

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ



Báo cáo đồ án 1
Robot bày đàn: thử nghiệm điều khiển di chuyển
theo bày và điều khiển bao phủ

Ngành: Kỹ thuật Robot

Sinh viên: Nguyễn Đàm Trường, MSSV: 18021333

Nguyễn Hoàng Vũ. MSSV: 18021435

Phạm Quang Hùng, MSSV: 18020596

Hà Nội, tháng 12 năm 2021

ĐẠI HỌC QUỐC GIA HÀ NỘI
TRƯỜNG ĐẠI HỌC CÔNG NGHỆ

Báo cáo đồ án 1

**Robot bầy đàn: thử nghiệm điều khiển di chuyển
theo bầy và điều khiển bao phủ**

Ngành: Kỹ thuật Robot

Sinh viên: Nguyễn Đàm Trường, MSSV: 18021333

Nguyễn Hoàng Vũ. MSSV: 18021435

Phạm Quang Hùng, MSSV: 18020596

Cán bộ hướng dẫn: TS. Phạm Duy Hưng

Hà Nội, tháng 12 năm 2021

Robot bầy đàn và Điều khiển vùng phủ của bầy robot trong môi trường tự do

Nguyễn Đàm Trường, Phạm Quang Hùng, Nguyễn Hoàng Vũ

Khóa QH-2018-I/CQ, ngành Kỹ thuật Robot

Tóm tắt :

Robot bầy đàn là tổ hợp của nhiều robot, trong đó số lượng lớn các robot được điều khiển theo cách phân tán và phi tập trung. Dựa trên các quy tắc trong mạng của robot và các robot phải đơn giản hơn so với mức độ nhiệm vụ cần đạt được và lấy cảm hứng từ các loài côn trùng xã hội.

Một số lượng lớn các rô bốt đơn giản có thể thực hiện các nhiệm vụ phức tạp theo cách hiệu quả hơn một rô bốt đơn lẻ, mang lại sự mạnh mẽ và khả năng hoạt động cho nhóm. Trong bài viết này, giới thiệu tổng quan về rô bốt bầy đàn, mô tả các thuộc tính và đặc điểm chính của bầy robot.

Ngoài ra còn xem xét đến tính phủ của bầy robot trong một môi trường tự do và môi trường lỗi mà robot đạt được và các kết quả thử nghiệm trong môi trường giả lập vrep với robot được áp dụng là robot E-puck.

Từ khóa: Robot bầy đàn, Flocking , Vùng phủ (Coverage), Kiểm soát phạm vi phân tán

MỤC LỤC

DANH SÁCH HÌNH ẢNH	5
DANH SÁCH ĐÓNG GÓP.....	6
MỞ ĐẦU	7
CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU.....	9
1.1. Giới thiệu chung.....	9
1.2. Điều khiển hành vi	11
1.3. Flocking.....	11
1.4. Vùng phủ	12
1.5. Giới thiệu robot mô phỏng.....	13
1.5.1. Cảm biến sử dụng	14
1.5.2. Mô hình động học	15
CHƯƠNG 2: GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN.....	17
2.1. Thuật toán Flocking.....	17
2.1.1. Hành vi tránh va chạm (Separation)	18
2.1.2. Hành vi gắn kết (Cohension)	19
2.1.3. Hành vi căn chỉnh (alignment)	19
2.1.4. Mô hình hành vi.....	20
2.2. Thuật toán Coverage.....	20
2.2.1. Lý thuyết.....	20
2.2.2. Điều khiển hành vi.....	20
2.2.3. Dẫn đường	21
2.2.4. Triển khai giải thuật.....	21
CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG BẦY ROBOT.....	24
3.1. Mô phỏng Flocking.....	24
3.1.1. Mô phỏng trong phần mềm Matlab	24
3.1.2. Mô phỏng kết hợp phần mềm CoppeliaSim	25
3.1.3. Kết luận.....	28
3.2. Mô phỏng Coverage.....	28
3.2.1. Mô phỏng kết hợp phần mềm CoppeliaSim	28
3.2.2. Kết luận.....	29

DANH SÁCH HÌNH ẢNH

Hình 1.1: Hình ảnh bầy cừu đang xếp thành hình trái tim.....	12
Hình 1.2: Robot Alice và thực hiện phạm vi bao phủ ranh giới trong mô hình 2D đơn giản của động cơ tuabin phản lực	13
Hình 1.3: Robot E-puck.....	13
Hình 1.4: Cảm biến của robot E-puck.....	15
Hình 1.5: Kinematic model.....	15
Hình 1.6: Động học của bánh 1.....	16
Hình 1.7: Động học của bánh 2.....	16
Hình 2.1: Vùng tương tác của Robot.....	18
Hình 2.2: Separation.....	18
Hình 2.3: Cohension.....	19
Hình 2.4: Alignment.....	19
Hình 3.1: Mô phỏng kết quả phần mềm matlab.....	24
Hình 3.2: Quỹ đạo di chuyển của bầy robot.....	24
Hình 3.3: Robot trong Vrep.....	25
Hình 3.4: Mô phỏng kết quả trên phần mềm VREP.....	26
Hình 3.5: Mô phỏng kết quả tránh vật cản trên phần mềm VREP.....	27
Hình 3.6: Trong môi trường không có vật cản.....	28
Hình 3.7: Trong môi trường hẹp kín dạng lối.....	29

DANH SÁCH ĐÓNG GÓP

Nguyễn Đàm Trường: Trình bày giới thiệu về Robot bầy đàn, tham gia mô phỏng Flocking tránh vật cản và đồng tham gia mô phỏng Coverage trên Coppelia Sim

Phạm Quang Hùng: Trình bày thuật toán Flocking, trình bày mô hình động học của Epuck, mô phỏng Flocking Matlab và Coppelia Sim và phân tích kết quả.

Nguyễn Hoàng Vũ: Trình bày thuật toán Coverage tạo lưới Hexagon, lập trình động học cho Epuck, mô phỏng Coverage trên Coppelia Sim và phân tích kết quả.

MỞ ĐẦU

Lời mở đầu

Ngày nay với sự tiến bộ vượt bậc trong khoa học kỹ thuật, những đột phá công nghệ xuất hiện ngày một nhiều và nhanh chóng hơn bao giờ hết, một trong số đó là sự ứng dụng của robots trong sản xuất, vận chuyển, kho bãi...Không chỉ trở nên quen thuộc trong các dây chuyền cũng như chu trình vận tải, robot cũng dần thể hiện vai trò tối ưu trong cuộc sống hàng ngày của con người. Robot giúp tiết kiệm thời gian, sức lao động, thay con người thực hiện những công việc nặng và có khả năng hoạt động với độ chính xác cao. Tuy nhiên, bài toán đặt ra là khi muốn tối đa sức mạnh của robot trong một môi trường làm việc rộng lớn, một robot rất khó để có thể hoàn thành công việc nhanh chóng và tối ưu, khi đó giải pháp cho vấn đề nêu trên là phát triển một tập hợp hàng nghìn robots mà trong đó chúng có thể cộng tác và cùng làm việc với nhau. Do vậy, khái niệm "swarm robot" được ra đời. Ý tưởng "swarm" bắt nguồn từ những hiện tượng tự nhiên trong đời sống như đàn kiến đi kiếm ăn, đàn chim bay trên trời, hay đàn cá bơi dưới nước,...

Một trong những phát triển đáng kinh ngạc nhất trong quá trình tiến hóa sinh học là sự tiến hóa của các loài côn trùng xã hội. Những con vật này, mặc dù có kích thước rất nhỏ nhưng chúng lại đạt được thành tích ấn tượng. Khi quan sát những đàn chim, đàn cá hay đàn kiến đang kiếm ăn thì đặc trưng được phát hiện là trí thông minh bày đàn bởi vì khả năng phân bổ tối ưu những người kiếm ăn cho các nguồn thực phẩm, là kết quả của những tương tác bên trong bày đàn và không thể đạt được bởi một cá nhân duy nhất. Các cá thể không cần kiến thức phức tạp để tạo ra các hành vi tập thể phức tạp và thường không có người lãnh đạo nhóm nào hướng dẫn tất cả các cá thể khác hoàn thành mục tiêu hoặc nhiệm vụ của chúng. Phân cấp này và cách phân tán để đạt được mục tiêu là một lĩnh vực nghiên cứu thú vị và hữu ích đã truyền cảm hứng cho các lĩnh vực trí tuệ bày đàn và robot bày đàn. Trong thập kỷ qua, rất nhiều chiến lược và thuật toán điều khiển cho bày robot đã được trình bày, cả trong bày robot mô phỏng và trong thế giới thực. Sự đổi mới và tiến bộ công nghiệp làm cho việc sản xuất bày robot với kích thước ngày càng nhỏ hơn trở nên khả thi. Đối với những robot nhỏ như vậy, đạt được một mục tiêu chung không phải là một nhiệm vụ dễ dàng. Điều này là do những ràng buộc đi kèm với kích thước giảm dần, chẳng hạn như phạm vi cảm biến nhỏ, sức mạnh tính toán rất hạn chế, ít bộ nhớ và chuyển động không chính xác. Do đó, việc phát triển các thuật toán điều khiển đối với bày đàn robot quy mô nhỏ đặt ra những câu hỏi thú vị, chẳng hạn như "làm thế nào một robot, vốn chỉ biết về một phần rất nhỏ của môi trường xung quanh chính nó, đạt được một mục tiêu chung với phần còn lại

của bầy? " và "đưa ra tất cả các ràng buộc một cách hiệu quả nhất để đạt được mục tiêu chung như thế nào? ”.

