

A COMPREHENSIVE STUDY OF MOBILE ROBOT NAVIGATION AND OBSTACLE AVOIDANCE SCHEMES

Dinh Quy Long¹, Nguyen Huu Cong², Duong Phu Tuan³, Nguyen Quang Vinh³, Nguyen Tuan Minh^{2*}

¹TNU - University of Information and Communication Technology

²Thai Nguyen University, ³Academy of Military Science and Technology

ARTICLE INFO	ABSTRACT
Received: 12/10/2023 Revised: 28/11/2023 Published: 28/11/2023 KEYWORDS Mobile robot Control Autonomous Navigation Obstacle avoidance	An autonomous mobile robot is an agent capable of intelligent navigation and movement through sensors and actuation controllers. Autonomous mobile robots are increasingly being used in fields including business, science, transportation, defence security and other social sectors. This study focuses on investigating different control techniques. The article has clearly classified navigation techniques for mobile robots such as deterministic algorithms, non-deterministic algorithms, evolutionary algorithms, genetic algorithms, sustainable adaptive control, applicable to mobile robot navigation and obstacle avoidance in different environments. The research method used is to synthesize, analyze and evaluate information to draw useful conclusions and comments. The article serves as a guide for beginning researchers in the field of robot navigation, helping them have an overview of navigation for autonomous mobile robots. Comments and assessments drawn from the research are the basis for improving existing algorithms, develop further optimization algorithms for navigation and obstacle avoidance of autonomous mobile robots.

NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN VỀ CÁC PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN ROBOT TRONG ĐIỀU HƯỚNG VÀ TRÁNH CHƯỚNG NGẠI VẬT

Dinh Quý Long¹, Nguyễn Hữu Công², Dương Phú Tuấn³, Nguyễn Quang Vinh³, Nguyễn Tuấn Minh^{2*}

¹Trường Đại học Công nghệ Thông tin và Truyền thông – ĐH Thái Nguyên

²Đại học Thái Nguyên, ³Viện Khoa học và Công nghệ Quân sự

THÔNG TIN BÀI BÁO	TÓM TẮT
Ngày nhận bài: 12/10/2023 Ngày hoàn thiện: 28/11/2023 Ngày đăng: 28/11/2023 TỪ KHÓA Robot di động Điều khiển Tự hành Điều hướng Tránh vật cản	Robot di động tự hành là một tác nhân có khả năng điều hướng và di chuyển một cách thông minh thông qua các cảm biến và bộ điều khiển truyền động. Robot di động tự hành đang ngày càng được sử dụng nhiều hơn trong các lĩnh vực bao gồm kinh doanh, khoa học, giao thông vận tải, quốc phòng an ninh và các lĩnh vực xã hội khác. Nghiên cứu này tập trung nghiên cứu, đánh giá về các kỹ thuật điều khiển khác nhau. Bài báo đã phân loại rất rõ các kỹ thuật điều hướng cho Robot di động như thuật toán xác định, thuật toán không xác định, thuật toán tiến hóa, thuật toán di truyền, điều khiển thích nghi bền vững v.v, áp dụng để điều hướng robot di động và tránh chướng ngại vật trong các môi trường khác nhau. Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là tổng hợp, phân tích và đánh giá thông tin để rút ra được những kết luận và nhận xét hữu ích. Nghiên cứu giúp định hướng cho các nhà nghiên cứu mới bắt đầu trong lĩnh vực điều hướng robot, giúp họ có một cái nhìn tổng quan về điều hướng cho robot di động tự hành. Các nhận xét và đánh giá rút ra từ nghiên cứu là tiền đề để cải tiến các thuật toán đã có, phát triển các thuật toán tối ưu hơn nữa cho việc điều hướng và tránh chướng ngại vật của robot di động tự hành.

