

VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY, HANOI
UNIVERSITY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY



Le Tuan Anh

**SEQUENTIAL ENCOUNTER ENCODING FOR
ITEMSET MINING TASKS**

Major: Computer Science

HA NOI - 2024

VIETNAM NATIONAL UNIVERSITY, HANOI
UNIVERSITY OF ENGINEERING AND TECHNOLOGY

Le Tuan Anh

**SEQUENTIAL ENCOUNTER ENCODING FOR
ITEMSET MINING TASKS**

Major: Computer Science

Supervisor: Dr. To Van Khanh

HA NOI - 2024

ABSTRACT

Summary: In this thesis, we apply the "Sequential Encounter Encoding" method to optimize itemset mining tasks. This method has been proven effective in optimizing the search process for itemsets in data. By utilizing "Sequential Encounter Encoding" we aim to enhance the performance of itemset mining algorithms while minimizing processing time.

We conduct a series of experiments on real-world datasets to evaluate the performance of the applied method. Experimental results demonstrate a significant improvement in accuracy and efficiency compared to traditional methods. The application of this method not only enhances the performance of data mining processes but also opens up potential applications for similar problems in the field of data science and information retrieval.

Keywords: *SAT, SAT Encoding, Sequential Encounter Encoding, Itemset Mining Tasks*

ACKNOWLEDGEMENT

First of all, I would like to express my deepest gratitude to Lecturer, Dr. To Van Khanh, who wholeheartedly guided, guided, encouraged, and helped me throughout the course of this thesis.

I would like to thank the teachers in the Faculty of Information Technology as well as the University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi, for creating conditions for me to study in a good environment and for teaching me the best things to do. Knowledge is especially important for me to continue to study and work in the future.

I especially express my gratitude to my family who have always been a solid support to help and support me in every journey. Finally, I would also like to thank the members of the K64CA-CLC2 class, my friends in the course, and the siblings inside and outside the school who have been with me to study and practice and help each other throughout four years university.

Thank you sincerely!

Le Tuan Anh

AUTHORSHIP

I hereby declare that the thesis "SEQUENTIAL ENCOUNTER ENCODING FOR ITEMSET MINING TASKS" is done by me and has never been submitted as a report for Graduation Thesis at University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi, or any other university. All content in this thesis is written by me and has not been copied from any source, nor is the work of others used without specific citation. I also warrant that the source code is my development and does not copy the source code of any other person. If wrong, I would like to take full responsibility according to the regulations of University of Engineering and Technology - Vietnam National University, Hanoi.

Ha Noi, May 26 2024

Student

Le Tuan Anh

SUPERVISOR'S APPROVAL

I hereby approve that the thesis in its current form is ready for committee examination as a requirement for the Bachelor of Computer Science degree at the University of Engineering and Technology.

Ha Noi, May 26 2024

Supervisor

Dr. To Van Khanh

Mục lục

ABSTRACT	i
ACKNOWLEDGEMENT	ii
AUTHORSHIP	iii
SUPERVISOR’S APPROVAL	iv
1 Introduction	1
1.1 Itemset mining tasks	1
1.2 SAT Encoding	1
1.2.1 Concept	1
1.2.2 SAT Solver	1
1.2.3 SAT Encoding	1
1.2.4 Application	1
2 CNF Encoding optimization methods	2
2.1 Propositional Expression	2
2.2 Standard	2
3 Sequential Encounter Encoding for Itemset Mining Tasks	3
3.1 Kỹ thuật hình thành và duy trì đội hình đa robot, cấu trúc chữ V .	3
3.1.1 Mô hình Leader-Follower	3
3.1.2 Đội hình chữ V	4

3.1.3	Mô hình điều khiển hành vi cho đội hình chữ V	6
3.2	Thiết kế đường đi bao phủ cho đội hình chữ V	11
4	Experiment	13
4.1	Đường đi bao phủ	13
4.2	Đường dẫn bao phủ tối ưu	13
4.3	Chiến lược bao phủ đa robot với đội hình chữ V	14
4.3.1	Tìm các cặp cạnh đối đỉnh	14
4.3.2	Tính toán đường đi tốt nhất cho từng cặp đối cực	18
4.3.3	Chọn một đường đi tối ưu từ tất cả các đường đi của các cặp đối cực	21
	Conclusions	22
4.4	Mô phỏng tạo đường đi bao phủ	22
4.5	Thí nghiệm với mô hình robot là các chất điểm trong không gian 3D	24

Danh sách hình vẽ

3.1	Camera's FOV	4
3.2	Mô hình hệ thống cho việc hình thành nên đội hình chữ V	5
3.3	Tạo cấu trúc chữ V ảo	7
3.4	Hành vi đi tới đích	8
3.5	Di chuyển tránh vật cản	9
3.6	Tránh va chạm với các robot khác	9
3.7	Giữ đội hình	10
3.8	Đường đi tiến lui được tạo bởi thuật toán RCPP	12
4.1	The back-and-forth path is created by RCPP	14
4.2	Hình Polygon	16
4.3	Xác định cặp đối đỉnh theo chiều thuận kim đồng hồ	17
4.4	Xác định sự khác biệt giữa 2 góc theo chiều thuận kim đồng hồ	18
4.5	Xác định cặp đối đỉnh theo chiều ngược kim đồng hồ	19
4.6	Xây dựng đường đi	20
4.7	Bản đồ 1	23
4.8	Bản đồ 2	23
4.9	Bản đồ 3	24
4.10	Phạm vi bao phủ đội hình chữ V	26
4.11	Kết quả sự ổn định của quá trình di chuyển đội hình chữ V	27
4.12	Mô phỏng quá trình 3 robot thực hiện quá trình bao phủ	28
4.13	Mô phỏng quá trình 5 robot thực hiện quá trình bao phủ	28

4.14	Mô phỏng quá trình 7 robot thực hiện quá trình bao phủ	29
4.15	Thời gian bao phủ với đội hình robot chữ V	29
4.16	Tỷ lệ bao phủ với đội hình robot chữ V	31
4.17	Quá trình di chuyển tránh chướng ngại vật của đội hình chữ V . . .	32
4.18	Khoảng cách trung vị giữa 2 con robot liên tiếp	32

Introduction

This chapter will focus on ...

1.1 Itemset mining tasks

1.2 SAT Encoding

1.2.1 Concept

1.2.2 SAT Solver

1.2.3 SAT Encoding

1.2.4 Application

CNF Encoding optimization methods

2.1 Propositional Expression

2.2 Standard

Sequential Encounter Encoding for Itemset Mining Tasks

Chương này trình bày chi tiết về đội hình đa robot, cấu trúc chữ V và việc thiết kế đường đi bao phủ cho đội hình chữ V đó để quét bao phủ môi trường cần khảo sát dạng đa giác lồi với mục tiêu tối ưu tỷ lệ bao phủ và tối thiểu thời gian di chuyển của đội hình.

3.1 Kỹ thuật hình thành và duy trì đội hình đa robot, cấu trúc chữ V

Phần này tập trung vào việc điều khiển các robot di chuyển trong một đội hình chữ V để quét một khu vực quan tâm, được gọi là khu vực khảo sát. Bầy robot sẽ có N con, trong đó mỗi robot sẽ được trang bị các cảm biến như là: cảm biến định vị GPS, cảm biến đo lường quán tính (IMU) để xác định vị trí và định hướng của nó đối với hệ tọa độ toàn cầu, một hệ thống cảm biến tránh va chạm để phát hiện trở ngại, một mô-đun mạng truyền thông không dây để thực hiện giao tiếp ngang hàng với các robot khác trong phạm vi của nó và cuối cùng là một máy ảnh để thực hiện khảo sát hình ảnh trên khu vực quan tâm. Tầm nhìn của máy ảnh (FOV) được xem là phạm vi bao phủ của một robot.

3.1.1 Mô hình Leader-Follower

Trong quá trình di chuyển theo đội hình, các robot sẽ được tổ chức theo mô hình leader-follower, trong đó mỗi thành viên đóng một vai trò như sau:

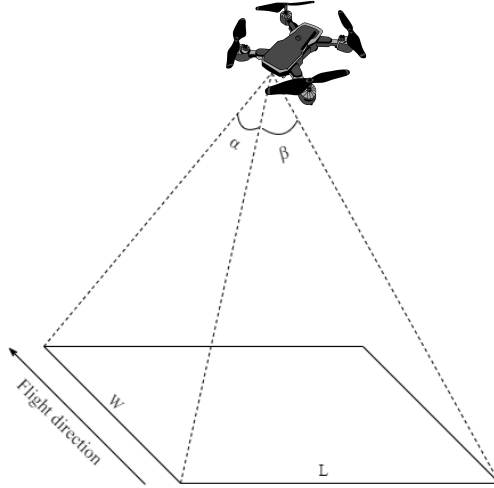
- Leader: Robot dẫn đầu có nhiệm vụ di chuyển dọc theo đường đi được thiết kế trước và tạo ra cấu trúc ảo hình chữ V với đỉnh nằm ở vị trí của Robot

đó. Các mục tiêu ảo trên cấu trúc ảo được chỉ định cho những người theo dõi thông qua mạng ad-hoc không dây.

- Follower: Robot theo sau thực hiện các nhiệm vụ tiếp nhận mục tiêu ảo được chỉ định, đồng thời di chuyển và theo dõi chặt chẽ mục tiêu của nó để tạo thành cấu trúc hình chữ V.

Trong quá trình bay robot quét bao phủ, các Robot có nhiệm vụ duy trì đội hình chữ V đồng thời tránh va chạm với các chướng ngại vật và các Robot khác trong đội hình, bám đường đi bao phủ được thiết kế.

3.1.2 Đội hình chữ V



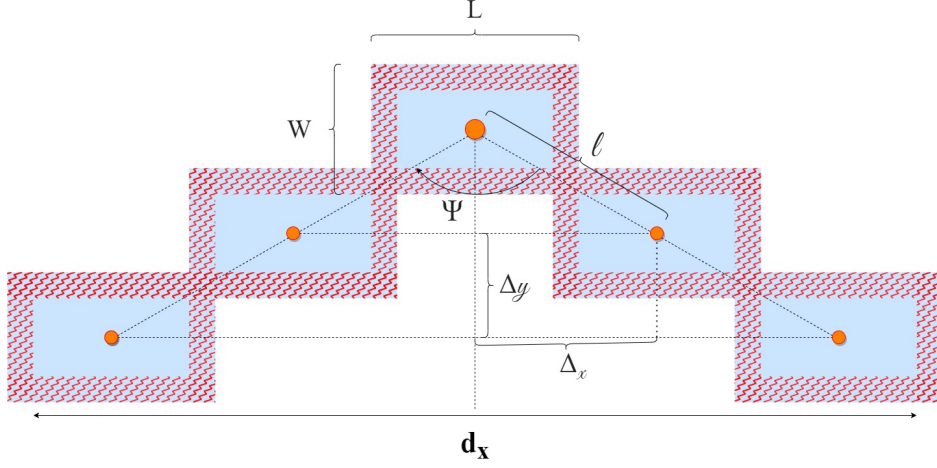
Hình 3.1: Camera's FOV

Vùng bao phủ của mỗi Robot được xác định bởi phạm vi quan sát FOV (Field of View) của cảm biến chẳng hạn sử dụng camera có FOV như trong Hình 3.1. Với Robot có độ cao h , thì chiều rộng W và chiều dài L của FOV được xác định như sau:

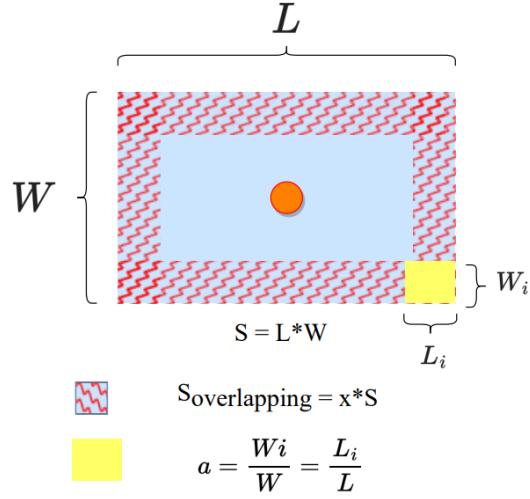
$$W = 2h \tan \frac{\alpha}{2}, \text{ and } L = 2h \tan \frac{\beta}{2} \quad (3.1)$$

Trong đó α và β lần lượt là độ dài theo phương dọc và ngang của camera

Đội hình chữ V của Robots được mô tả như Hình.3.2a tại đó ψ là góc chữ V, và ℓ là khoảng cách tương đối giữa hai Robots liên tiếp trong đội hình. Tại thời điểm tùy ý, vùng bao phủ của bay Robot được thể hiện bằng hình ảnh khảo sát được hợp nhất bởi các hình ảnh từ phạm vi quan sát FOV của tất cả các Robot.