Đối tượng nghiên cứu

- Mô phỏng một bầy robot, phối hợp dựa trên mô hình điều khiển hành vi.
- Mô phỏng bầy robot tạo lưới bao phủ trong không gian mở và không gian kí

Bộ cục báo cáo bao gồm:

Chương 1: Giới thiệu

Chương 2: Giải thuật điều khiển

Chương 3: Mô phỏng bầy Robot

CHƯƠNG 1: GIỚI THIỆU

1.1. Giới thiệu chung

Ngày nay với sự phát triển mạnh mẽ của công nghệ và kỹ thuật đang thúc đẩy sự phát triển của các ngành khoa học kỹ thuật và Robotics cũng sẽ là một trong những lĩnh vực mũi nhọn được các nhà khoa học nghiên cứu và ứng dụng. Robotics đã và đang đóng góp một phần không nhỏ vào sự phát triển của công nghệ trên toàn thế giới, Robotics tác động vào nhiều mặt nhiều khía cạnh của cuộc sống giúp làm giảm bớt các gánh nặng công việc, cũng như có thể là nguồn nhân lực mới để phụ giúp con người hoàn thành công việc.

Đã có rất nhiều loại robot được phát minh và phát triển. Trong đó có một loại còn khá mới và được các nhà khoa học quan tâm đó là hệ thống đa robot hay robot bầy đàn. Robot bầy đàn được lấy ý tưởng từ những bầy đàn ngoài thực tế như ong, chim hay kiến, v.v... Các cá thể không cần bất kỳ kiến thức nào để tạo ra những hành vi phức tạp. Ở xã hội côn trùng, các cá thể không được thông báo về tình trạng tổng của nhiệm vụ mà mỗi bản thân cá thể chỉ tương tác được với những thành viên ở gần. Trong bầy côn trùng không có người lãnh đạo nào hướng dẫn tất cả các cá thể khác để hoàn thành mục tiêu của chúng, sự tương tác giữa các cá thể dựa trên khái niệm về locality. Giao tiếp ngầm giữa chúng thông qua những thay đổi trong môi trường gọi là Stigmergy. Côn trùng thay đổi hành vi thông qua những thay đổi trước đó của môi trường.

MRS (Multi Robot System) có một số đặc trưng mà để phân biệt được với các hệ thống robot khác bao gồm các robot trong MRS là các robot tự động, có thể cảm nhận và hành động trong môi trường thực tế. Số lượng các robot trong bầy phải nhiều hoặc ít nhất là phù hợp với các quy tắc kiểm soát cho phép. Robot phải đồng nhất, có thể tồn tại nhiều loại robot khác nhau trong bầy, nhưng những nhóm này không được phép quá nhiều và robot phải không có khả năng hoặc kém hiệu quả đối với nhiệm vụ chính mà chúng phải giải quyết điều này bắt buộc chúng phải hợp tác để thành công hoặc để cải thiện hiệu suất cho nhiệm vụ. Ngoài ra, robot chỉ có khả năng giao tiếp và cảm biến cục bộ. Nó đảm bảo sự phối hợp được phân phối, do đó khả năng mở rộng trở thành một trong những thuộc tính của hệ thống.

MRS có lợi thế so với các robot đơn bởi vì khả năng thực hiện các nhiệm vụ song song của chúng cho phép thực hiện các nhiệm vụ hiệu quả hơn so với một robot đơn lẻ hoặc hoàn thành các nhiệm vụ mà một robot duy nhất không thể thực hiện được. Hơn nữa, do cảm biến phân tán, các robot bầy đàn có khả năng cảm biến rộng hơn so với một robot đơn lẻ. Các hành động phân tán cho phép chúng thực hiện các hành động ở nhiều nơi khác nhau cùng một lúc. So với một robot đơn lẻ, các robot bầy

đàn cũng có khả năng chịu lỗi cao hơn trong một số điều kiện nhất định, vì sự thất bại của một Robot trong nhóm không phải lúc nào cũng dẫn đến thất bại trong nhiệm vụ. Hiện nay các phương pháp tiếp cận một bầy đàn Robot sẽ chú trọng vào các ưu điểm đó là :

- **Cải thiện hiệu suất:** Nếu các nhiệm vụ có thể được phân tách thì bằng cách sử dụng song song, các nhóm có thể thực hiện các nhiệm vụ được thực hiện hiệu quả hơn (Thường được đánh giá dựa trên năng lượng tiêu thụ và thời gian hoàn thành nhiệm vụ).
- **Hỗ trợ nhiệm vụ.** Các nhóm robot có thể thực hiện một số nhiệm vụ mà đối với một robot duy nhất không thể thực hiện được.
- **Cảm biến phân tán.** Phạm vi cảm nhận của một nhóm robot rộng hơn phạm vi của một robot đơn lẻ.
- **Hành động phân tán.** Một nhóm mà robot có thể hành động ở những nơi khác nhau cùng một lúc.
- **Khả năng chịu lỗi.** Trong một số điều kiện nhất định, lỗi của một robot trong một nhóm không có nghĩa là không thể hoàn thành nhiệm vụ được giao, nhờ vào sự dự phòng của hệ thống.
- **Khả năng mở rộng:** Khả năng mở rộng của một bầy đàn Robot được định nghĩa là khả năng hoạt động với số lượng lớn hơn hay nhỏ hơn đều không ảnh hưởng đến cấu hình của hệ thống. Điều này có được là nhờ vào cơ chế điều khiển phân tán, dựa trên thông tin cục bộ.

Từ những ưu điểm của một hệ đa Robot mà có rất nhiều tính năng hữu dụng của hệ thống được mong chờ. Các ứng dụng thực tế có thể có của swarm robot sẽ có tầm quan trọng đặc biệt khi robot được sản xuất hàng loạt và chi phí xây dựng bầy robot giảm xuống. Đây là mục tiêu của dự án I-swarm nhằm xây dựng một bầy robot siêu nhỏ. Sự phát triển của các công nghệ như MEMS (Micro-Electro-Mechanical Systems) sẽ cho phép tạo ra các robot nhỏ và rẻ.

Swarm robots có thể thực hiện các nhiệm vụ trong đó mục tiêu chính là bao phủ một khu vực rộng lớn. Các robot có thể phân tán và thực hiện các nhiệm vụ giám sát, chẳng hạn như trong rừng, hồ, v.v. Nó có thể thực sự hữu ích để phát hiện các sự kiện nguy hiểm, chẳng hạn như rò rỉ một chất hóa học. Ưu điểm chính so với mạng cảm biến là bầy đàn có thể di chuyển và tập trung vào vấn đề và thậm chí hành động để ngăn chặn hậu quả của vấn đề đó.

Bằng cách này, bầy robot có thể thực sự hữu ích cho những nhiệm vụ nguy hiểm. Ví dụ, để phát hiện và làm sạch khai thác. Nó có thể hữu ích hơn một robot chuyên dụng độc đáo, chủ yếu là do sự mạnh mẽ của bầy đàn: nếu một con robot bị hỏng và quả mìn phát nổ, phần còn lại của bầy sẽ tiếp tục hoạt động. Trong trường hợp của một robot duy nhất, điều này là không thể.

Số lượng các ứng dụng có thể thực sự hứa hẹn, nhưng công nghệ này trước hết phải được phát triển cả về phần thuật toán và mô hình hóa, cũng như các công nghệ thu nhỏ.