DOI: <https://doi.org/10.34238/tnu-jst.8978>

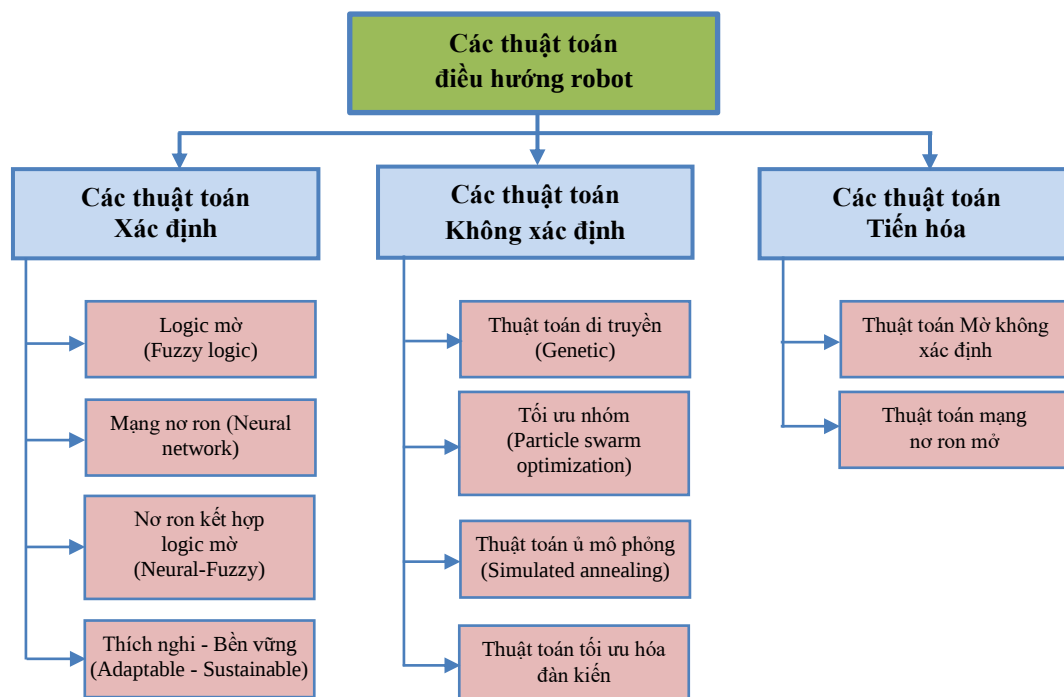
* Corresponding author. Email: nguyentuanminh@tnut.edu.vn

1. Giới thiệu

Trong thời gian gần đây sự phát triển của công nghệ robot đã có những đóng góp to lớn tại nhiều lĩnh vực công nghiệp và xã hội. Robot di động được ứng dụng trong nhiều hệ thống khác nhau như: Hệ thống robot trong tự động hóa nhà máy, hệ thống giám sát, hệ thống kiểm soát chất lượng, AGV (xe tự lái), robot cảnh báo chống thiên tai, robot hỗ trợ y tế,... [1] – [3]. Ngày càng có nhiều robot được ứng dụng nhằm cải thiện cuộc sống hàng ngày cũng như thực hiện các nhiệm vụ khác nhau trong lĩnh vực an ninh, quân sự. Khả năng di chuyển tự động của robot là một vấn đề then chốt bắt buộc trong các ứng dụng như vậy. Robot di động tự động phải thực hiện các nhiệm vụ mong muốn trong môi trường có cấu trúc hoặc không có cấu trúc mà không cần sự can thiệp và điều khiển của con người. Do vậy robot di động cần có những khả năng cơ bản như sau:

- ✓ Thu thập thông tin về môi trường.
- ✓ Làm việc trong một thời gian dài mà không có sự can thiệp của con người.
- ✓ Tự di chuyển hoàn toàn hoặc một phần trong môi trường hoạt động.
- ✓ Tự nhận biết và tránh các tình huống gây hại cho con người, tài sản hoặc chính nó, trừ những tình huống nằm trong thông số kỹ thuật thiết kế.