(a) Đội hình chữ V



(b) Tỷ lệ trùng lặp của máy ảnh

Hình 3.2: Mô hình hệ thống cho việc hình thành nên đội hình chữ V

Quá trình ghép hình ảnh yêu cầu một tỷ lệ chồng chéo thích hợp x ($0 < x < 1$) để khắc phục sự biến dạng của ống kính và có đủ các tính năng có thể phát hiện được như được hiển thị trong Hình.3.2b. Các tham số ψ và ℓ của đội hình chữ V có thể dễ dàng xác định như sau:

$$S_{\text{overlap}} = 2WL a + 2(L - 2La)Wx = 4WL a - 4WL a^2 \quad (3.2)$$

Mặt khác $S_{\text{overlap}} = WLx$. Thay S_{overlap} vào công thức 3.2 ta được :

$$\begin{aligned} WLx &= 4WL a - 4WL a^2 \\ \Rightarrow \frac{x}{4} &= a - a^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Từ việc giải phương trình bậc 2, công thức 3.3 ta hoàn toàn có thể tìm ra giá trị a thỏa mãn. Từ đó suy ra l và ψ :

$$\begin{cases} \ell = \sqrt{\Delta_x^2 + \Delta_y^2} \\ \psi = 2\text{atan2}(\Delta_y, \Delta_x) \end{cases} \quad (3.4)$$

Trong đó $\Delta_x = (1 - a)L$ và $\Delta_y = (1 - a)W$.

Leader sẽ tạo ra cấu trúc chữ V ảo trong hệ toạ độ toàn cầu mà trong đó đỉnh là vị trí của nó, các tham số ψ_i và ℓ được xác định bởi công thức 3.4. Qua đó, giả sử rằng $P_L = [x_L, y_L, z_L]^T$ và θ là vị trí của leader, và góc mục tiêu giữa véc tơ từ vị trí hiện tại của leader đối với mục tiêu và trục x như trong Hình.3.3. Đội hình chữ V có hai cánh trái và phải. được xác định lần lượt bởi góc quay $\varphi = \theta \mp \frac{\psi}{2} + \pi$. Các mục tiêu ảo được phân bổ đều cho hai bên cánh với khoảng cách ℓ . Do đó, vị trí của các mục tiêu ảo được xác định dưới đây:

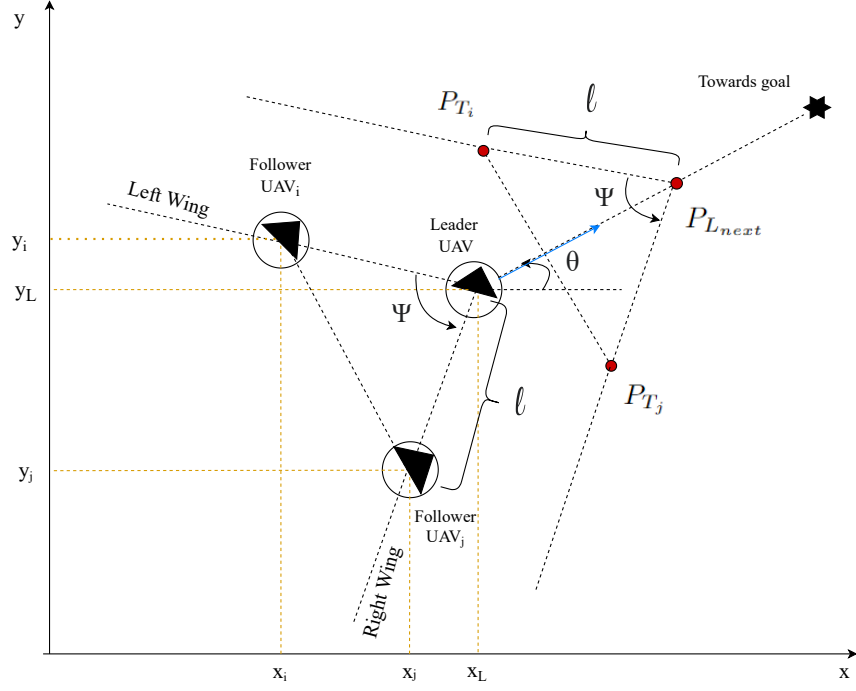
$$P_T = \text{Rot}_z(\varphi)P_t + P_L \quad (3.5)$$

$$\begin{bmatrix} x_T \\ y_T \\ z_T \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \psi & -\sin \psi & 0 \\ \sin \psi & \cos \psi & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} x_t \\ y_t \\ 0 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} x_L \\ y_L \\ z_L \end{bmatrix} \quad (3.6)$$

Trong đó $\text{Rot}_z(\varphi)$ là ma trận xoay quanh trục z với góc quay φ ; $P_t = [x_t, y_t, 0]^T$ với $x_t = \pm i\ell \cos \frac{\psi}{2}$, $y_t = \pm i\ell \sin \frac{\psi}{2}$ lần lượt là vị trí của các mục tiêu ảo bên phải và trái đối với toạ độ địa phương của leader. Và $i = 1, \dots, \left\lfloor \frac{(n-1)}{2} \right\rfloor$ thể hiện chỉ số của mục tiêu ảo của hai bên cánh.

3.1.3 Mô hình điều khiển hành vi cho đội hình chữ V

Tại mỗi bước thời gian, Robot leader tạo ra cấu trúc ảo hình chữ V bằng cách tạo ra các mục tiêu ảo cho các follower thông qua giao tiếp ngang hàng. Trong phần này, việc điều khiển dựa trên hành vi được đề xuất cho phép các Robot đi theo cấu trúc ảo để duy trì đội hình chữ V trong khi tránh chướng ngại vật và tránh các Robot khác. Hành vi tổng thể do robot thực hiện là sự kết hợp của một số hành vi phụ như là: di chuyển đến mục tiêu, tránh chướng ngại vật, tránh robot và giữ đội hình. Trong các ứng dụng thực tế, mỗi hành vi của robot được nêu dưới dạng véc tơ bao gồm hướng và độ lớn. Trọng số của trong mỗi hành vi có thể thay



Hình 3.3: Tạo cấu trúc chữ V ảo

đổi được bằng cách điều chỉnh tham số. Dựa trên thông tin được phát hiện từ môi trường xung quanh, robot lựa chọn hành vi phù hợp. Từ đó, một di chuyển sẽ được tạo ra. Véc tơ hành vi tổng hợp là tổng của tất cả các véc tơ hành vi cơ bản thiết lập trong robot được định nghĩa là: Hành vi tổng thể của Robot i được tổng hợp bởi một số hành vi phụ khi di chuyển đến mục tiêu V_{m2g} , tránh va chạm với vật cản V_{obs} và các Robots khác V_{adr} , và giữ đội hình V_{kf} như sau:

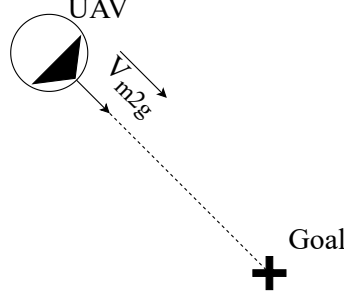
$$V_i = V.f \quad (3.7)$$

Trong đó $V = [V_{m2g}, V_{ath}, V_{adr}, V_{kf}]$ là hành vi phụ, và $f = [f_{m2g}, f_{ath}, f_{adr}, f_{kf}]^T$ là tham số điều khiển. Với $P_i = [x_i, y_i, z_i]^T$ là vị trí của Robot thứ i . Các hành vi phụ được thể hiện như sau:

Hành vi di chuyển đến đích

Hành vi di chuyển đến đích được định hướng bởi Robot leader về phía mục tiêu là một điểm trên đường đi được mô tả trong Hình.3.4 và được trình bày như sau:

$$V_{m2g} = \frac{1}{d_{m2g}} \begin{bmatrix} x_g - x_i \\ y_g - y_i \\ z_g - z_i \end{bmatrix} \quad (3.8)$$



Hình 3.4: Hành vi đi tới đích

Trong đó $P_g = [x_g, y_g, z_g]^T$ là vị trí đích, và d_{m2g} là khoảng cách giữa Robot leader và mục tiêu.

Tại hành vi này, Robot leader được yêu cầu di chuyển chậm chậm khi những Robot theo sau chưa bắt kịp mục tiêu ảo của chúng. Do đó, tham số điều khiển f_{m2g} được xác định dựa trên lỗi vị trí của các Follower như sau:

$$f_{m2g} = \begin{cases} a_{m2g} & N_{err} = \emptyset \\ \frac{b_{m2g}}{\max_{i \in N_{err}} \{err_i\}} & N_{err} \neq \emptyset \end{cases} \quad (3.9)$$

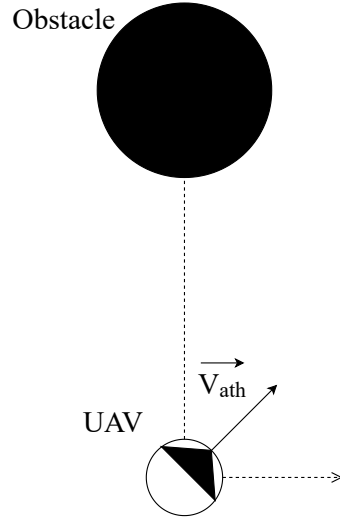
Trong đó a_{m2g} và b_{m2g} là các tham số điều chỉnh; N_{err} là một tập các lỗi vị trí của các Follower với lỗi vị trí lớn hơn một khoảng được xác định trước. Khoảng này có thể được thay đổi định kỳ theo từng bước thời gian thông qua mạng không dây ad-hoc.