1.2. Điều khiển hành vi

Bài báo cáo này sử dụng mô hình điều khiển hành vi bầy đàn của Reynolds nêu ra trong [1]. Reynolds đã đề xuất mô hình chuyển động bầy đàn nhân tạo dựa trên chuyển động của bầy chim. Nghiên cứu này khám phá một cách tiếp cận dựa trên mô phỏng như một giải pháp thay thế cho việc đưa ra những chỉ dẫn về mặt đường đi của từng cá thể chim riêng lẻ. Bầy đàn được mô phỏng là một hệ thống hạt phức tạp, với những con chim được mô phỏng là điểm chuyển động. Chuyển động tổng hợp của bầy mô phỏng được tạo ra bởi một mô hình hành vi phân tán giống như khi làm việc trong một bầy tự nhiên. Mỗi con chim mô phỏng được thực hiện như một cá thể độc lập điều hướng theo nhận thức cục bộ của nó về môi trường động, các quy luật vật lý mô phỏng quy định chuyển động của nó và một tập hợp các hành vi. Chuyển động tổng hợp của bầy được mô phỏng là kết quả của sự tương tác dày đặc của các hành vi tương đối đơn giản của các cá thể chim được mô phỏng.

Mô hình này của Reynolds đã được nghiên cứu và phát triển rất nhiều sau đó. Cộng đồng nghiên cứu hệ thống bầy Robot đã thiết lập một khuôn khổ chính thức (OlfatiSabre 2007; Ren and Beard 2008; Jadbabaie 2003) và đã được đưa vào thực hiện và mở rộng trong bối cảnh hệ thống đa Robot và Robot bầy đàn (Brambilla 2013; Turgut 2008). Mô hình “bầy đàn” cổ điển là một cơ sở chính của các nghiên cứu chuyển động tập thể, giả định chuyển động của một tác nhân bao gồm ba thuật ngữ: tập hợp, tránh và liên kết. Mô hình này và nhiều cách triển khai của nó đã được thảo luận trong những công trình nghiên cứu khác nhau (Reynolds 1987; Vicsek và Zafeiris 2012).

1.3. Flocking

Đạt được một mục tiêu chung như vậy thường ngụ ý rằng bầy đàn phải được tập hợp lại để làm việc hợp tác, vận chuyển hoặc tập hợp theo một lệnh nào đó. Tổng hợp các nhiệm vụ này có vẻ tương đối đơn giản, nhưng những hạn chế của một bầy robot nhỏ tạo ra một số vấn đề về tổ chức. Các robot nhỏ thường không có khả năng giao tiếp

tầm xa và không sở hữu thông tin global như vị trí và hướng của các robot còn lại. Khi chỉ có thông tin local, sự phối hợp của nhiều cơ quan tự quản đòi hỏi một cách tiếp cận khác. Ví dụ về một cách tiếp cận như vậy đã tồn tại trong tự nhiên từ rất lâu. Đàn có thể là tập hợp lên đến vài nghìn cá thể di chuyển cùng với sự trật tự và linh hoạt đáng kinh ngạc.



Hình 1.1: Hình ảnh bầy cừu đang xếp thành hình trái tim

Craig Reynolds nằm trong số những người đầu tiên tóm tắt hành vi này để điều khiển một bầy chim mô phỏng mà ông gọi là boids. Để làm được điều này, ông ấy đã thực hiện ba quy tắc hành vi trong boids tự động: tránh va chạm với các con hàng xóm xung quanh và chướng ngại vật, tập trung bầy đàn để ở gần với nhau, cuối cùng là vận tốc và hướng đi của đàn phù hợp để di chuyển cùng hướng với các con gần đó. Các đàn mô phỏng thu được trông rất giống với đàn thật. Do đó, một số cách tiếp cận để điều chỉnh hành vi này với một bầy robot đã được thực hiện. Từ đó thuật toán Flocking của Reynolds đã ra đời

1.4. Vùng phủ

Xem xét vấn đề phạm vi bao phủ ranh giới multi-robot, được thúc đẩy bởi một nghiên cứu điển hình nhằm mục đích kiểm tra tự động tuabin phản lực bằng một bầy rô bốt thu nhỏ. Vấn đề bao phủ có liên quan đến sự phân tán. Robot cần phải phân tán và phát hiện các biên giới của môi trường.



Hình 1.2 Robot Alice và thực hiện phạm vi bao phủ ranh giới trong mô hình 2D đơn giản của động cơ tuabin phản lực. (Nguồn: Nikolaus Correll – ResearchGate 2006)

Bài toán phạm vi bao phủ ranh giới được đưa ra chính thức bởi Easton và Burdick. Vấn đề bao phủ đường biên của nhiều robot, trong đó một nhóm k robot phải kiểm tra mọi điểm trên đường biên của môi trường thử nghiệm 2 chiều.

Sử dụng mô hình cảm biến đơn giản hóa, bài toán kiểm tra này được chuyển đổi thành biểu diễn đồ thị tương đương. Trong cách biểu diễn này, vấn đề bao phủ có thể được đặt dưới dạng Bài toán the k -Rural Postman Problem (kRPP).

1.5. Giới thiệu robot mô phỏng

E-puck là một robot di động bánh vi sai (7 cm) nhỏ. Ban đầu nó được thiết kế cho giáo dục kỹ thuật vi mô bởi Michael Bonani và Francesco Mondada tại phòng thí nghiệm ASL của Giáo sư Roland Siegwart tại EPFL (Lausanne, Thụy Sĩ). Được tích hợp trong phần mềm mô phỏng Coppelia Sim.



Hình 1.3: Robot E-puck (Nguồn: Wikipedia)

1.5.1. Cảm biến sử dụng

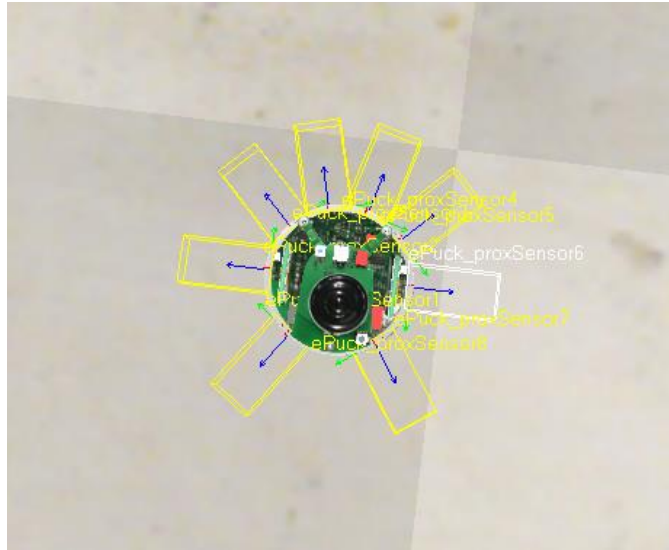
Có rất nhiều phương thức, cách tiếp cận thú vị được đưa ra để tạo nên một bầy robot: Như là xác định một người lãnh đạo và các con còn lại đi theo, hay là dự dụng đèn hiệu sáng để dẫn đường hay là việc sử dụng một mạng neuron đã tiến hóa,... Tuy nhiên các cách tiếp cận trên đều thực sự không giống với các hoạt động của một đàn bên ngoài tự nhiên.

Sự phù hợp giữa vận tốc và hướng của một bầy robot chỉ có thể thực hiện được khi các chúng có thể giao tiếp với các con hàng xóm xung quanh ở trong đàn thông qua một giao tiếp ổn định kênh. Điều này có nghĩa là mỗi robot cần biết hướng và vận tốc của chính nó cũng như là của tất cả các hàng xóm (ở xung quanh) của nó. Điều này liên quan đến vấn đề giao tiếp rộng rãi, có thể quá phức tạp đối với một bầy đàn robot nhỏ và nhiều, và quan trọng hơn, nó cũng không có trong phù hợp với cách một bầy thực sự đạt được sự liên kết. Trong bầy đàn thực sự, những con vật xác định hướng cũng như vận tốc của nhau bởi vì họ lấy nó một cách trực quan từ dạng cơ thể của của các con xung quanh. Những phương pháp như vậy có thể là điều chỉnh cho robot bầy đàn bằng cách sử dụng camera trên bo mạch và nhận dạng hình ảnh, nhưng điều đó có lẽ sẽ quá phức tạp đối với những robot rất nhỏ. Chúng tôi phát hiện ra rằng cũng có một cách dễ dàng hơn nhiều để tạo ra hành vi 'flocking' là bằng cách sắp xếp các trường cảm biến của rô bốt thành các khu vực và sử dụng khoảng cách khác nhau ngưỡng cho lực hút và lực đẩy trong vùng quét được của các cảm biến này. Từ đó mà bầy robot có thể đạt được sự liên kết nói trên.