Nghiên cứu này tập trung vào khảo sát các tài liệu về các kỹ thuật điều khiển khác nhau được sử dụng để điều hướng robot di động. Vấn đề điều hướng và tránh chướng ngại vật là một trong những thách thức cơ bản của robot di động. Đây cũng là lĩnh vực mà suốt nhiều thập kỉ qua đang được các nhà nghiên cứu tập trung giải quyết. Mục đích của điều hướng là tìm kiếm một con đường tối ưu hoặc gần tối ưu từ điểm bắt đầu đến điểm mục tiêu đồng thời trong quá trình di chuyển robot có khả năng tránh chướng ngại vật [4]. Về cơ bản, việc điều hướng robot di động đã được thực hiện bằng thuật toán xác định và thuật toán không xác định (ngẫu nhiên) [5], [6]. Ngày nay, sự kết hợp của cả hai dạng thuật toán trên dẫn đến sự xuất hiện của thuật toán tiến hóa [7]. Hình 1 cho thấy sự phân loại chung của một số thuật toán tiêu biểu như: Thuật toán xác định, thuật toán không xác định, thuật toán tiến hóa, thuật toán di truyền... Đây là các thuật toán đang được nhiều nghiên cứu triển khai và thực hiện.



Hình 1. Phân loại tổng quan một số thuật toán điều hướng cho robot di động

Điều hướng là một nhiệm vụ thiết yếu trong lĩnh vực robot di động, có thể được phân thành hai loại: Điều hướng toàn cầu và điều hướng cục bộ [8]. Trong điều hướng toàn cầu, các dữ liệu có sẵn về môi trường cần được cung cấp từ trước. Nhiều phương pháp đã được phát triển để điều hướng toàn cầu, ví dụ như: Phương pháp đồ thị Voronoi [9], phương pháp trường tiềm năng nhân tạo [10], thuật toán Dijkstra [11], phương pháp đồ thị [12],... Còn trong điều hướng cục bộ, robot có thể quyết định hoặc điều khiển chuyển động và hướng của nó một cách tự động bằng cách sử dụng các cảm biến như cảm biến siêu âm, cảm biến hồng ngoại, cảm biến tầm nhìn (máy ảnh),... Một số thuật toán được sử dụng trong điều hướng cục bộ như: Logic mờ [13], mạng thần kinh [14], neuro-mờ [15], thuật toán di truyền [16], thuật toán tối ưu bầy đàn hạt [17], thuật toán tối ưu đàn kiến [18] hay thuật toán ủ mô phỏng [19],...

Phần tiếp theo của bài báo sẽ trình bày phương pháp nghiên cứu ở phần 2. Phần 3 sẽ thảo luận về các kỹ thuật tính toán mềm khác nhau được sử dụng cho điều hướng robot di động. Cuối cùng, phần 4 sẽ kết luận các vấn đề và định hướng nghiên cứu.

2. Phương pháp nghiên cứu

Vấn đề điều khiển chuyển động của robot di động tự hành có bánh xe đã được nghiên cứu rộng rãi trong những thập kỷ qua. Trong những năm gần đây, đã có một sự quan tâm ngày càng tăng trong thiết kế và phát triển robot di động có bánh xe sử dụng kỹ thuật tính toán mềm khác nhau. Vì vậy trong bài báo tổng quan này chúng tôi sử dụng các phương pháp nghiên cứu chủ yếu sau:

Khảo sát tài liệu: Phương pháp này bao gồm đánh giá các tài liệu trước đây đã được xuất bản về chủ đề điều hướng robot đang đề cập. Việc này giúp đánh giá tình hình nghiên cứu hiện tại và những vấn đề chưa được giải quyết trong lĩnh vực này.

Phân tích nội dung: Phương pháp này giúp đánh giá các tài liệu trước đây để đưa ra các kết quả phù hợp cho nghiên cứu của Robot di động có bánh xe.

Phân tích hệ thống: Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là tổng hợp, phân tích và đánh giá thông tin nhằm rút ra được những kết luận, nhận xét hữu ích để đưa ra cái nhìn toàn diện về các vấn đề khác nhau trong lĩnh vực điều hướng robot.