Hành vi tránh vật cản

Hành động được thực hiện khi các robot xác định được một vật cản. Cách truyền thống là để một robot di chuyển về phía sau tạo ra một trạng thái cực tiểu cục bộ. Để giải quyết vấn đề này, ta thay đổi hướng chuyển động với một góc 90 độ về phía vật cản. Tại độ cao $z = z_i$, vật cản có thể được mô phỏng như một vòng tròn với vị trí tâm (x_{th}, y_{th}, z_{th}) và bán kính r_{th} . Do đó, véc tơ tránh vật cản như sau:

$$V_{obs} = \frac{1}{d_{ath}^2} \begin{bmatrix} \pm(y_{th} - y_i) \\ \mp(x_{th} - x_i) \\ z_i \end{bmatrix} \quad (3.10)$$

Trong đó d_{ath} là khoảng cách tương đối giữa Robot và vật cản, kí hiệu \pm được xác định bằng việc vật cản ở bên trái hay phải của vị trí mục tiêu. Tham số điều



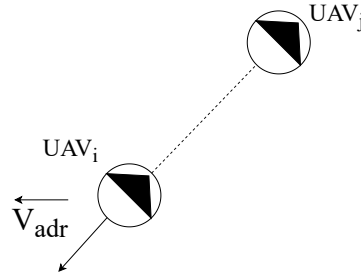
Hình 3.5: Di chuyển tránh vật cản

hành vi được xác lập như sau:

$$f_{ath}(d_{ath}) = \begin{cases} 0 & \text{if } d_{ath} \geq b_{ath} \\ a_{ath} \left(1 - \frac{d_{ath}}{b_{ath}}\right) & \text{if } d_{ath} < b_{ath} \end{cases} \quad (3.11)$$

Trong đó a_{ath} và b_{ath} là các tham số điều chỉnh và d_{ath} là khoảng cách giữa robot và vật cản.

Hành vi tránh va chạm giữa các robot



Hình 3.6: Tránh va chạm với các robot khác

Hành vi tránh va chạm được kích hoạt khi một Robot quá gần với các Robot khác. Véc tơ tránh va chạm V_{adr} có xu hướng tránh ra khỏi các Robots được xác định như mô tả trong Hình.3.6, được trình bày như sau:

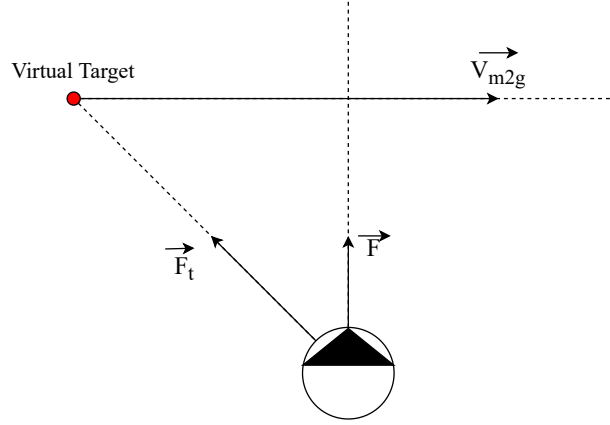
$$V_{adr} = \sum_{j=1}^{N_{adr}} \frac{1}{d_{adr_{ij}}^2} \begin{bmatrix} x_{dr_j} - x_i \\ y_{dr_j} - y_i \\ z_{dr_j} - z_i \end{bmatrix} \quad (3.12)$$

Trong đó $P_{dr_j} = [x_{dr_j}, y_{dr_j}, z_{dr_j}]^T$ là vị trí của Robot j trong nhóm những Robot được xác định N_{adr} , và $d_{adr_{ij}}$ là khoảng cách tương đối giữa Robot i và Robot j . Tham số điều khiển của hành vi này được thể hiện như sau:

$$f_{adr}(\overline{d_{adr}}) = \begin{cases} 0 & \text{if } \overline{d_{adr}} \geq b_{adr} \\ a_{adr} \left(1 - \frac{\overline{d_{adr}}}{b_{adr}}\right) & \text{if } \overline{d_{adr}} < b_{adr} \end{cases} \quad (3.13)$$

Trong đó a_{adr} và b_{adr} là các tham số điều chỉnh, $\overline{d_{adr}}$ là trung bình của $d_{adr_{ij}}$, $\forall j \in N_{adr}$.

Hành vi duy trì đội hình



Hình 3.7: Giữ đội hình

Để giữ đội hình luôn trong cấu trúc chữ V cần điều khiển các Robots đi theo cấu trúc chữ V ảo. Phụ thuộc vào vị trí của Robot và mục tiêu của nó trong hướng di chuyển của đội hình, hành vi này có các hành động sau đây:

- Mục tiêu ở phía trước Robot: Robot cần đến chỗ mục tiêu, tương tự như hành vi di chuyển đến mục tiêu của Robot leader như mô tả trong hình 3.4. Do đó, hành vi duy trì đội hình được thể hiện như sau:

$$V_{kf} = \frac{1}{d_t} \begin{bmatrix} x_T - x_i \\ y_T - y_i \\ z_T - z_i \end{bmatrix} \quad (3.14)$$

Trong đó $[x_T, y_T, z_T]^T$ là vị trí mục tiêu, d_t là khoảng cách giữa các Robot và các mục tiêu của chúng. Tham số điều khiển f_{kf} được xác định dựa trên

khoảng cách d_t như sau:

$$f_{kf}(d_t) = \begin{cases} a_{kf} & \text{khi } d_t \geq b_{kf} \\ a_{kf} \frac{d_t}{b_{kf}} & \text{khi } d_t < b_{kf} \end{cases} \quad (3.15)$$

Trong đó a_{kf} và b_{kf} là tham số điều chỉnh.

- Mục tiêu ở phía sau của Robot: Robot không đi theo mục tiêu vì mục tiêu có xu hướng di chuyển đến gần nó. Do đó, Robot chỉ cần bay chậm theo hướng mục tiêu của đội hình V_{m2g} như Hình.3.7. Với F là vectơ đơn vị giao với hướng mục tiêu V_{m2g} , và F_t là véc tơ từ Robot đến mục tiêu của nó. Hành vi duy trì đội hình được xác định như sau:

$$V_{kf} = \text{sign}((F \times F_t).F) \quad (3.16)$$

Tham số điều khiển f_{kf} được định nghĩa như sau:

$$f_{kf} = \frac{a_{kf}}{V_{kf} \times F_t} \quad (3.17)$$

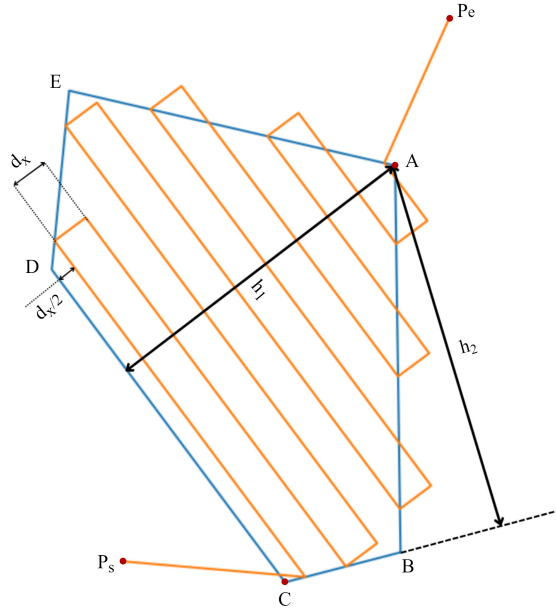
Trong đó \times thể hiện phép nhân có hướng.

3.2 Thiết kế đường đi bao phủ cho đội hình chữ V

Một vấn đề liên quan là hoạch định đường đi cho robot để nó có thể quét qua toàn bộ địa hình (khu vực mục tiêu). Vấn đề như vậy được gọi là lập kế hoạch đường đi bao phủ. Phần này trình bày một chiến lược tập trung vào việc xây dựng và tạo ra một tuyến đường đặc biệt tối ưu phục vụ cho hoạt động tuần tra và giám sát một vùng đa giác lõm quan tâm.

Coi khu vực khảo sát là một đa giác lõm. Đàn robot sẽ xuất phát và kết thúc lần lượt tại điểm đầu P_s và điểm cuối P_e , như minh họa trong Hình.4.1. Trong phần này, chiến lược di chuyển tiến lùi được thực hiện để tạo ra một đường bao phủ tối ưu trong đó bầy đàn bám sát theo các đường thẳng, được gọi là đường đi bên trong khu vực khảo sát. Như vậy, chiến lược bao phủ của đội hình chữ V được thiết kế.

Đường đi của robot quét qua khu vực khảo sát được gọi là đường bao phủ. Nó cần được thiết kế để tối đa hóa vùng phủ sóng và giảm thiểu thời gian bay. Trong điều khiển đội hình, không có sự phân tách khu vực khảo sát nào là cách tiếp cận thích hợp để giải quyết vấn đề này [1]. Bằng cách đi theo đường gấp khúc



Hình 3.8: Đường đi tiến lui được tạo bởi thuật toán RCPP

[2] cho phép tạo ra các đường quét song song trong khu vực khảo sát. Vì vậy, để thỏa mãn các yêu cầu đã nêu, các đường quét cần đáp ứng các điều kiện sau: quét toàn bộ khu vực khảo sát; giảm thiểu sự chồng chéo giữa vùng phủ sóng của các đường quét; và tối ưu hóa số lượt rẽ của bầy Robot.

Trong đồ án này, các đường tiến lui (back and forth path) trong khu vực khảo sát được tạo ra bằng cách sử dụng kỹ thuật lập kế hoạch đường đi bao phủ **RCPP** (rotating calipers path planner) được đề xuất trong [3], và từ đó làm nó trơn tru hơn với nội suy đa thức spline.

Experiment

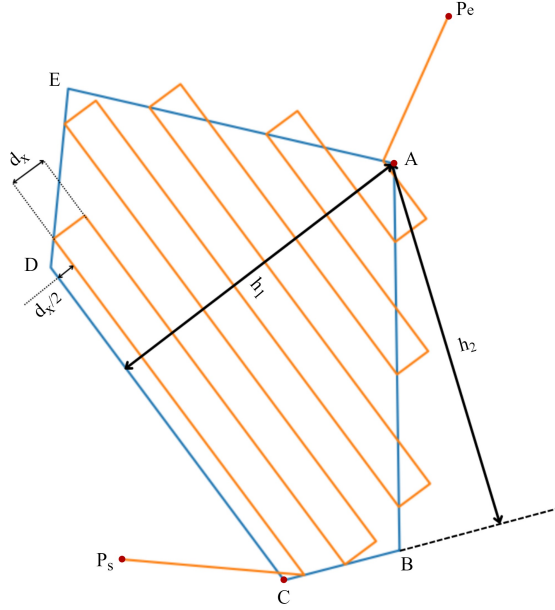
4.1 Đường đi bao phủ

Ngày nay, khi nhiệt độ trái đất nóng lên từng ngày các thảm họa thiên nhiên cháy rừng đang ngày một xuất hiện nhiều hơn với mức độ nghiêm trọng. Việc biết càng sớm về thảm họa con người càng có lợi thế để giảm thiểu thiệt hại cũng như khống chế đám cháy. Tuy nhiên với một diện tích lớn bất kỳ chúng ta có các giới hạn về mặt triển khai thiết bị. Để khắc phục vấn đề này việc sử dụng các máy bay không người lái là lựa chọn tối ưu. Một vấn đề liên quan là hoạch định đường đi cho xe để khi đường đi theo toàn bộ địa hình (khu vực mục tiêu) được quét. Vấn đề như vậy được gọi là lập kế hoạch lộ trình bao phủ. Bài viết trình bày một chiến lược tập trung vào việc xây dựng một bầy Robot hình thành đội hình chữ V và tạo ra một tuyến đường đặc biệt tối ưu phục vụ cho hoạt động tuần tra và giám sát một vùng lõi quan tâm

Coi khu vực khảo sát là một đa giác lồi. Đàn Robot cất cánh và hạ cánh lần lượt tại điểm đầu P_s và điểm cuối P_e , như minh họa trong Hình.4.1. Trong phần này, chiến lược đi tiến lùi được thực hiện để tạo ra một đường bao phủ tối ưu trong đó bầy đàn theo dõi các đường thẳng, được gọi là đường đi, bên trong khu vực khảo sát và chiến lược bao phủ quét của đội hình Robot hình chữ V sử dụng phạm vi bao phủ được thiết kế.