Một thiết bị cơ bản như vậy là một bộ cảm biến khoảng cách, thường được sử dụng để tránh va chạm. Chung tôi muốn chỉ sử dụng những cảm biến này để tạo ra các hành vi bầy đàn phức tạp. Robot bầy đàn thường có cảm biến IR ở mọi hướng cho phép phát hiện các bề mặt phản xạ như tường, chướng ngại vật và các robot khác. Mỗi robot trong bầy phát ra xung IR định kỳ. Các robot sau đó phản ứng (di chuyển thẳng, rẽ trái hoặc rẽ phải) tùy thuộc vào thông tin từ cảm biến hồng ngoại. Các cảm biến này được truyền đi và thu tín hiệu về định kỳ và các giá trị trả về sau đó được kiểm tra dựa trên các ngưỡng được xác định trước trong một kiến trúc đơn giản. Đầu tiên, giá trị IR hoạt động cho cảm biến được thăm dò để tìm hiểu xem liệu có chướng ngại vật phía trước. Nếu giá trị của ánh sáng IR phản xạ về trên một ngưỡng nhất định, robot sẽ quay đi theo một hướng ngẫu nhiên. Đây là cách cơ bản để các con robot có thể tự mình tránh được các vật cản xung quanh cũng như là phía trước.

Một nhược điểm lớn của các cảm biến IR này là chúng có phạm vi rất hạn chế và không thể phân biệt robot với các chướng ngại vật. Thông thường, ánh sáng IR cảm

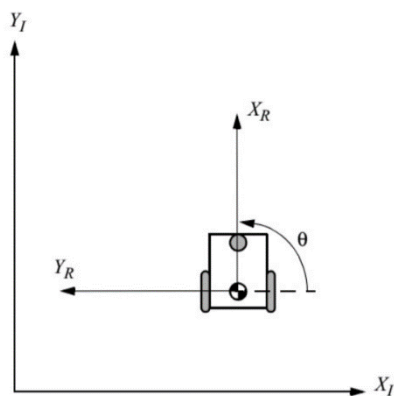
biến càng sáng thì giá trị cảm biến trả về càng cao. Các giá trị cảm biến hồng ngoại này là tất cả những gì cần thiết cho tính hiệu quả của thuật toán. Tất nhiên các cảm biến đo khoảng cách khác, như cảm biến siêu âm, cũng có thể được sử dụng cho thuật toán của chúng tôi. Ở bài toán này chúng tôi sử dụng robot Epuck ở trong phần mềm mô phỏng Vrep, con robot này sử dụng 8 cảm biến khoảng cách ở xung quanh con robot giúp cho robot có thể cảm nhận được từ các hướng tốt hơn



Hình 1.4: Cảm biến của robot E-puck

1.5.2. Mô hình động học

Robot được sử dụng là mô hình mô phỏng là robot 2 bánh vì sai vì dễ sử dụng và điều khiển linh hoạt như hình 1.4a và 1.4b:



(a) Hệ trục tọa độ



(b) Robot Epuck

Hình 1.5: Kinematic model

Tính toán động học cho robot:

Đối với bánh thứ nhất hình 1.5:

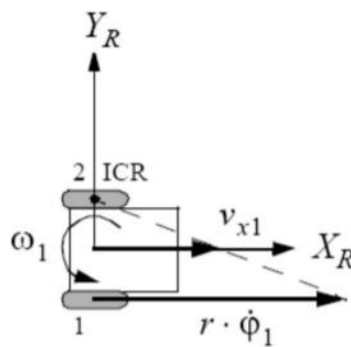
Ta có :

$$\begin{aligned}v_{x1} &= \frac{1}{2}r\dot{\phi}_1 \\v_{y1} &= 0 \\ \omega_1 &= \frac{1}{2l}r\dot{\phi}_1\end{aligned}$$

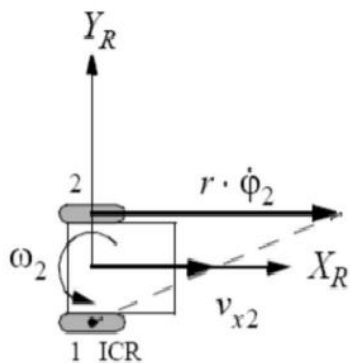
Đối với bánh thứ hai hình 1.6:

Ta có :

$$\begin{aligned}v_{x2} &= \frac{1}{2}r\dot{\phi}_2 \\v_{y2} &= 0 \\ \omega_2 &= \frac{1}{2l}r\dot{\phi}_2\end{aligned}$$



Hình 1.6: Động học của bánh 1



Hình 1.7: Động học của bánh 2

CHƯƠNG 2: GIẢI THUẬT ĐIỀU KHIỂN

2.1. Thuật toán Flocking

Mục đích chính của thuật toán đồ bộ của chúng tôi là sự đơn giản. Điều này có nghĩa là chúng tôi đã phát triển thuật toán của mình để xem xét khả năng tính toán rất hạn chế và chỉ có thiết bị robot bầy đàn tối giản. Flocking là một hành vi điển hình của bầy robot. Nhờ vào các quy tắc cơ bản về tổng hợp, phân tách và gắn kết, robot sẽ được tập hợp lại trong một nhóm khi di chuyển từ vị trí ban đầu đến đích mà không có bất kỳ va chạm nào với chướng ngại vật và các robot khác. Mô hình kiểm soát hành vi của Reynolds thường được sử dụng để bầy đàn rô bốt di động.

Sự gắn kết và sự phân tách nhau đóng vai trò quan trọng của duy trì cấu trúc bầy đàn, cụ thể là việc làm thế nào để có thể giữ được khoảng cách giữa các rô bốt trong khi căn chỉnh đồng bộ hóa hướng và vận tốc tương đối của các rô bốt lân cận. Những hành vi như vậy thường được biểu diễn thông qua các cảm biến đo khoảng cách để xác định vị trí tương đối giữa các robot với nhau giúp chúng có thể thực hiện được hành vi chuẩn mực.

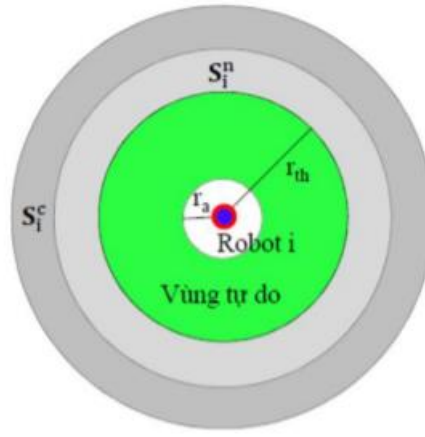
Giả sử rằng bầy robot bao gồm N robot di động làm việc trên một mặt phẳng 2D và tất cả các rô bốt đều xác định được vị trí đích mong muốn. Robot có khả năng đo lường được vị trí tương đối trong vùng quét được của cảm biến so với các hàng xóm xung quanh gần nhất của nó N_i và chướng ngại vật trong phạm vi cảm biến dựa trên đĩa của nó, ký hiệu là S_i , với bán kính r_c . Ngoài ra, rô bốt i có khả năng thực hiện giao tiếp ngang hàng với các rô bốt khác bên trong phạm vi giao tiếp r_{th} . Trong thực tế, phạm vi giao tiếp là lớn hơn phạm vi cảm biến, vì vậy giả định rằng nếu hai rô bốt bên trong phạm vi cảm nhận của nhau, chúng cũng có khả năng giao tiếp để trao đổi thông tin.