3. Kết quả nghiên cứu và thảo luận

Trong vài năm qua, nhiều kỹ thuật tính toán mềm đã được đề xuất bởi các nhà nghiên cứu để giải quyết vấn đề điều hướng robot, đặc biệt là vấn đề tránh chướng ngại vật trong các môi trường khác nhau. Các kỹ thuật tính toán mềm khác nhau được áp dụng cho điều hướng robot di động trong cả môi trường tĩnh và môi trường động.

Trong [20], các tác giả đã nghiên cứu các ràng buộc động học và động năng của một robot tự hành và áp dụng để điều hướng giúp robot di chuyển giữa các chướng ngại vật động trong môi trường bằng phương pháp thần kinh-mờ. Quỹ đạo của robot dạng bánh xe không độc lập được theo dõi bằng phương pháp quán tính ngẫu nhiên tối ưu dựa trên thuật toán tối ưu bầy đàn hạt (PSO). Với giả thiết robot di chuyển trên địa hình không bằng phẳng, bộ điều khiển thần kinh-mờ được xây dựng để điều hướng mô hình robot di động có dẫn động vi sai không độc lập này. Tổ hợp 4 cảm biến hồng ngoại được trang bị trên robot để đo khoảng cách tới chướng ngại vật và các thông tin được đưa đến bộ điều khiển để điều chỉnh tốc độ của hai động cơ. Một số nghiên cứu khác đã thiết kế động học và điều khiển theo dõi quỹ đạo của robot di động dạng xe đạp một bánh bằng phương pháp logic mờ loại 2 kết hợp với thuật toán di truyền. Robot di động có bánh xe (WMR) thường được sử dụng rộng rãi trong công nghiệp, giao thông vận tải, nông nghiệp thông minh, thám hiểm, cứu hộ và một số các lĩnh vực khác trong xã hội,...

3.1. Kỹ thuật logic mờ cho điều hướng robot di động

Khái niệm logic mờ (fuzzy logic-FL) đã được giới thiệu bởi Zadeh trong [21]. Logic mờ được sử dụng rộng rãi trong nhiều ứng dụng kỹ thuật như robot di động, xử lý hình ảnh,... Phương pháp này đóng vai trò quan trọng trong lĩnh vực robot di động. Kỹ thuật logic mờ đã

được nhiều nhà nghiên cứu áp dụng thành công để kiểm soát vị trí và hướng của robot trong môi trường. Nhất là trong những môi trường năng động, hoàn toàn mới đối với robot và có sự thay đổi liên tục. Hệ thống logic mờ lấy cảm hứng từ lý luận của con người, hoạt động dựa trên sự nhận thức. Trong [22], các tác giả đã trình bày phương pháp Gradient dựa trên bộ điều khiển mờ Takagi-Sugeno tối ưu để điều chỉnh thành phần các tham số chức năng và áp dụng nó vào điều hướng robot di động và tránh chướng ngại vật. Nghiên cứu mô tả kiến trúc mờ dựa trên hành vi của robot di động trong một môi trường không xác định. Các hành vi cơ bản của robot bao gồm: Hành vi tìm kiếm mục tiêu, hành vi tránh chướng ngại vật, hành vi theo dõi,... Các tác giả đã sử dụng vi điều khiển Atmega để xây dựng bộ điều khiển logic mờ cho loại robot di động có bánh xe. Bộ điều khiển nhận đầu vào (là khoảng cách tới chướng ngại vật) từ các cảm biến để điều khiển động cơ bên phải và bên trái của robot di động.

Một bộ điều khiển mờ và thuật toán di truyền được xây dựng cho một nhóm robot tự hành hoạt động ở môi trường trong nhà [23]. Trong đó, bộ điều khiển mờ cung cấp chức năng cho một thành viên ban đầu và thuật toán di truyền sẽ chọn thành viên tốt nhất để tối ưu hóa bộ điều khiển mờ trong quá trình điều hướng cho các robot.