4.2 Đường dẫn bao phủ tối ưu

Đường đi của robot quét qua khu vực khảo sát được gọi là đường bao phủ. Nó cần được thiết kế để tối đa hóa vùng phủ sóng và giảm thiểu thời gian bay. Trong điều khiển đội hình, không có sự phân tách khu vực khảo sát nào là cách



Hình 4.1: The back-and-forth path is created by RCPP

tiếp cận thích hợp để giải quyết vấn đề này [1]. Bằng cách đi theo đường gấp khúc [2] cho phép tạo ra các đường quét song song trong khu vực khảo sát. Vì vậy, để thỏa mãn các yêu cầu đã nêu, các đường quét cần đáp ứng các điều kiện sau: quét toàn bộ khu vực khảo sát; giảm thiểu sự chồng chéo giữa vùng phủ sóng của các đường quét; và tối ưu hóa số lượt của bầy Robot.

Trong báo cáo này, các đường tối lui(back and forth path) của đỉnh cạnh tối ưu trong khu vực khảo sát bằng cách sử dụng công cụ lập kế hoạch đường dẫn calipers xoay (RCPP) được đề xuất trong [3], và từ đó làm nó trơn tru hơn với nội suy spline khối.

4.3 Chiến lược bao phủ đa robot với đội hình chữ V

Phương pháp RCPP gồm ba bước như sau:

4.3.1 Tìm các cặp cạnh đối đỉnh

Các cặp đối đỉnh là các cặp đỉnh của đa giác mà cho phép các đường hỗ trợ song song giao với ranh giới của đa giác và nằm hoàn toàn về một phía của nó.

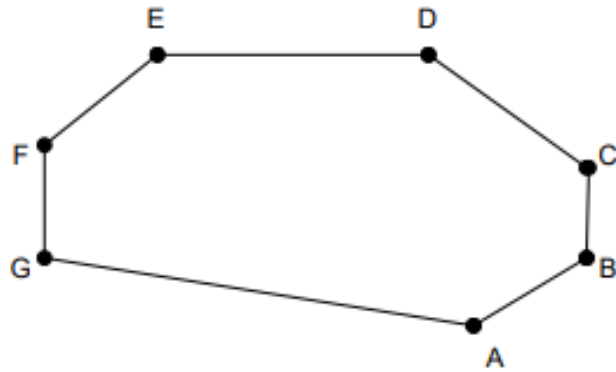
Chúng có thể được xác định bằng thuật toán của Shamon [4]

Ở phần này, vấn đề sẽ được giải quyết từ góc độ 2D, do đó không gian làm việc sẽ là không gian hai chiều và nó sẽ được gọi là máy bay. Một điểm trên không gian làm việc được xác định bởi một cặp giá trị (x, y) . Cho rằng vùng quan tâm (ROI) là mặt phẳng, vì vậy nó được biểu thị bằng một hình dạng lồi dạng tiêu chuẩn (convex) [5], $Q = \{V, E\}$. Trong đó V là tập hợp các đỉnh, điểm trong cùng một mặt phẳng đặt theo chiều kim đồng hồ. E là tập hợp các cạnh tạo bởi 2 điểm liên kết nhau.

Ta sẽ định nghĩa đường hỗ trợ là một đường thẳng đi qua 1 đỉnh của đa giác hoặc 1 cạnh của đa giác và nằm hoàn toàn về một phía của đa giác, không cắt đa giác tại điểm nào. Một cặp điểm đối đỉnh là 1 cặp điểm mà ở 2 điểm đó tồn tại 2 đường hỗ trợ đi qua và song song với nhau và khoảng cách giữa 2 đường thẳng song song chính là chiều rộng của đa giác

Nhiệm vụ khảo sát được thực hiện bởi một máy bay không người lái mang một máy ảnh đang chiếu xuống mặt đất như hình 3.1. Giả sử rằng Robot được xác định là một điểm $P = (X, Y)$, trong đó X và Y là tọa độ NED. Khi máy bay không người lái bao phủ một khu vực, nó cất cánh tại điểm PS, di chuyển đến khu vực quan tâm, đi theo một con đường trong khi nó chụp ảnh và cuối cùng di chuyển đến điểm hạ cánh, PE. Hiện tại một bức tranh được chụp, máy ảnh có thể chụp được một hình chữ nhật trên mặt đất.

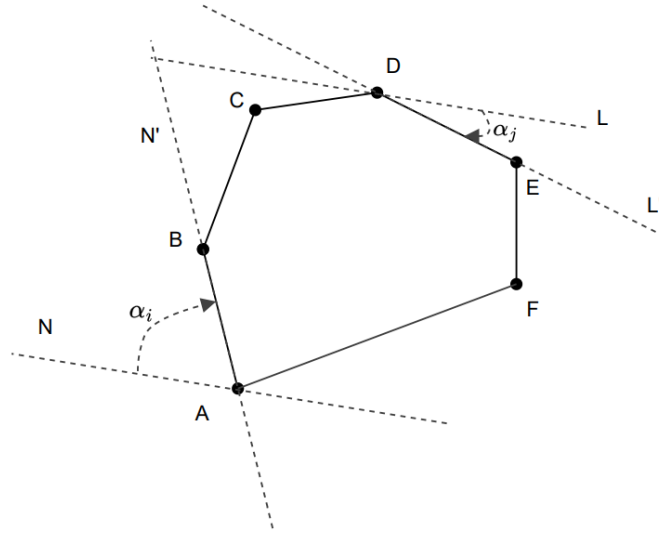
Đường kính của hình đa giác lồi là khoảng cách lớn nhất giữa các đường hỗ trợ song song. Tham khảo Hình 4.2 và lưu ý rằng các đường hỗ trợ song song không thể được thực hiện để vượt qua từng cặp điểm. Ví dụ, không có đường hỗ trợ nào đi qua các đỉnh D và F có thể song song với nhau. Điều này có nghĩa là DF không phải là đường kính. Một cặp điểm tồn tại các đường hỗ trợ song song sẽ được gọi là cặp đối đỉnh. Vì vậy chúng ta chỉ cần xem xét các cặp đối đỉnh. Vấn đề là tìm thấy chúng mà không kiểm tra tất cả các cặp điểm



Hình 4.2: Hình Polygon

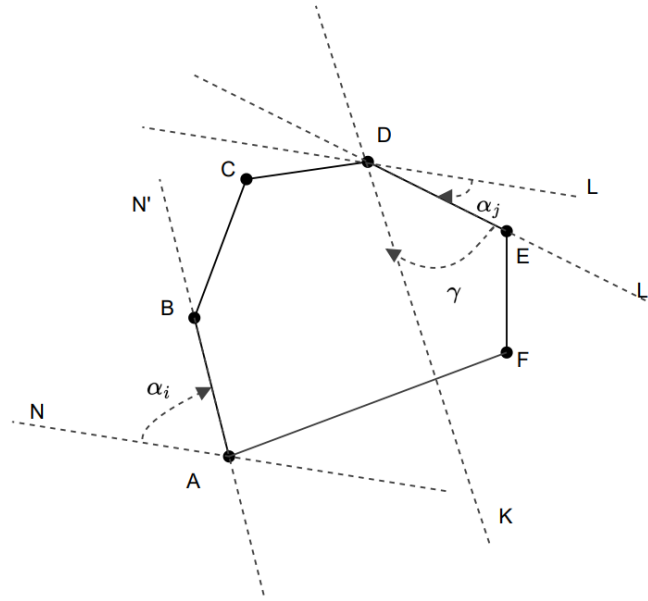
Phương pháp tìm cặp điểm đối đỉnh

- Quá trình thứ 1: Quay theo cùng chiều kim đồng hồ: Bây giờ đề cập đến Hình 4.3, quan sát rằng các dòng L và N là các đường hỗ trợ song song thông qua các đỉnh A và D, tương ứng. Điều này có nghĩa là (A,D) là một cặp đối đỉnh nhau. Khi ta bắt đầu tiến hành quay đường hỗ trợ đồng thời theo chiều kim đồng hồ về các đỉnh này, chúng vẫn là các đường hỗ trợ. Điều này vẫn đúng cho đến khi một trong các đường hỗ trợ trở nên trùng hợp với một cạnh của đa giác. Ở đây L, khi được xoay vào vị trí L', sẽ chạm vào cạnh DE trước khi N đến B. Vì vậy (A, E) trở thành một cặp đối đỉnh. Tiếp tục theo cách này, chắc chắn sẽ tìm ra được tất cả các cặp chống đối, vì các đường song song sẽ di chuyển qua tất cả các góc có thể. Xác định cặp mới ở mỗi bước chỉ liên quan đến một so sánh góc đơn giản.



Hình 4.3: Xác định cặp đối đỉnh theo chiều thuận kim đồng hồ

Từ hình 4.5, bằng cách tìm góc tối thiểu giữa α_i và α_j , là các góc từ các đường hỗ trợ ảo đến cạnh gần nhất của đa giác theo thuận chiều kim đồng hồ. Tuy nhiên, thay vì đo α_i và α_j , thuật toán đã đo sự khác biệt giữa vòng quay từ dòng L đến N. Xem các dòng 1-8 của Thuật toán 1. Nhìn hình 4.5 ta có thể thấy nếu sự khác biệt giữa 2 góc γ trừ π nhỏ hơn 0 thì cạnh DE được lấy làm cơ sở của đường dẫn. Mặt khác, nếu sự khác biệt giữa 2 góc γ trừ π lớn hơn 0, cạnh AB được lấy làm đế của cạnh. Một trường hợp đặc biệt là khi cả hai góc đều bằng nhau. Trong trường hợp như vậy, số lượng đường đi là như nhau sau đó, nó không quan trọng đường cơ sở nào được chọn theo số lượng đường đi. Vì lý do này và sự đơn giản trong thuật toán, trong trường hợp các góc bằng nhau, thuật toán sẽ chọn cạnh AB làm cơ sở



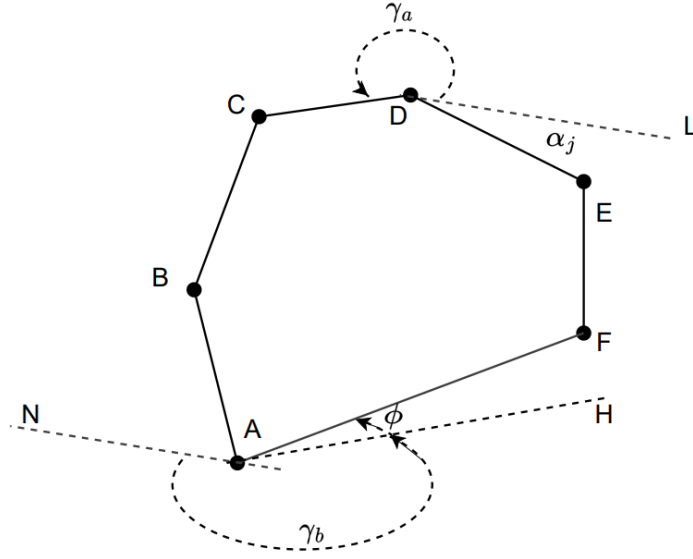
Hình 4.4: Xác định sự khác biệt giữa 2 góc theo chiều thuận kim đồng hồ

- Quá trình thứ 2: Quay ngược chiều kim đồng hồ: Trong bước này, có một vài trường hợp tìm thấy đường cơ sở khác bằng cách xoay caliper theo hướng ngược chiều kim đồng hồ. Các góc đối với đường thẳng B (đường thẳng được tạo bởi 2 điểm C,D) sẽ được đo. Các góc đo γ_B , góc giữa CE với đường thẳng B và γ_A , là góc giữa cạnh LN với đường thẳng song song với B. Đối với đường thẳng A, một đường thẳng hỗ trợ song song với đường thẳng B đi qua L được cho là đỉnh đối với C. Một góc bổ sung ϕ cần có để đường thẳng A có thể chạm được đến cạnh LM. Vì đường thẳng B đã được chạm vào DC trước A, do đó ϕ góc lớn hơn hoặc bằng không. Các góc γ_A và γ_B sẽ cho chúng ta biết gần nhất cạnh cơ sở từ hai khả năng: CD hoặc LM sẽ là đường cơ sở. Xem dòng 9-19 từ Thuật toán 1.