Các hành vi tập hợp lại với nhau của một bầy robot xuất hiện từ các hành vi cá nhân được hình thành từ sự tương tác không gian giữa robot và robot cũng như giữa robot với các chướng ngại vật. Phạm vi cảm nhận của robot tôi S_i được chia thành ba phần không gian chính tương ứng với các khu vực tương tác như trong Hình 2.1:

1) Vùng tránh va chạm nhau và vật cản là phần diện tích hình tròn nhỏ bên trong có bán kính r_a

2) Vùng tự do là vùng diện tích ở bên trong vòng tròn hình khuyên giữa hai bán kính r_a và r_{th}

3) Vùng bắt đầu có sự gắn kết là khu vực bên trong hình tròn hình khuyên giữa hai cơ số r_{th} và r_c

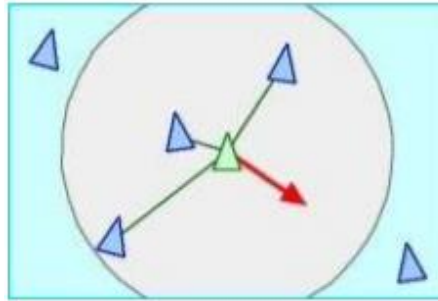


Hình 2.1: Vùng tương tác của Robot

Nhờ phân vùng tương tác không gian, robot tối ưu di chuyển tránh xa các chướng ngại vật và các rô bốt lân cận bên trong khu vực tránh va chạm của nó, di chuyển các rô bốt lân cận vào bên trong khu vực gắn kết của nó và không tương tác với robot bên trong khu vực tự do của nó thông qua sự gắn kết và tách biệt nhưng di chuyển về phía đích.

Các quy tắc hành vi được xác định dựa trên phân vùng tương tác không gian được mô tả cụ thể như sau:

2.1.1. Hành vi tránh va chạm (Separation)



Hình 2.2: Separation

Quy tắc này cho phép robot i có khả năng tránh va chạm với các robot khác và các chướng ngại vật bên trong khu vực tránh va chạm của nó. Vận tốc separation được kí hiệu là v_i^s và được tuân theo công thức 3.1:

$$\vec{v}_i^s = \sum_{j \in N_i^a} \frac{w_{ij}}{r_{ij}} e^{-\zeta(r_{ij}-r_a)} \vec{r}_{ij} \quad (3.1)$$

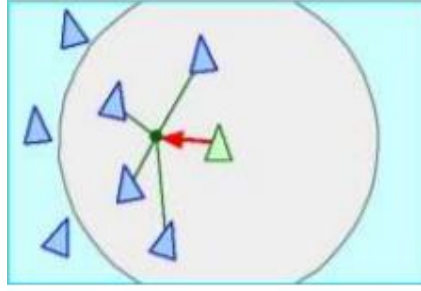
Trong đó:

$N_i^a = \{j | p_j \in S_i | S_i^a\}$ là danh sách các con robot hàng xóm.

$r_{ij} = \|\vec{r}_{ij}\| = \|x_i - x_j\|$ với x_i và x_j lần lượt là vị trí của robot i và robot j .

$\frac{w_{ij}}{r_{ij}} e^{-\zeta(r_{ij}-r_a)}$ hay còn gọi là hàm $f(r_{ij})$ tỉ lệ nghịch với khoảng cách tương đối giữa 2 robot. Khoảng cách càng gần nhau thì lực phân tán càng mạnh.

2.1.2. Hành vi gắn kết (Cohension)



Hình 2.3: Cohension

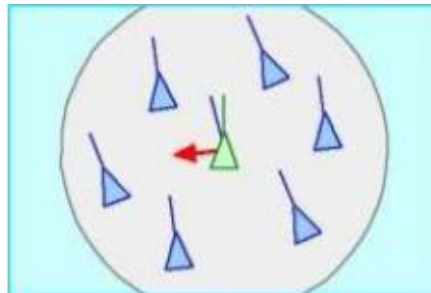
Quy tắc này cho phép robot i duy trì sự gắn kết với các con robot hàng xóm của nó dựa trên không gian các phân vùng tương tác, vectơ liên kết có thể được biểu thị như sau:

$$\vec{v}_i^c = \sum_{j \in N_i^a} \vec{r}_{ij} \quad (3.2)$$

Trong đó: $N_i^a = \{j | p_j \in S_i | S_i^a\}$ là danh sách các con robot nằm bên ngoài phạm vi và không phải là hàng xóm của con robot i .

Vec tơ v_i^c giúp cho các robot ở quá xa tiến lại gần nhau hơn, liên quan đến khoảng cách tương đối giữa hai robot; cách khoảng cách tương đối dài hơn, sự gắn kết mạnh mẽ hơn. Khi khoảng cách tương đối r_{ij} nhỏ hơn r_{th} , robot rơi vào vùng tự do của nhau thì sẽ không có sự gắn kết giữa chúng.

2.1.3. Hành vi căn chỉnh (alignment)



Hình 2.4: Alignment

Quy tắc này hướng các con robot di chuyển hướng về phía đích, đồng thời làm cho robot được căn chỉnh vận tốc và hướng đi cùng với các con robot hàng xóm xung quanh, lân cận.

$$\vec{v}_i^a = \frac{1}{r_{id_i}} \vec{r}_{id_i} \quad (3.3)$$

2.1.4. Mô hình hành vi

Kết hợp 3 mô hình hành vi bên trên sẽ được mô hình hành vi của Rynoid như sau:

$$\vec{v}_i = \alpha \vec{v}_i^c + \beta \vec{v}_i^s + \gamma \vec{v}_i^a$$

Trong đó các α , β , γ là các hệ số điều chỉnh cho sự gắn kết, sự tách biệt và các hành vi liên kết tương ứng.

2.2. Thuật toán Coverage

2.2.1. Lý thuyết

Báo cáo nghiên cứu, thực hiện điều khiển bầy robot di động bao phủ một không gian, hướng tới ứng dụng triển khai robot để đo lường, xây dựng bản đồ ở trong một không gian bất kỳ nhằm tạo ra các bản đồ 2D hoặc 3D trong một không gian chưa xác định. Các robot được sử dụng là robot E-puck với hai bánh vi sai, có nhiệm vụ phối hợp phân phối và di chuyển đến mục tiêu cần tạo các điểm mốc, không cần sự can thiệp của con người. Hệ thống Robot hoạt động dựa trên phương thức phân tán, chuyển động của các Robot di động được tổng hợp điều khiển hành vi. Điều khiển hành vi điều chỉnh các hành vi cơ bản của Robot, ví dụ: khám phá, điều hướng đến các mục tiêu, được thực hiện theo phương thức phân tán, mỗi robot ra quyết định dựa trên thông tin cục bộ thu được từ hệ thống cảm biến.

Bao phủ là một bài toán lớn trong điều khiển đa robot nhằm có thể bao phủ và khám phá những môi trường chưa biết, trong phần này chúng tôi xin trình bày sơ lược về thuật toán bao phủ có thể áp dụng cho mọi môi trường sử dụng mô hình liên kết lưới lục giác kết hợp điều khiển hành vi được đề xuất trong [2] cũng như kết quả sau khi đã thực hiện mô phỏng thuật toán này.

2.2.2. Điều khiển hành vi

Chúng tôi sử dụng điều khiển flocking nhằm giữ liên kết giao tiếp giữa các robot, tránh va chạm với vật cản, các robot trong bầy.

Điều khiển những hành vi cơ bản của robot:

$$\vec{v}_i = \alpha \vec{v}_i^c + \beta \vec{v}_i^s + \gamma \vec{v}_i^a$$

Vector vận tốc của robot được tính bằng tổng hợp lực các lực ảo, \vec{v}_i^c là lực hút giữ cho các robot gần nhau, \vec{v}_i^s là lực đẩy điều khiển robot tránh vật cản cũng như các robot cùng bầy khởi va chạm, \vec{v}_i^a là vector điều hướng robot i hướng về mục tiêu của

nó. Các hệ số α, β, γ cân chỉnh các thành phần lực đóng góp vào vector vận tốc của robot.

2.2.3. Dẫn đường

Dẫn đường là một nhiệm vụ mà bài toán đưa ra và cần phải xử lý. Dẫn đường bao gồm việc:

- Dẫn đường cho bầy đàn hướng đến mục tiêu tại một khu vực cụ thể.
- Đưa ra chỉ dẫn cho các robot chưa xác định được mục tiêu.

Xử lý vấn đề dẫn đường sẽ đưa bầy đàn tìm kiếm mục tiêu và không bỏ sót các mục tiêu có thể có trong khu vực của mục tiêu.

2.2.4. Triển khai giải thuật

Trong thuật toán bao phủ này robot sẽ được chia làm 3 trạng thái hoạt động: tự do, đăng kí và chiếm đóng. Trạng thái tự do là khi robot chưa nhận nhiệm vụ nào và chỉ hoạt động theo luật điều khiển để tránh bị mất kết nối với các robot trong bầy, robot ở trạng thái đăng kí là robot đã nhận nhiệm vụ và di chuyển đến các mục tiêu đã được phân công và trạng thái cuối cùng là chiếm đóng, khi robot đã tới được mục tiêu, nó chuyển sang trạng thái chiếm đóng, trở thành mốc dẫn đường cho các robot ở trạng thái đăng kí hoặc phân công nhiệm vụ cho robot ở trạng thái tự do.