Trong vấn đề điều hướng của robot di động thì khả năng tránh chướng ngại vật là rất quan trọng. Một số nghiên cứu đã kết hợp phương pháp học tăng cường và thuật toán di truyền để tối ưu hóa bộ điều khiển. Nhằm cải thiện hiệu suất khi robot di chuyển trong các môi trường không xác định. Phương pháp học tăng cường dựa trên cảm biến giúp điều hướng robot trong những môi trường phức tạp.

Trong [24], các tác giả đã sử dụng thuật toán di truyền mờ để điều khiển robot di động tự hành (AMR). Sử dụng thông tin từ cảm biến siêu âm để xác định các thông số môi trường và quy hoạch đường đi. Trong nghiên cứu đã tiến hành so sánh giữa các mô hình logic mờ kiểu Takagi-Sugeno và Mamdani. Cả hai bộ điều khiển đều nhận được dữ liệu đầu vào (khoảng cách tới chướng ngại vật) từ cảm biến siêu âm bên trái và bên phải để kiểm soát vận tốc của hai động cơ. Trong quá trình so sánh, các tác giả đã nhận thấy rằng xét về độ trơn thì mô hình mờ kiểu Mamdani cho một kết quả tốt hơn. Nhưng mô hình mờ Takagi-Sugeno chiếm ít dung lượng bộ nhớ hơn khi thực hiện với bộ vi điều khiển thời gian thực.

3.2. Kỹ thuật lai giữa thuật toán mờ và thuật toán không xác định

Một số nghiên cứu đã kết hợp logic mờ với các kỹ thuật tính toán mềm như thuật toán di truyền (GA), mạng thần kinh (NN) và tối ưu hóa bầy đàn hạt (PSO). Các phương pháp này giúp tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển mờ, cải thiện hiệu suất điều hướng của thiết bị di động [25]. Các tác giả đã thiết kế hai hành vi logic mờ cơ bản là: Chuyển động theo mục tiêu (MFLC) và tránh chướng ngại vật (AFLC). Thuật toán mờ di truyền và gen-nơ-ron được phát triển để lập kế hoạch điều hướng cho robot di động. Phương pháp được áp dụng cho mô hình robot giống như ô tô hoạt động trong môi trường có các chướng ngại vật di động. Thuật toán di truyền được sử dụng để điều chỉnh tham số chức năng và trọng số của mạng nơ-ron. Thuật toán tiến hóa được thiết kế để tối ưu đầu vào và tham số của bộ điều khiển mờ, cải thiện quá trình lập kế hoạch đường đi. Các hành vi tránh chướng ngại vật được thực hiện bằng các cảm biến tìm kiếm phạm vi, phát hiện khoảng cách tới chướng ngại vật gần nhất. Hành vi tìm kiếm mục tiêu được thực hiện bằng các phép đo bởi cảm biến la bàn, cảm biến xác định hướng của mục tiêu.

Nghiên cứu [26] đã kết hợp thuật toán di truyền logic mờ GA và thuật toán FL giúp robot giải quyết bài toán quy hoạch chuyển động trong môi trường động. Phương pháp điều khiển mờ sử dụng cảm biến không dây ứng dụng cho các robot công nghiệp làm việc trong môi trường có cả chướng ngại vật tĩnh và động. Hai bộ điều khiển mờ: Điều khiển theo dõi logic mờ (TFLC) và điều khiển logic mờ (OAFLC) giúp robot tìm kiếm đường đi từ điểm đầu đến điểm mục tiêu và tránh các va chạm. Các tác giả đã xây dựng một phương pháp lập kế hoạch đường đi trực tuyến dựa trên cảm biến cho robot di động trong môi trường năng động. Các bộ điều khiển mờ được phát triển theo thời gian thực, sử dụng vi mạch tích hợp có khả năng lập trình lại FPGA và thử nghiệm trong

các tình huống khác nhau. Các luật mờ trong nghiên cứu này được thiết kế để có thể mô phỏng hành vi lái xe của con người. Nghiên cứu đã được kiểm nghiệm với các hệ thống đa tác nhân, có khả năng huấn luyện robot và điều hướng tự động trong môi trường năng động và không chắc chắn.