Phương pháp trên có thể tóm gọn thông qua Thuật toán 1 như sau:

4.3.2 Tính toán đường đi tốt nhất cho từng cặp đối cực

Sau khi tìm thấy tất cả các cặp đối cực, đường dẫn sẽ được tạo cho từng cặp với khoảng cách tương đối là d_x giữa các đường đi, $d_x = n\ell \cos(\frac{\psi}{2})$. Đối với một cặp đối cực, các đường đi được thiết kế song song với một cạnh của đa giác đi qua một trong các đỉnh của cặp đối đỉnh, còn được gọi là đường cơ sở, Đỉnh trên đường cơ sở được gọi là đỉnh bắt đầu và đỉnh còn lại được gọi là đỉnh kết thúc. Mỗi cặp



Hình 4.5: Xác định cặp đối đỉnh theo chiều ngược kim đồng hồ

đối cực có hai đường cơ sở tương ứng với hai hướng cho các đường đi như trong Hình.4.1.

Để xây dựng đường đi bao phủ gồm các đoạn back and forth, các điểm tham chiếu vào một đường dẫn bằng cách cho các đường đi kẻ trên giao nhau với đa giác Q . Thuật toán yêu cầu đầu vào là đa giác Q , đỉnh ban đầu B , một đỉnh liền kề có tên B_{mate} , và đỉnh đối với đỉnh B được đặt tên là A và khoảng cách giữa các đường đi là d_x đã được định nghĩa bên trên. Đầu tiên, một đường đi L sẽ được tạo, song song với cạnh (B, B_{mate}) và phải dịch chuyển vuông góc về phía A (hướng quét) bằng cách bù, $\Delta_{init} = \frac{dx}{2}$

Algorithm 1: Tìm kiếm các cặp điểm đối đỉnh

Data: $V = \{1, 2, \dots, n\}$ và các cặp đối đỉnh (i, j)

Result: ρ

/ Quay theo chiều thuận kim đồng hồ*

**/*

1 **if** $(\text{angle}(i, j) - \pi < 0)$ **then**

2 $b \leftarrow j;$

3 $a \leftarrow i;$

4 **else**

5 $b \leftarrow i;$

6 $a \leftarrow j;$

/ Quay ngược chiều kim đồng hồ*

**/*

7 $\phi \leftarrow \text{angle}(b, a) - \pi$

8 $\gamma_b \leftarrow \text{angle}(b - 1, b)$

9 $\gamma_a \leftarrow \text{angle}(a - 1, a) - \phi$

10 **if** $\gamma_b < \gamma_a$ **then**

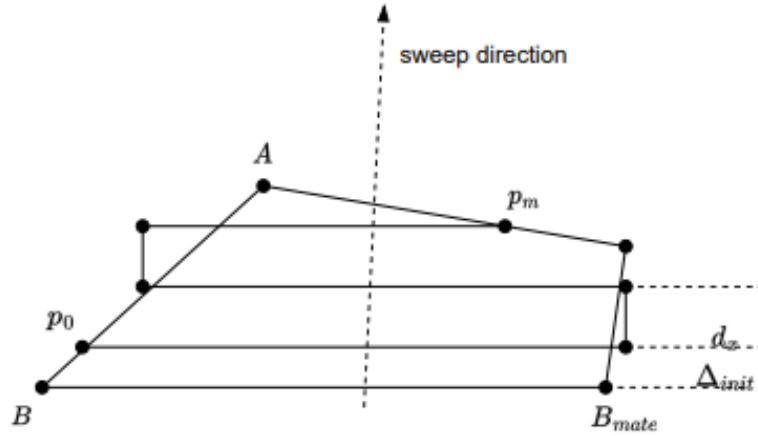
11 $b_2 \leftarrow b - 1$

12 $a_2 \leftarrow a$

13 **else**

14 $b_2 \leftarrow a - 1$

15 $a_2 \leftarrow b$



Hình 4.6: Xây dựng đường đi

Số lượng đường đi là tối thiểu nếu RCPP chọn các đường đi song song với đường cơ sở với khoảng cách tối thiểu đến đỉnh kết thúc. RCPP với các tiêu chí như vậy để chọn hướng đường đi được gọi là RCPP tối ưu, được ký hiệu là *Op-RCPP*. Các đường đi song song với đường cơ sở khác được gọi là RCPP không tối ưu,

được ký hiệu là *nonOP-RCPP*. Như minh hoạ trong Hình. 4.1, đỉnh bắt đầu là C và cặp đối cực là (A, C) . Hai đường cơ sở đi qua đỉnh C là CD và CB với khoảng cách tương đối là h_1 và h_2 tương ứng với đỉnh kết thúc A . Để đạt được số lượng đường đi ít nhất, khoảng cách tương đối giữa đỉnh kết thúc và đường cơ sở phải nhỏ nhất. Trong ví dụ này, vì $h_1 < h_2$, đường đi có số đường nhỏ nhất được đặt song song với CD .

4.3.3 Chọn một đường đi tối ưu từ tất cả các đường đi của các cặp đối cực

Biểu thị *pair* là một tập hợp các cặp đối cực của đa giác. Giả sử rằng mỗi cặp đối mã $(i, j) \in \text{pairs}$ có một đường đi tốt nhất với độ dài của nó được ký hiệu là pth_{ij} . Gọi pth_{ij}^e là độ dài của đường đi bao gồm khoảng cách giữa điểm sao P_s và đỉnh i , đỉnh j và điểm kết thúc P_e . Đường dẫn tối ưu có độ dài pth_{op} được chọn thỏa mãn điều kiện sau:

$$pth_{op} = pth_{op} = \min_{(i,j) \in \text{pairs}} \{pth_{ij}^e\} \quad (4.1)$$

Thuật toán sẽ thực hiện so sánh tổng quãng đường mà robot đi để bao phủ hết toàn bộ khu vực yêu cầu trong tệp *pair*. Sau đó sẽ trả về quãng đường đi ngắn nhất thỏa toàn bộ điều kiện của bài toán. Có thể tóm tắt lại thông qua thuật toán

Algorithm 2: Chọn ra đường dẫn tối ưu

Input: V, p_s, p_e

Output: $fullPath$

```

1 A = findAllAntipodalPairs(V) ;
2 c = inf;
3 foreach (i,j) ∈ A do
4   p = bestPath(V, i, j) if Cost(p_s, p, p_e) < Cost(p_e, p, p_s) then
5     τ = {p_s, p, p_e} ;
6   end
7   if Cost(τ) < c then
8     c = Cost(τ) ;
9     fullPath = τ ;
10  end
11 end

```

Conclusions

Trong chương này, các mô phỏng lần lượt được thực hiện và trình bày. Thử nghiệm thuật toán tạo đường đi bao phủ RCPP trong vài khu vực khác nhau. Sau đó đánh giá hiệu suất giải pháp được đề xuất thông qua mô phỏng với mô hình robot chất điểm trên nền tảng viết bằng ngôn ngữ lập trình Python . Cuối cùng, các mô phỏng chứng minh tính khả thi của thuật toán bao phủ và đội hình đa robot trước khi nhúng lên robot thực tế được thực hiện trên trình mô phỏng vật lí Webots.

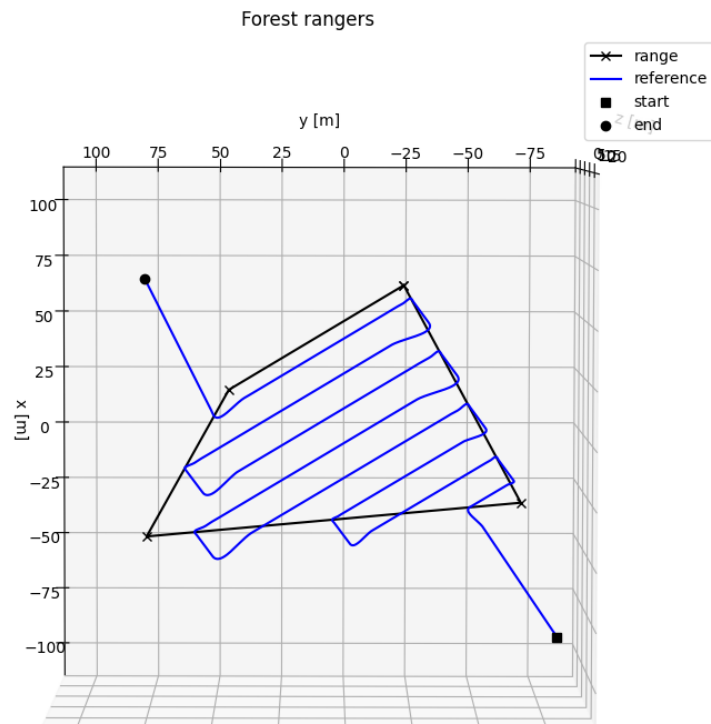
4.4 Mô phỏng tạo đường đi bao phủ

Trong phần này, hiệu quả của thuật toán lập đường đi bao phủ cho đội hình chữ V được khảo sát trong đó tham số bao phủ của đội hình được tính theo mô hình trong hình 3.1 (FOV của camera). Thử nghiệm với ba bản đồ với các hình dạng, kích thước khác nhau đối với thuật toán bao phủ RCPP sẽ được tiến hành. Khoảng cách giữa d_x các đường zig zac phụ thuộc vào vùng bao phủ của đội hình được tính dựa trên vùng bao phủ của từng robot và tỷ lệ trung lặp (overlapping) của vùng bao phủ giữa các robot kề nhau. Trong phần khảo sát này, khoảng cách d_x được đưa ra cụ thể là: 12.17m

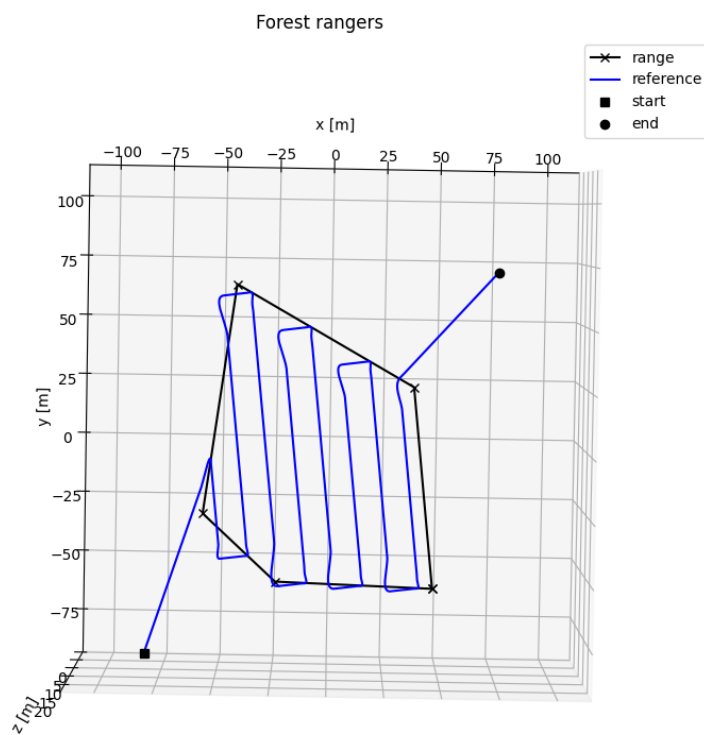
Với bản đồ đầu tiên đường đi bao phủ đa robot được lập trong khu vực cần được khảo sát hình tứ giác với 4 điểm mốc lần lượt là (x,y) : (67.59, -21.76), (-23.44, -66.12), (-37.89, 74.93), (23.75, 43.96). Kết quả sẽ được trình bày trong Hình 4.7