Mã giả cho thuật toán chúng tôi sử dụng như sau:

Coverage Algorithm

```

Initialize  $lc = 1, tc = 1$ 
For  $i = 1$  to number of robots do:
    Switch State:
        Case 0:
            Stop
            Send confirmation request
            Receive confirmation
            If confirmation == roboti ID
                State = State + 1
        Case 1:
            Move to target
            If reach target
                State = State + 1

```

			Case 2:
			Stop
			If first time
			Generate virtual targets
			$Lm = Lm + 1$
			If robot_i is lc
			Message broadcasting
			Receive confirmation request
			If confirmed
			Send confirmation
			$tc = tc + 1$
			If $tc > \text{number of generated targets}$
			$lc = lc + 1$
			$tc = 1$

Thuật toán được chia làm 2 giai đoạn:

A. Giai đoạn 1: đăng kí

Khi một robot trở thành landmark nó sẽ được thêm vào tập các landmark, trong 1 thời điểm, chỉ có duy nhất 1 landmark được kích hoạt, số còn lại sẽ không. Khi một landmark được kích hoạt nó sẽ thu hút các robot tự do tới chiếm những điểm đích do nó tạo ra. Mỗi một điểm đích chỉ có thể được đăng kí bởi 1 robot tự do và ngược lại, một robot tự do chỉ có thể chiếm đóng 1 mục tiêu. Khi tất cả các điểm đích đã được chiếm đóng, landmark hiện tại sẽ được ngắt và kích hoạt landmark tiếp theo trong tập các landmark.

Khi một landmark được kích hoạt nó sẽ lan truyền tín hiệu thông qua mạng giao tiếp trong bầy. Landmark sẽ phê duyệt và gửi tín hiệu tới các robot tự do, các robot tự do sau khi nhận được tín hiệu phê duyệt sẽ bắt đầu di chuyển tới điểm đích đã đăng kí.

B. Giai đoạn 2: chiếm đóng

Sau khi robot đã tới điểm đích robot sẽ chuyển sang trạng thái chiếm đóng và tạo ra các điểm đích có dạng hình lục giác với chính nó là trung tâm. Tuy nhiên sẽ có những điểm đã bị chắn bởi vật cản hoặc đã bị chiếm đóng bởi robot khác, những điểm đó sẽ bị loại ra khỏi tập chứa các điểm đích mới được tạo ra.

Những điểm đích có thể được tạo ra theo công thức sau:

$$P_i^j = x_i + (r_h \cos \varphi_i^j, r_h \sin \varphi_i^j)$$

$$\varphi_i^j = \varphi_i^0 + (j - 1)\varphi_h$$

$$\varphi_h = \frac{\pi}{3}$$

Với i là robot.

j là thứ tự các đỉnh của lục giác.

x_i là vị trí của robot i trong hệ tọa độ chung.

φ_i^0 là góc ban đầu giữa hướng của robot và đỉnh đầu tiên của lục giác.

φ_h là góc giữa các đỉnh.

r_h là bán kính đường tròn ngoại tiếp của lục giác.

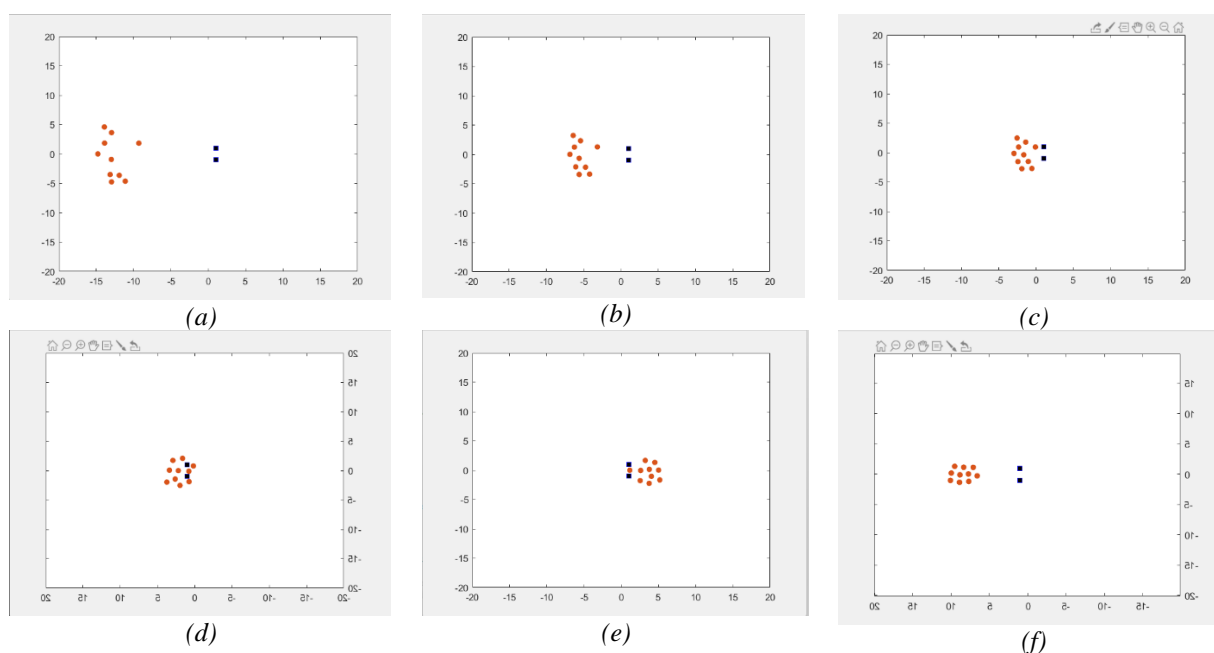
CHƯƠNG 3: MÔ PHỎNG BẦY ROBOT

Thực hiện chương trình mô phỏng lại hoạt động của hai thuật toán của bầy Robot. Chương trình mô phỏng được viết bằng phần mềm Matlab và CoppeliaSim.

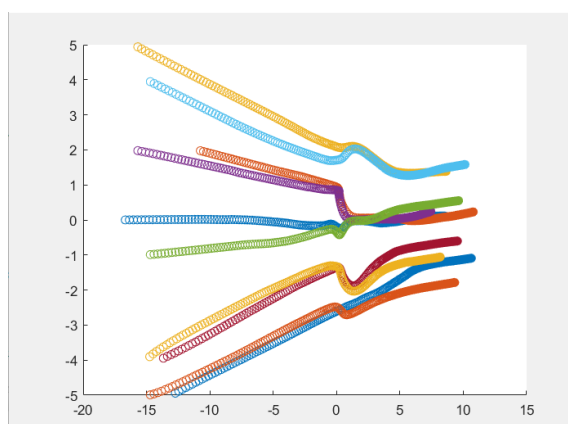
3.1. Mô phỏng Flocking

3.1.1. Mô phỏng trong phần mềm Matlab

Trong phần này sẽ sử dụng là 10 con robot được mô phỏng hướng đi tọa độ của các robot. 10 con robot được sử dụng sẽ tương ứng với 10 chấm tròn như trên Hình 3.1. Hai ô vuông nhỏ màu xanh đại diện cho 2 vật cản nhỏ trên đường đi. Các con robot sẽ được tạo một cách ngẫu nhiên và sẽ cùng đồng thời di chuyển đến điểm đích có tọa độ là (10,0). Kết quả mô phỏng được thể hiện trên như trên và quỹ đạo của robot được ghi lại và thể hiện trên hình 3.2



