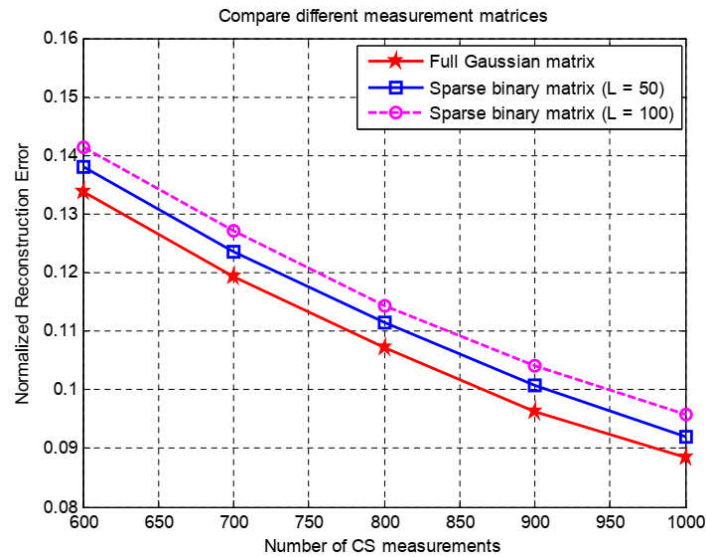
Hình 6: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với khoảng giao tiếp của các robots

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 6. Phạm vi giao tiếp nhỏ nhất, công suất tiêu thụ nhỏ nhất.



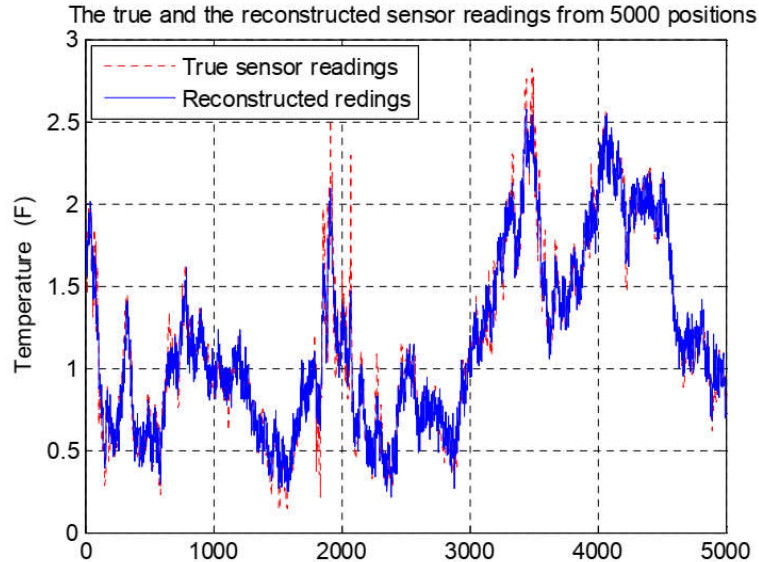
Hình 7: Tổng năng lượng tiêu thụ tương ứng với số lượng mẫu cảm biến thu được bởi toàn bộ các robots trong mạng

Hình 7 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 8: 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.

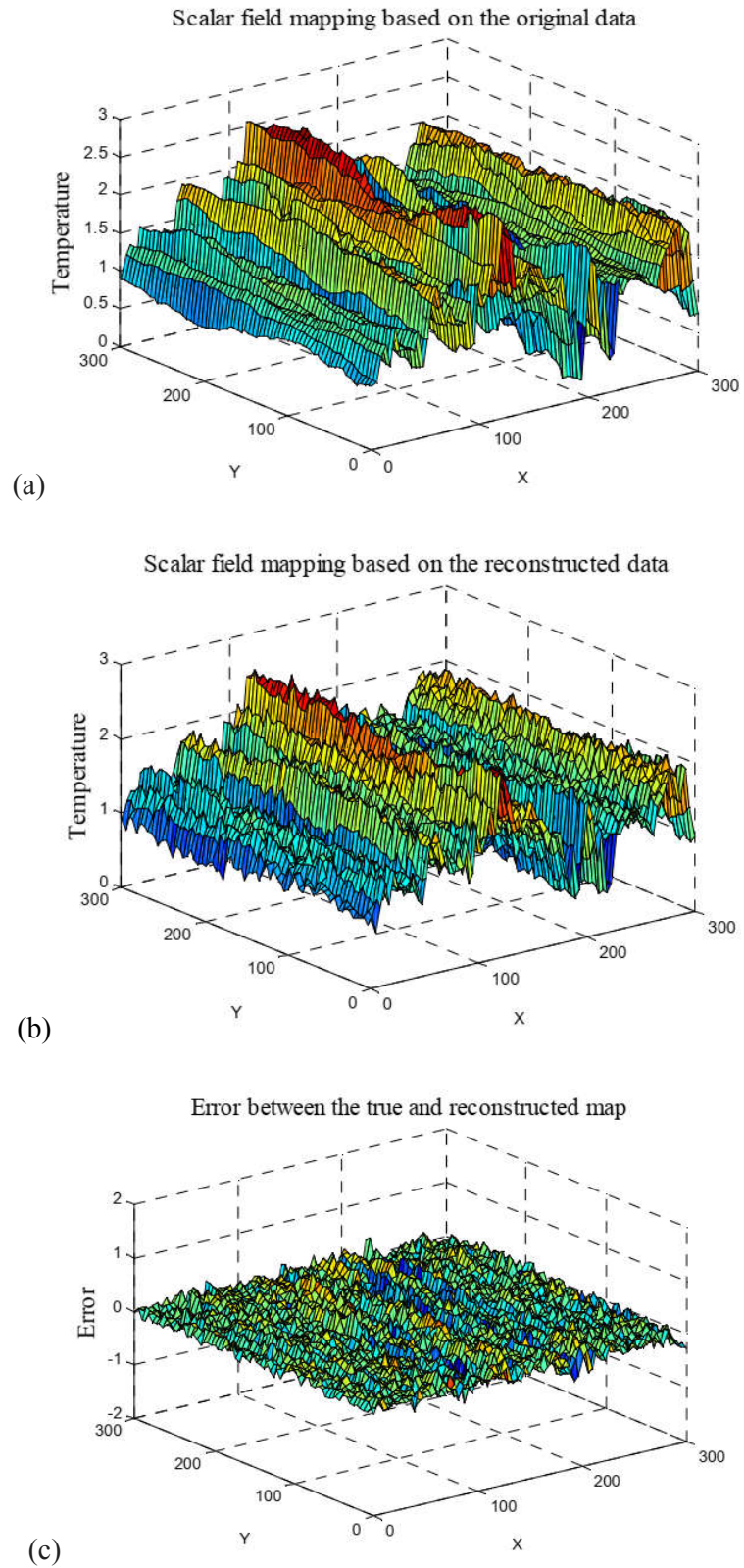
Như đã đề cập, ma trận đo nhị phân thưa thớt có thể hoạt động tốt như ma trận Gaussian dày đặc đầy đủ. Lỗi tái cấu trúc chuẩn hóa được xem xét trong tất cả các quá trình khôi phục. Hình 8 mô tả các lỗi tái cấu trúc khác nhau được cung cấp bởi hai ma trận nhị phân thưa thớt và ma trận Gaussian dày đặc. 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 9: 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 9. 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 10 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.



Hình 10: (a): bản đồ cảm biến gốc, (b) bản đồ được khôi phục, (c) bản đồ thể hiện lỗi khôi phục dữ liệu cảm biến.

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. Kokiopoulou 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.