Với bản đồ thứ hai, khảo sát trên khu vực polygon hình ngũ giác được thực hiện với 5 điểm mốc (x,y) lần lượt là: (58.98, -40.46), (19.57, -78.53), (-62.67, 24.06), (-31.09, 61.08), (52.20, 26.41). Kết quả sẽ được trình bày trong Hình 4.8

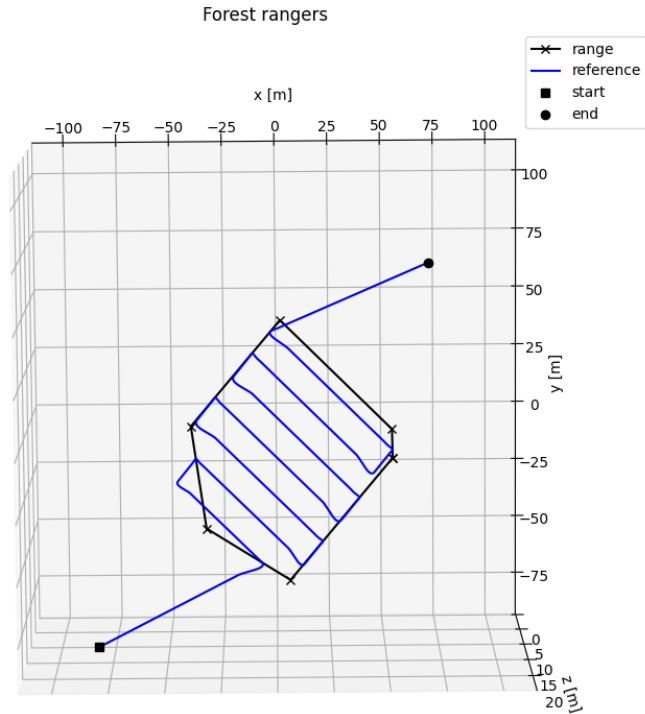
Cuối cùng với bản đồ thứ ba, khảo sát trên khu vực polygon hình lục giác với 6 điểm mốc (x,y) lần lượt là: (2.02, -3.39), (6.11, -52.97), (-31.21, -31.66), (-37.78, 9.98), (2.21, 52.65), (51.72, 8.25). Kết quả sẽ được trình bày trong Hình 4.9



Hình 4.7: Bản đồ 1



Hình 4.8: Bản đồ 2



Hình 4.9: Bản đồ 3

Tiến hành thực hiện với 3 khu vực khác nhau, thuật toán RCPP đều cho ra kết quả. Đường đi trong các hình đều xuất phát từ điểm bắt đầu và dừng lại ở điểm kết thúc, hoàn thiện được chu trình di chuyển của bầy robot quét qua toàn bộ khu vực. Nhờ đó mà có thể tính toán được không chỉ về mặt độ lớn quãng đường đi chính xác của robot là bao nhiêu mà còn tính toán được thời gian khảo sát phù hợp một cách tương đối chính xác.

4.5 Thí nghiệm với mô hình robot là các chất điểm trong không gian 3D

Phần này trình bày các thí nghiệm mô phỏng đội hình máy bay không người lái UAV (Unmanned Aerial Vehicle) thực hiện chiến lược bao phủ để tuần tra, giám sát một khu vực yêu cầu có dạng đa giác lồi. Trình mô phỏng được thiết kế trên Python sử dụng thư viện MatplotlibV trong đó mỗi UAV được mô hình như một chất điểm. Kết quả này đã được công bố trong bài báo tại Hội nghị quốc tế lần từ 11 về điều khiển, tự động hóa và khoa học thông tin ICCAIS tổ chức tháng 11/2022 tại Hà Nội.

Trong các thí nghiệm mô phỏng, Robot được mô phỏng dưới dạng các hạt với các tham số của FOV là $\alpha = 0.15rad$, $\beta = 0.22rad$, $\%overlapping\ x = 30\%$ và phạm vi cảm nhận của nó là giống như đĩa tròn với khả năng phát hiện chướng ngại vật khi tiếp xúc. Độ cao bay và vận tốc tối đa của Robot lần lượt được đặt ở mức $20m$ và $10m/s$. Các thông số điều khiển hành vi đã được đặt là $a_{m2g} = a_{kf} = 3.3$, $b_{m2g} = b_{kf} = 1$, $a_{Ath} = 3.0$, $b_{Ath} = 4.0$, $a_{adr} = 1, 5$, $b_{adr} = 2, 4$.

$$h = 20m$$

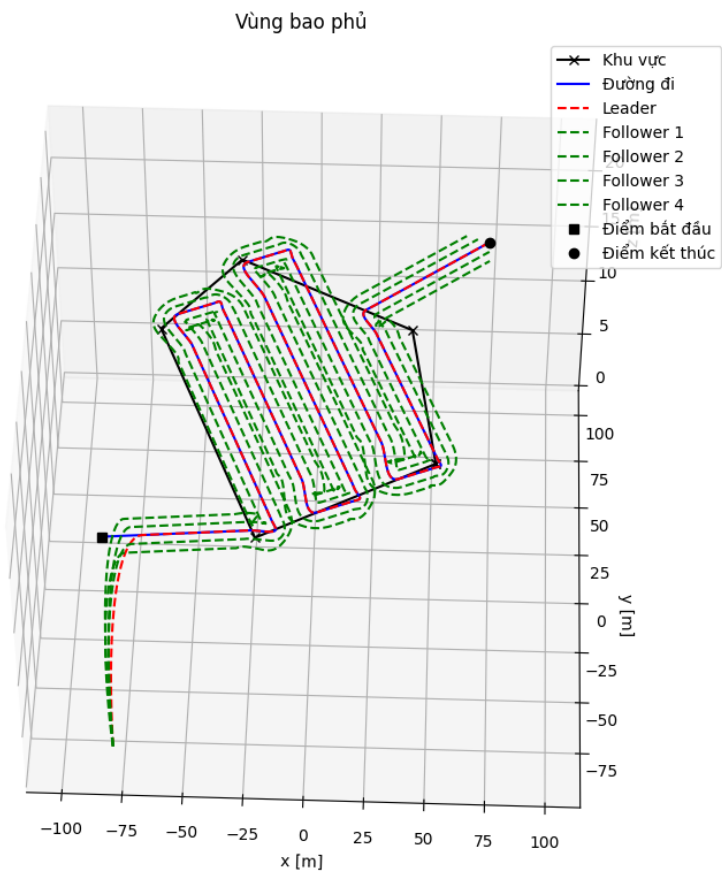
$$|v| < 10m/s$$

Đầu tiên, đầu vào sẽ là khu vực cần được khảo sát có dạng hình polygon ngũ giác. Thuật toán sẽ tiến hành xây dựng và lập đường đi bao phủ cho Leader. Từ đó, quỹ đạo của Leader được hình thành. Trong quá trình di chuyển, Leader sẽ tạo ra cấu trúc ảo có dạng hình chữ V để các Followers có thể di chuyển và bám theo quỹ đạo. Phần này sẽ tiến hành thực hiện một thử nghiệm mô phỏng thể hiện thông qua Hình.4.10. Trong đó, các đường màu đen là vùng giới hạn của khu vực quan tâm, đường màu đỏ là quãng đường được xây dựng dành riêng cho Leader. Các đường màu xanh lá cây thể hiện được quỹ đạo của 4 robot Followers bám theo để tạo thành cấu trúc hình chữ V ¹

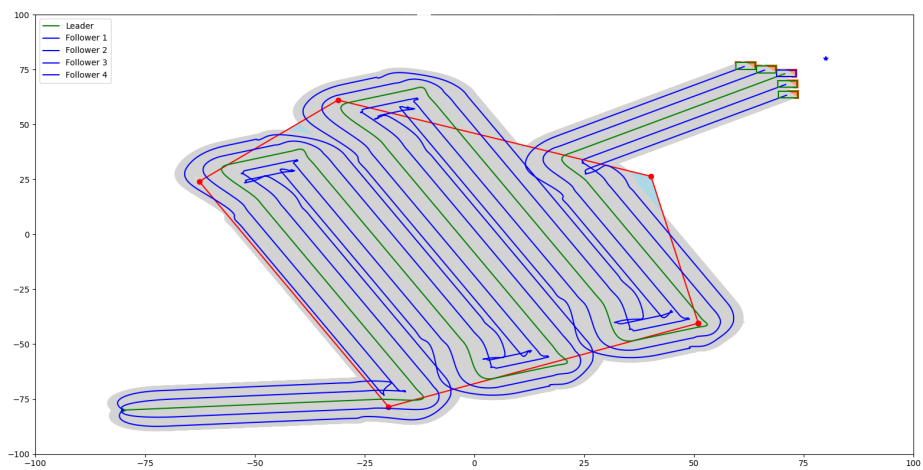
Kết quả mô phỏng trong Hình.4.10 cho thấy bầy Robot duy trì đội hình chữ V và quét qua toàn bộ vùng khảo sát với tỉ lệ cao là 98.69%. Ngoài ra, Hình.4.11a chỉ ra rằng mức độ ổn định của đội hình robot trong quá trình di chuyển. Qua đó thấy rằng khi đội hình di chuyển trên đoạn đường thẳng, giá trị trung vị khoảng cách tương đối giữa hai robot liên tiếp luôn được duy trì ở mức ổn định so với tham số đội hình yêu cầu $\ell = 4.89m$, sự giao động chỉ xuất hiện ở các khúc rẽ trong đường đi với độ lệch chuẩn là 6.44%-12.68%. Đối với lỗi vị trí trong Hình 4.11b, cũng như trung vị khoảng cách vị trí hiện tại của các followers với các điểm vị trí ảo do leader tạo ra, đường đi thẳng có giá trị trung vị của các vị trí lỗi từ $3.5m$ đến $8.5m$ khi nó giao động mạnh ở các khúc rẽ của đường zig zac dẫn tới việc robot leader đổi hướng nhanh. Tuy nhiên, nhờ vào hành vi duy trì đội hình được chỉ ra trong chương 2, đội hình chữ V dần dần quay lại trạng thái ổn định.

Tiếp theo, phần này thực hiện khảo sát thời gian khi bầy robot tiến hành quét qua các khu vực cụ thể. Quá trình mô phỏng sẽ tạo ra ngẫu nhiên 20 vùng khác nhau về diện tích và hình dạng được mô tả trong bảng 4.1.