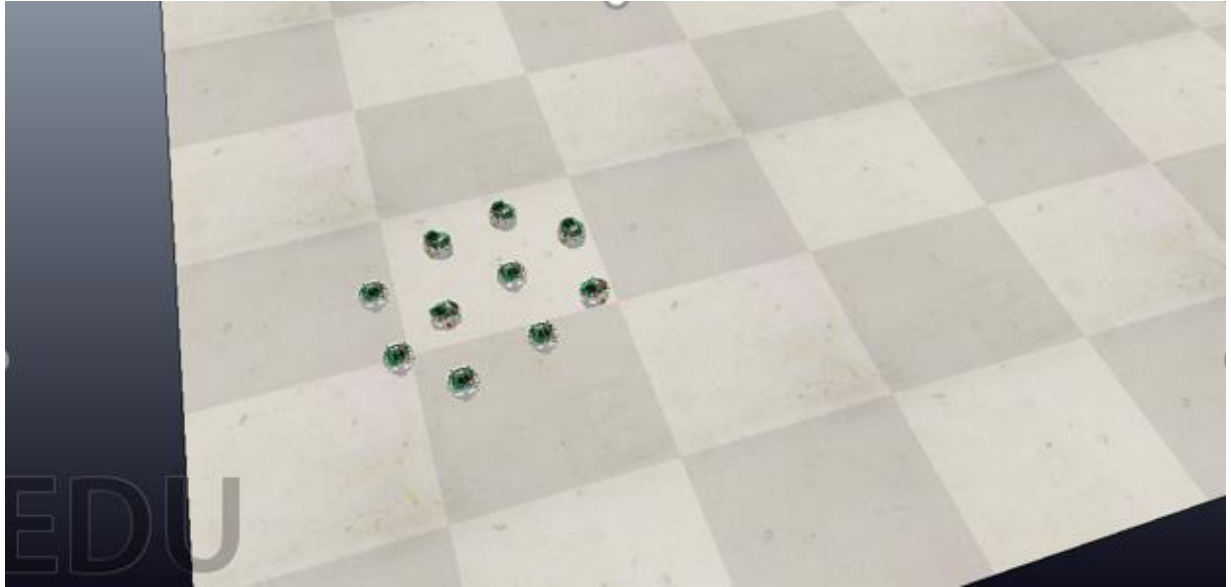
Hình 3.1 Mô phỏng kết quả phần mềm matlab



Hình 3.2: Quỹ đạo di chuyển của bầy robot

3.1.2. Mô phỏng kết hợp phần mềm CoppeliaSim

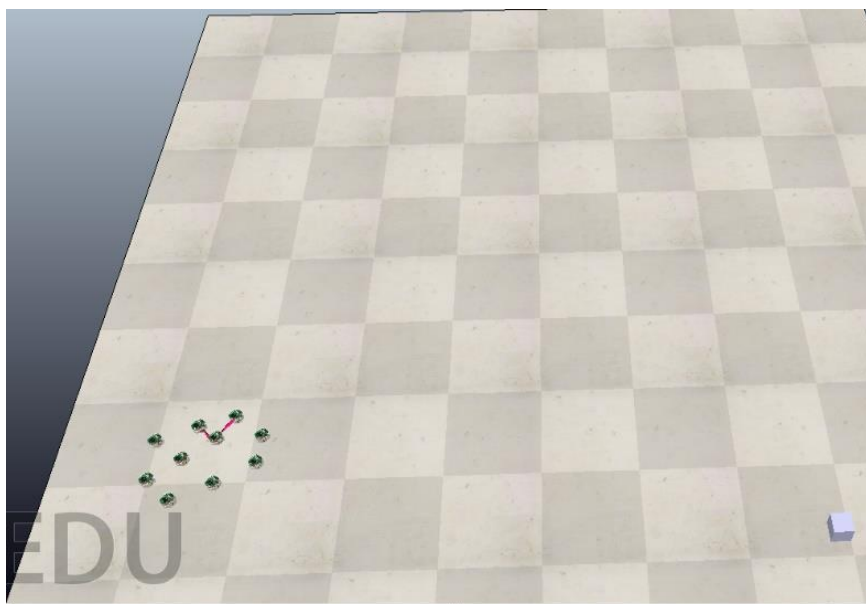
Sau khi tiến hành thử nghiệm thuật toán flocking trên Matlab thành công, tiếp theo chúng tôi sẽ tiến hành áp dụng mô hình kinematic vào từng con robot bên trên. Để làm được điều này, phần mềm được đưa ra để lựa chọn là VREP robot chúng tôi dùng có tên là Epuck với thông số cấu hình là: bán kính bánh xe $R = 0.023\text{m}$ và khoảng cách giữa 2 bánh $L = 0.056\text{m}$. Bán kính sensor cảm nhận được để tránh vật cản là 0.15m .



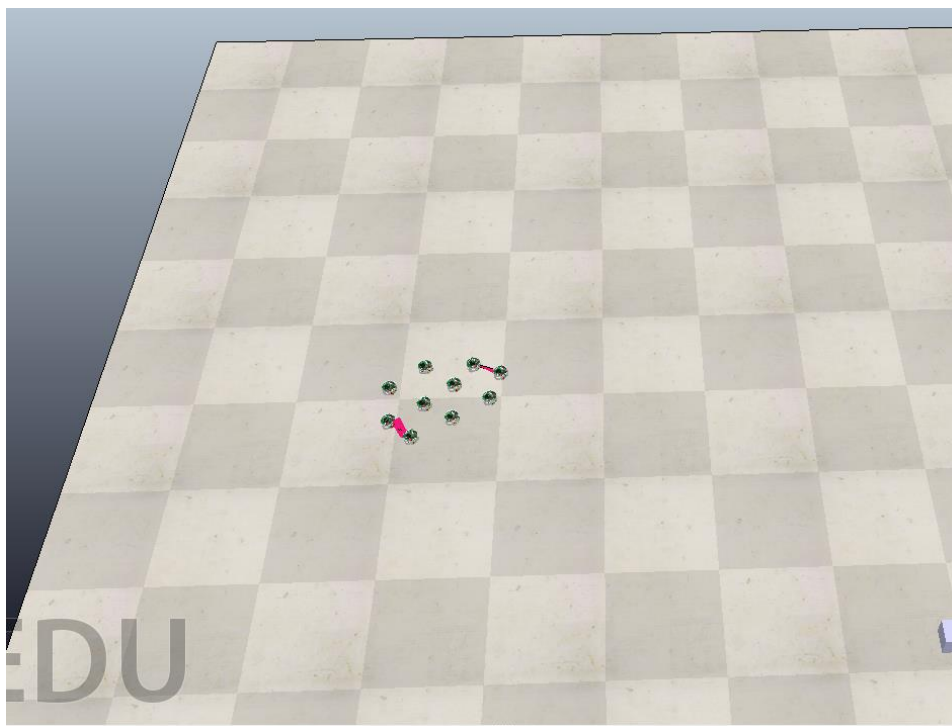
Hình 3.3: Robot trong Vrep

3.1.2.1. Quá trình chưa tránh vật cản

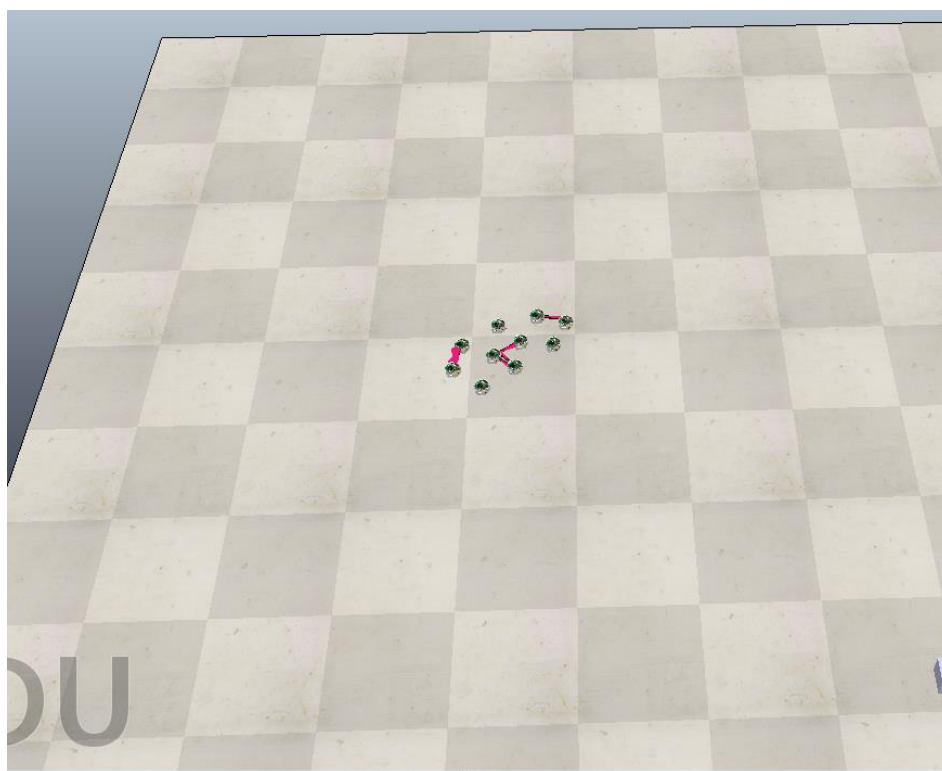
Trong quá trình di chuyển về đích các con robot đều thực hiện hành vi né tránh nhau bằng việc rẽ trái và rẽ phải khi sensor trả về giá trị được thể hiện bằng những tia hồng ngoại màu đỏ trên hình.



(a)



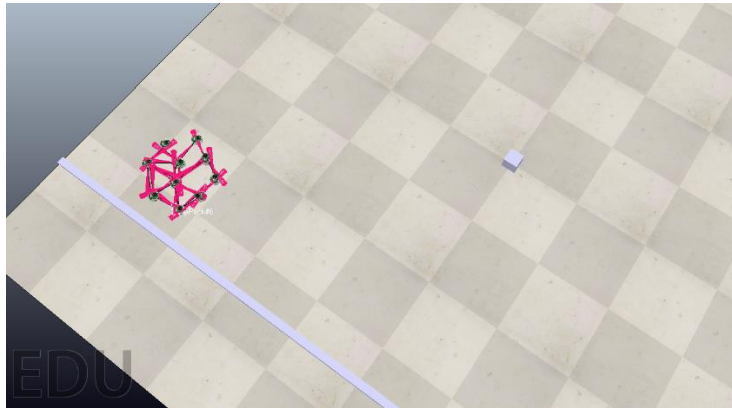
(b)



(c)

Hình 3.4. Mô phỏng kết quả trên phần mềm VREP

3.1.2.2. Quá trình tránh vật cản



(a)



(b)



(c)

Hình 3.5. Mô phỏng kết quả tránh vật cản trên phần mềm VREP

3.1.3. Kết luận

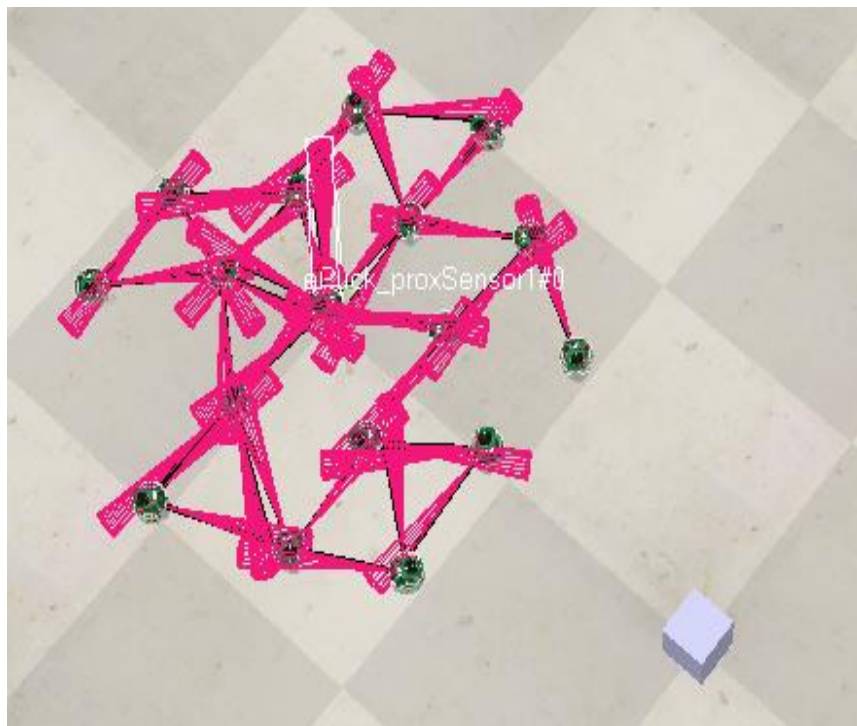
Mô phỏng đã thể hiện được quy trình di chuyển né tránh nhau của các Robot mà không gặp khó khăn. Tuy nhiên do tần số quét của cảm biến vẫn còn thấp dẫn nên vẫn dẫn đến việc hai robot va chạm nhau mà cảm biến chưa kịp quét. Qua đó việc phát triển bài toán trên chúng tôi có thể khắc phục được vấn đề này nhằm tăng tính thực tiễn của bài toán hơn.

3.2. Mô phỏng Coverage

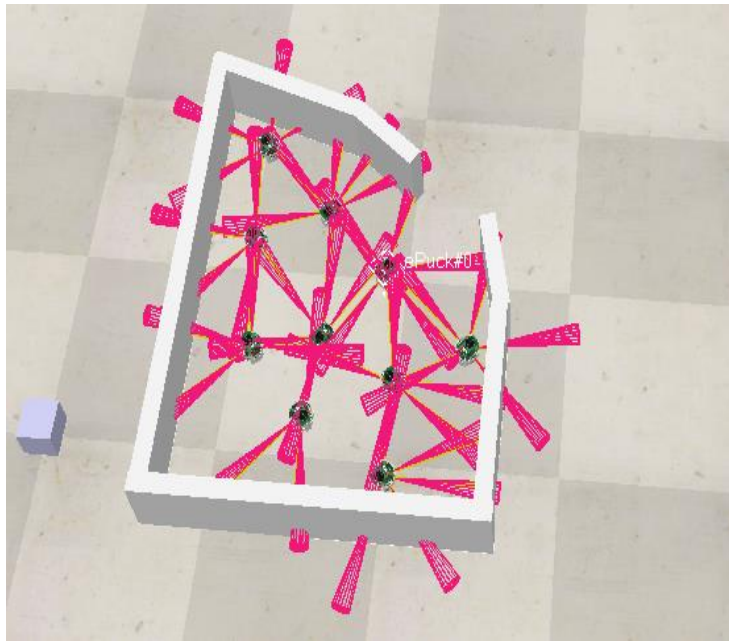
3.2.1. Mô phỏng kết hợp phần mềm CoppeliaSim

Để thực hiện mô phỏng chúng tôi sử dụng trình mô phỏng CoppeliaSim với đối tượng là robot ePuck có bán kính bánh xe 20.5mm và độ dài trục 52mm với 8 cảm biến hồng ngoại sắp xếp xung quanh robot. Mô phỏng với giả định vùng giao tiếp của robot có thể bao quát toàn bầy, vùng cảm biến dạng hình nón độ dài 0.3m, bán kính bắt đầu thực hiện tránh vật cản là 0.15m, bán kính tạo lực góc r_h là 0.25m.

Sau khi thực hiện thực hiện mô phỏng trong môi trường không có vật cản với 17 robot và môi trường khép kín dạng lõi với 10 robot chúng tôi thu được kết quả như hình 4.6 và hình 4.7



Hình 3.6: Trong môi trường không có vật cản



Hình 3.7: Trong môi trường kép kín dạng lồng

3.2.2. Kết luận

Mô phỏng đã có thể bao phủ một vùng diện tích tự do mà không gặp khó khăn, tuy nhiên ngược lại với môi trường có vật cản do độ phân giải cảm biến thấp của robot ePuck khó có thể cảm nhận được toàn bộ môi trường xung quanh. Về việc phát triển bài toán chúng tôi có thể khắc phục vấn đề này, đồng thời giới hạn vùng giao tiếp của các robot nhằm tăng tính thực tế cho bài toán.

Link video mô phỏng :

<https://youtu.be/PzAt31AWvQU>

<https://youtu.be/p2Gs6GgReUg>

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Reynolds, Craig, "Flocks, Herds, and Schools: A Distributed Behavioral Model", ACM SIGGRAPH *Computer Graphics*, 1987, pp.25-34
- [2] Pham Duy Hung, Tran Quang Vinh, Trung Dung Ngo. Distributed coverage control for networked multi-robot systems in any environments. *2016 IEEE International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics (AIM)*. 12-15, July, 2016.
- [3] P. D. Hung and T. D. Ngo, "A Variant of Boids Rules: Reducing Jerky Motion through Eliminating Heading Disturbance," *2021 IEEE International Symposium on Robotic and Sensors Environments (ROSE)*, 2021, pp. 1-5, doi: 10.1109/ROSE52750.2021.9611763.
- [4] Flocking By The Fusion Of Sonar And Active, December 2001, Authors: I. D. Kelly, Dr D. A. Keating
- [5] E. Rohmer, S. P. N. Singh, and M. Freese, "V-rep: A versatile and scalable robot simulation framework," in *2013 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems*, 2013, pp. 1321–1326.