¹ Đội hình chữ V với 5 Robots <https://youtu.be/A5u8xT-GqYQ>

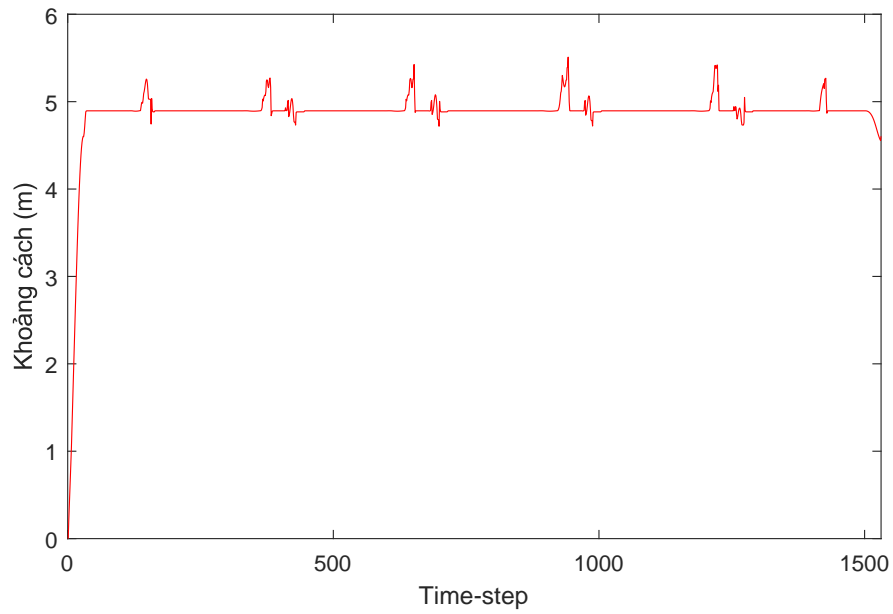


(a)

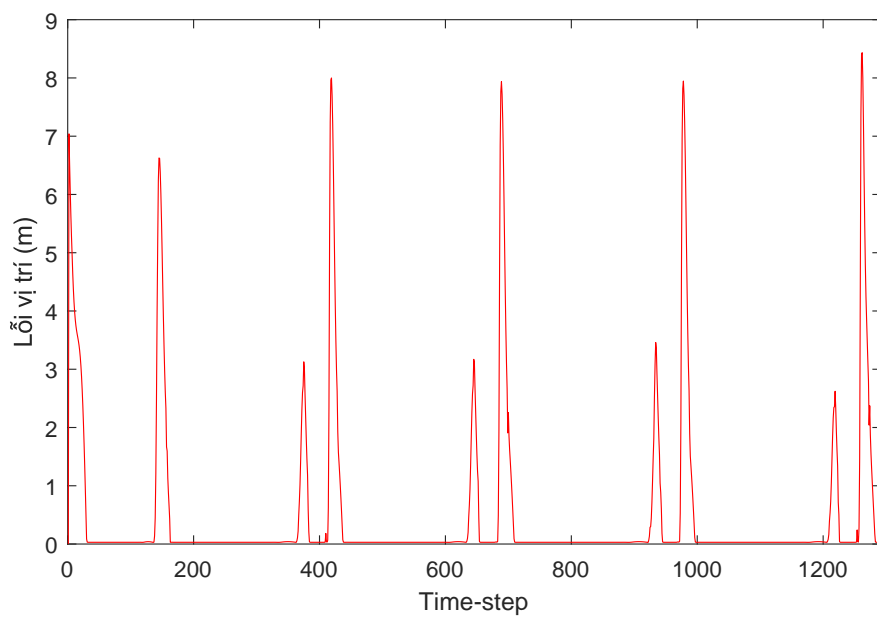


(b)

Hình 4.10: Phạm vi bao phủ đội hình chữ V



(a) Khoảng cách trung vị giữa 2 robot liên tiếp



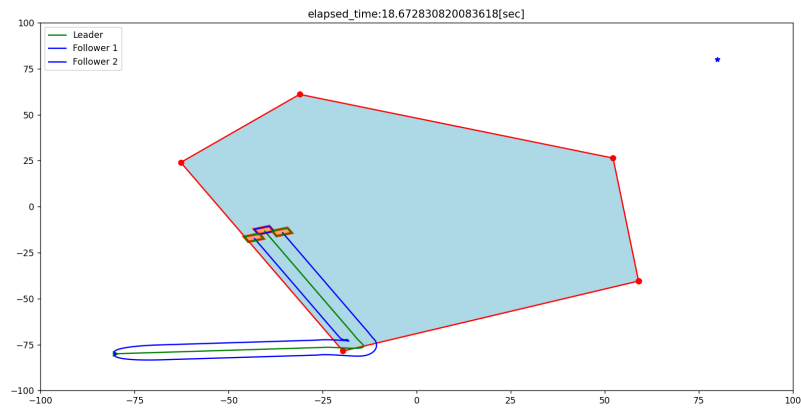
(b) Trung vị về sai số vị trí vị trí follower và các điểm virtual target

Hình 4.11: Kết quả sự ổn định của quá trình di chuyển đội hình chữ V

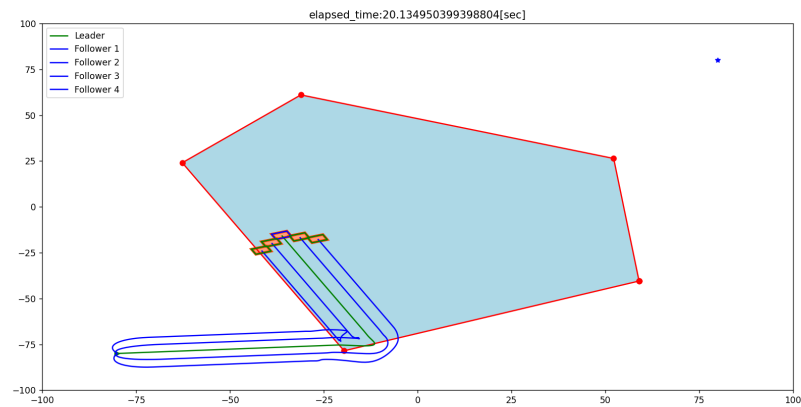
Bảng 4.1: Bảng mô tả kích thước các khu vực thử nghiệm

Map	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>4</i>	<i>5</i>	<i>6</i>	<i>7</i>
Area (m^2)	10789.23	8550.85	9260.03	7966.47	8088.73	5600.21	3408.49
Map	<i>8</i>	<i>9</i>	<i>10</i>	<i>11</i>	<i>12</i>	<i>13</i>	<i>14</i>
Area (m^2)	5706.51	10224.71	9964.78	9742.46	7705.11	11979.95	24842.79
Map	<i>15</i>	<i>16</i>	<i>17</i>	<i>18</i>	<i>19</i>	<i>20</i>	-
Area (m^2)	9805.33	14419.30	10455.92	10535.73	10846.23	14382.34	-

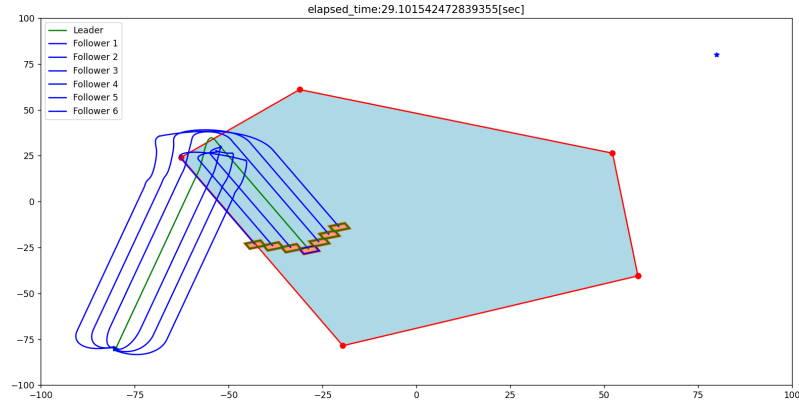
Với 20 vùng bao phủ này, mỗi vùng sẽ được thử nghiệm với số lượng các con robot khác nhau với các mốc 3, 5, 7. Như trên hình 4.12,4.13,4.14:



Hình 4.12: Mô phỏng quá trình 3 robot thực hiện quá trình bao phủ

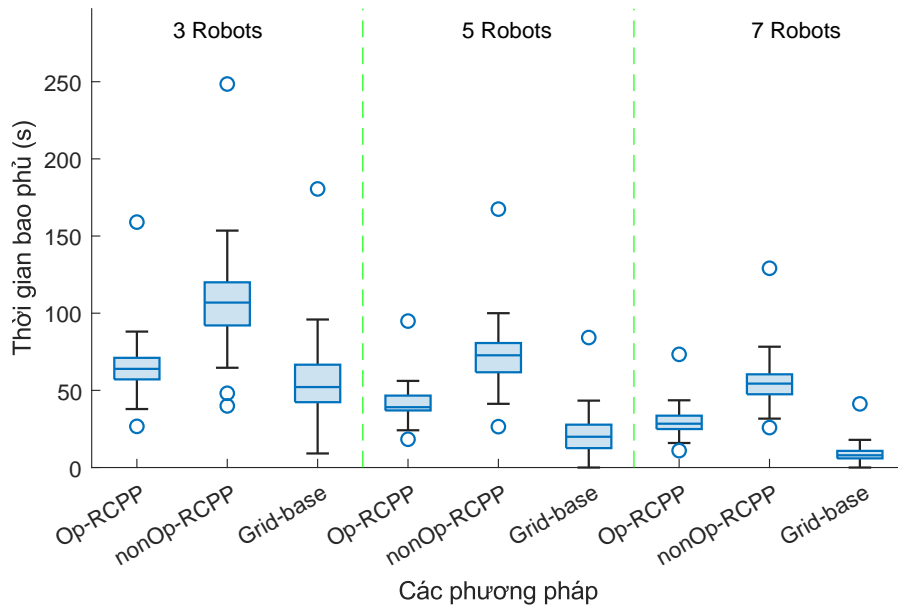


Hình 4.13: Mô phỏng quá trình 5 robot thực hiện quá trình bao phủ



Hình 4.14: Mô phỏng quá trình 7 robot thực hiện quá trình bao phủ

Cùng với đó, các robot sẽ được đưa vào thử nghiệm các trên 3 giải thuật khác nhau bao gồm: Đường đi bao phủ tốt nhất(Op-RCPP) được mô tả trong phần 3.2, đường đi bao phủ với nhiều khúc quay nhất(nonOp-RCPP)(đây là thuật toán tương tự như op-RCPP nhưng sẽ chọn số lượng đường rẽ tối đa thay vì chọn số lượng đường rẽ tối thiểu), và thuật toán lập đường đi bao phủ dựa trên chia lưới(grid-base coverage path planning) trong bài [6] với mục tiêu so sánh. Trong mỗi kịch bản, vị trí xuất phát ban đầu của Robot đều được giữ cố định tại điểm có toạ độ: $PS = (-80; -80; 0)$, và vị trí kết thúc hành trình có toạ độ là : $PE = (80; 80; 0)$. Vì vậy sẽ có tổng cộng là 180 kịch bản được mô phỏng để lấy kết quả.

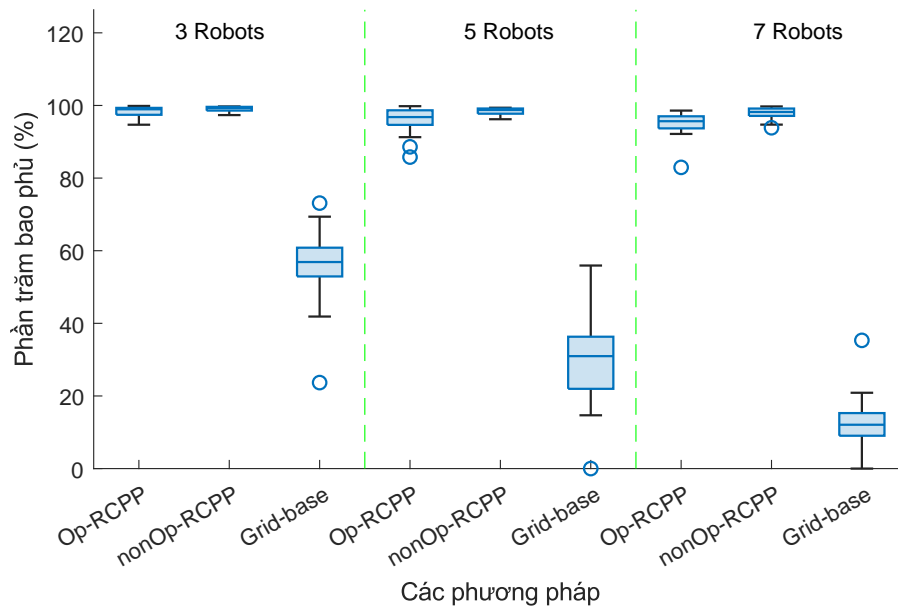


Hình 4.15: Thời gian bao phủ với đội hình robot chữ V

Dựa vào kết quả thu được hình 4.15, có thể thấy được rằng sử dụng thuật toán đường đi tối ưu (Op-RCPP) sẽ thu được kết quả tốt hơn về mặt thời gian bay cũng đồng nghĩa với việc giúp tối ưu về mặt năng lượng khi di chuyển mà vẫn đạt được mục đích bao phủ gần như tuyệt đối. Tuy nhiên khi so sánh với thuật toán không tối ưu(nonOp-RCPP), thuật toán tối ưu đường đi(Op-RCPP) thì sẽ mang lại khả năng di chuyển nhanh hơn gấp 1.8 lần nhưng độ bao phủ lại ít hơn 0.3% – 8%. Điều này xảy ra là bởi vì thuật toán không tối ưu sẽ lựa chọn hướng di chuyển có nhiều góc quay hơn nên sẽ có thể bao phủ tốt hơn tuy vậy thời gian cũng tăng lên đáng kể.

Đối với thuật toán lập đường đi bao phủ dựa trên chia lưới(Grid-base), trước khi tiến hành khảo sát, do thuật toán còn phụ thuộc vào việc chia độ rộng của lưới hay là độ lớn của độ rộng dải cánh dx của đội hình chữ V, nên sẽ để lộ ra các vùng viền bao quanh bản đồ không thể quét qua làm giảm độ bao phủ, độ bao phủ chỉ tập trung vào vùng trung tâm. Với kích thước của dx càng lớn thì phần không được che phủ càng nhiều. Tuy nhiên thời gian di chuyển sẽ có thể nhanh hơn thuật toán tối ưu đường đi, mặc dù vậy thuật toán này lại có một yếu điểm là trong một số vùng diện tích quá nhỏ không đáp ứng đủ độ rộng dải cánh của đội hình bay dẫn đến trường hợp không thể chia được ô nên thuật toán không thể hoạt động dẫn việc không tạo được đường đi bao phủ. Như vậy thuật toán tối ưu đường đi mang lại kết quả khả quan nhất về mặt thời gian bay bao phủ chỉ phù hợp cho một con robot di chuyển, bao phủ.

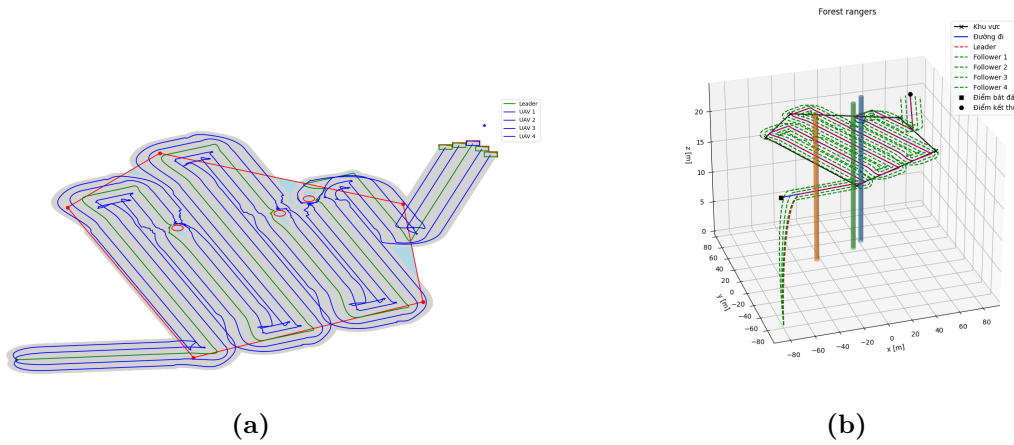
Ngoài ra, khi tăng số lượng robots trong đội hình, thời gian bay giảm. Đặc biệt là trong phương pháp tối ưu đường đi bao phủ, thời gian bay của đội hình chữ V với 5 hoặc 7 robots xấp xỉ giảm 38.84% và 55.58% so với việc đội hình có 3 robots. Nguyên nhân là do khi số lượng robots tăng, sự bao phủ của bầy robot tăng dẫn đến số đường đi giảm.



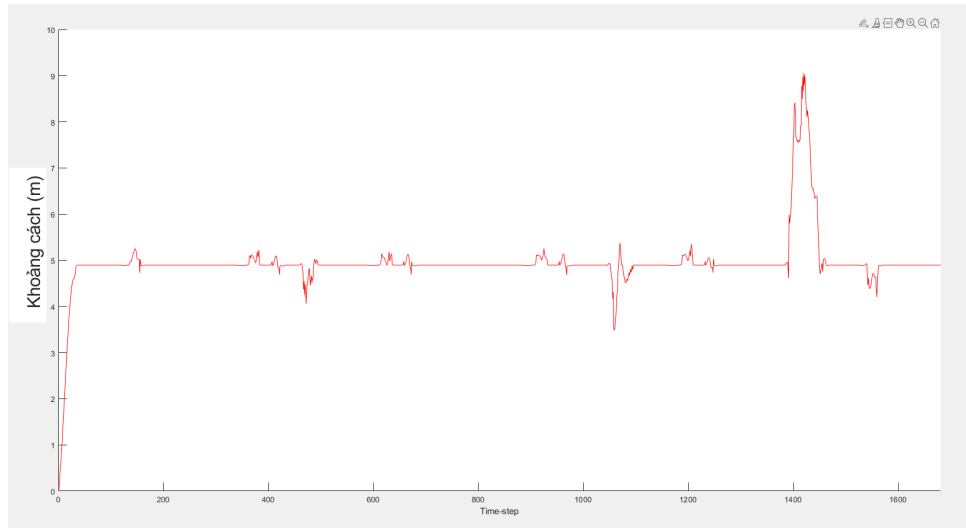
Hình 4.16: Tỷ lệ bao phủ với đội hình robot chữ V

Kết quả thu được trong Hình.4.16 cho thấy tỉ lệ che phủ của đội hình Robot chữ V với cả 2 thuật toán bao phủ đường đi (Op-RCPP và nonOp-RCPP) đều đạt được ở mức cao trên 90% đi xấp xỉ đạt được lần lượt là 98.94%, 96.80%, và 95.66% với từng trường hợp dùng 3, 5, 7 robots. Tuy nonOp-RCPP có vẻ nhỉnh hơn một chút so với Op-RCPP do có nhiều hơn đường đi so với Op-RCPP. Nhưng xét về mặt kinh tế thì để đánh đổi việc bao phủ ít hơn vài % so với việc tốn nhiều thời gian và nhiên liệu hơn thì có lẽ là không cần thiết. Ngoài ra, khi sử dụng đội hình vào trong thuật toán bao phủ dạng lưới(Grid-base), tỉ lệ quét chỉ đạt khoảng 56.88%, 30.96%, 12.075% tương ứng với đội hình sử dụng 3,5,7 Robots cho thấy sự giảm mạnh so với việc sử dụng Op-RCPP, xấp xỉ lần lượt là 42.07%, 65.83%, 83.59%. Điều này xảy ra bởi vì khi số lượng robot tăng lên đồng nghĩa với việc diện tích bao phủ của bầy tăng lên tức là dx tăng lên. Đó đó đã tác động trực tiếp đến yếu điểm của thuật toán này.

Thí nghiệm cuối cùng sẽ đánh giá quá trình bao phủ của bầy robot khi gặp vật cản. Bài toán này chỉ biết đầu vào là khu vực quan tâm còn không biết thêm thông tin gì về vật cản. Do đó, các robot trong quá trình di chuyển phải tự xác định được vật cản và vượt quá được nó nhờ hành vi tránh vật cản được đưa ra ở Chương 2. Các vật cản có hình dạng như một hình trụ dài hình tròn như ở Hình 4.17b. Thí nghiệm này được thử nghiệm trên đội hình 5 robot. Kết quả được trình bày bên dưới:



Hình 4.17: Quá trình di chuyển tránh chướng ngại vật của đội hình chữ V



Hình 4.18: Khoảng cách trung vị giữa 2 con robot liên tiếp

Hình 4.17a cho thấy được quỹ đạo của các robot trong quá trình di chuyển gặp chướng ngại vật. Các robot đã chủ động tránh vật cản trên đường đi của chúng. Tuy nhiên điều đó đã gây ra sự xáo trộn trong đội hình đặc biệt là khi vật cản ở ngay góc cua sẽ gây ra sự đột biến lớn trong quỹ đạo di chuyển của Leader. Điều này càng được chỉ ra rõ hơn ở trong Hình 4.18 khi tránh vật cản, thì khoảng cách trung vị giữa 2 robot liên tiếp không còn được giữ ổn định nữa. Lúc này đã gây ra sự xáo trộn ở trong đội hình. Đặc biệt khi tránh chướng ngại vật thứ 3 ở ngay khúc cua, leader thực sự đã lệch một khoảng cách rất lớn so với quỹ đạo đưa ra. Tuy nhiên nhờ có hành vi giữ đội hình mà đội hình di chuyển dần dần ổn định trở lại và tiếp tục quét các vùng còn lại. Ngoài ra Hình 4.17a cũng cho thấy khi quét qua chướng ngại vật thì một phần vùng xung quanh chướng ngại vật không thể bị

quét qua, làm giảm hiệu suất bao phủ xuống 91.88%. Tuy nhiên điều này có thể chấp nhận được vì, robot bắt buộc phải thực hiện hành vi tránh vật cản để không gây ảnh hưởng đến đội hình.

Tổng kết, thuật toán tối ưu đường đi bao phủ được đề xuất đã đạt kết quả cao trong cả tỉ lệ quét bao phủ và thời gian bay. Việc sử dụng Op-RCPP để thiết kế đường đi bao phủ khi dùng với nhiều robot thì phù hợp hơn sử dụng phương pháp chia lưới.

Tài liệu tham khảo

- [1] Tauã M Cabreira, Lisane B Brisolara và Ferreira Jr Paulo R (2019), “Survey on coverage path planning with unmanned aerial vehicles”. *Drones*, tập 3, số 1, tr. 4.
- [2] Ivan Maza và Anibal Ollero (2007), “Multiple uav cooperative searching operation using polygon area decomposition and efficient coverage algorithms”. Trong “Distributed Autonomous Robotic Systems 6”, tr. 221–230 (Springer).
- [3] Juan Irving Vasquez-Gomez, Magdalena Marciano-Melchor, Luis Valentin và Juan Carlos Herrera-Lozada (2020), “Coverage path planning for 2d convex regions”. *Journal of Intelligent & Robotic Systems*, tập 97, số 1, tr. 81–94.
- [4] Michael Ian Shamos (1978), *Computational geometry*. (Yale University).
- [5] Umut A. Acar, Guy E. Blelloch, Kanat Tangwongsan và Jorge L. Vitti (2006), “Kinetic algorithms via self-adjusting computation”. Trong Yossi Azar và Thomas Erlebach, biên soạn, “Algorithms – ESA 2006”, tr. 636–647 (Springer Berlin Heidelberg, Berlin, Heidelberg), ISBN 978-3-540-38876-0.
- [6] LH Nam, Loulin Huang, Xue Jun Li và JF Xu (2016), “An approach for coverage path planning for uavs”. Trong “2016 IEEE 14th international workshop on advanced motion control (AMC)”, tr. 411–416 (IEEE).