3.3. Kỹ thuật mạng nơ-ron thần kinh trong điều hướng robot di động

Mạng nơ-ron là một trong những kỹ thuật quan trọng để điều hướng robot di động. Kỹ thuật này được áp dụng bởi nhiều nhà nghiên cứu trong các lĩnh vực khác nhau như xử lý tín hiệu và hình ảnh, nhận dạng mẫu, lập kế hoạch đường đi cho robot di động,... Trong [27], các tác giả đã kết hợp nhiều lớp mạng nơ-ron để tạo nguồn cung cấp dữ liệu nhân tạo. Sử dụng phương pháp học tăng cường Q để xây dựng một thuật toán lập kế hoạch đường đi cho robot di động. Hệ thống điều khiển tốc độ động cơ DC dựa trên vi điều khiển Arduino Uno bằng cách sử dụng nhiều nơ-ron. Bộ điều khiển mạng nơ-ron và bộ điều khiển PID được thiết kế và thử nghiệm cho loại robot có hộp số tự động.

Một số nghiên cứu đã áp dụng mạng nơ-ron để tạo ra một đường dẫn tránh chướng ngại vật trong môi trường động. Khả năng lập kế hoạch trực tuyến cho robot trong môi trường có các chướng ngại vật chưa biết là một vấn đề rất được quan tâm. Một số nghiên cứu triển khai tìm kiếm, phân tích các hành vi tránh chướng ngại vật bằng cách sử dụng kết hợp mạng nơ-ron và học tăng cường. Trong [28], các tác giả đã thiết kế bộ điều khiển mạng nơ-ron chuyển tiếp với nguồn cấp dữ liệu có nhiều lớp. Thực hiện điều khiển góc lái của robot một cách tự động trong cả môi trường tĩnh và động. Đầu vào của mạng nơ-ron gồm bốn lớp là khoảng cách tới các chướng ngại vật và đầu ra là góc lái của robot. Tuy nhiên trong môi trường năng động và phi cấu trúc thì việc xác định đường dẫn cho robot để tránh và chạm trở nên khó khăn.

3.4. Kỹ thuật lai giữa mạng nơ-ron thần kinh và thuật toán không xác định trong điều hướng Robot

Mạng nơ-ron thích ứng thường được kết hợp với bộ điều khiển PID để giải quyết vấn đề theo dõi quỹ đạo của một robot di động. Lý thuyết xác suất thường được sử dụng trong kiến trúc mạng nơ-ron để lập kế hoạch và phối hợp đường đi cho nhiều robot. Mô hình bầy đàn dạng “lãnh đạo-di theo” là mô hình phổ biến nhất được áp dụng để kiểm soát vị trí của các robot. Robot lãnh đạo có nhiệm vụ định hướng cho đàn robot khi hoạt động trong môi trường. Sự kết hợp giữa kiến trúc mạng nơ-ron thần kinh-mờ bậc nhất và mô hình thích ứng hệ thống thường đem lại hiệu quả tốt, trong đó mô hình mờ được sử dụng để điều khiển vận tốc tuyến tính và góc của robot dẫn đầu cũng như robot theo sau. Các robot trong bầy đàn thường áp dụng quy tắc tự động cập nhật vị trí từ tập dữ liệu số.

Một số nghiên cứu đã trình bày kỹ thuật lập kế hoạch đường dẫn thông minh và điều khiển robot di động dựa trên mạng thần kinh. Yang và cộng sự [29] trình bày vấn đề lập kế hoạch đường đi và bản địa hóa cho robot di động sử dụng mạng thần kinh hồi quy (RNN). Hai bộ điều khiển mạng thần kinh đã được áp dụng để lập kế hoạch và kiểm soát đường dẫn. Bộ điều khiển thứ nhất giúp robot tìm kiếm không gian trống trong môi trường và bộ điều khiển thứ hai huấn luyện robot để tránh chướng ngại vật. Nghiên cứu sử dụng cảm biến tầm nhìn (máy ảnh) kiểu Kohonen chuyên dụng cho điều hướng robot thông minh.

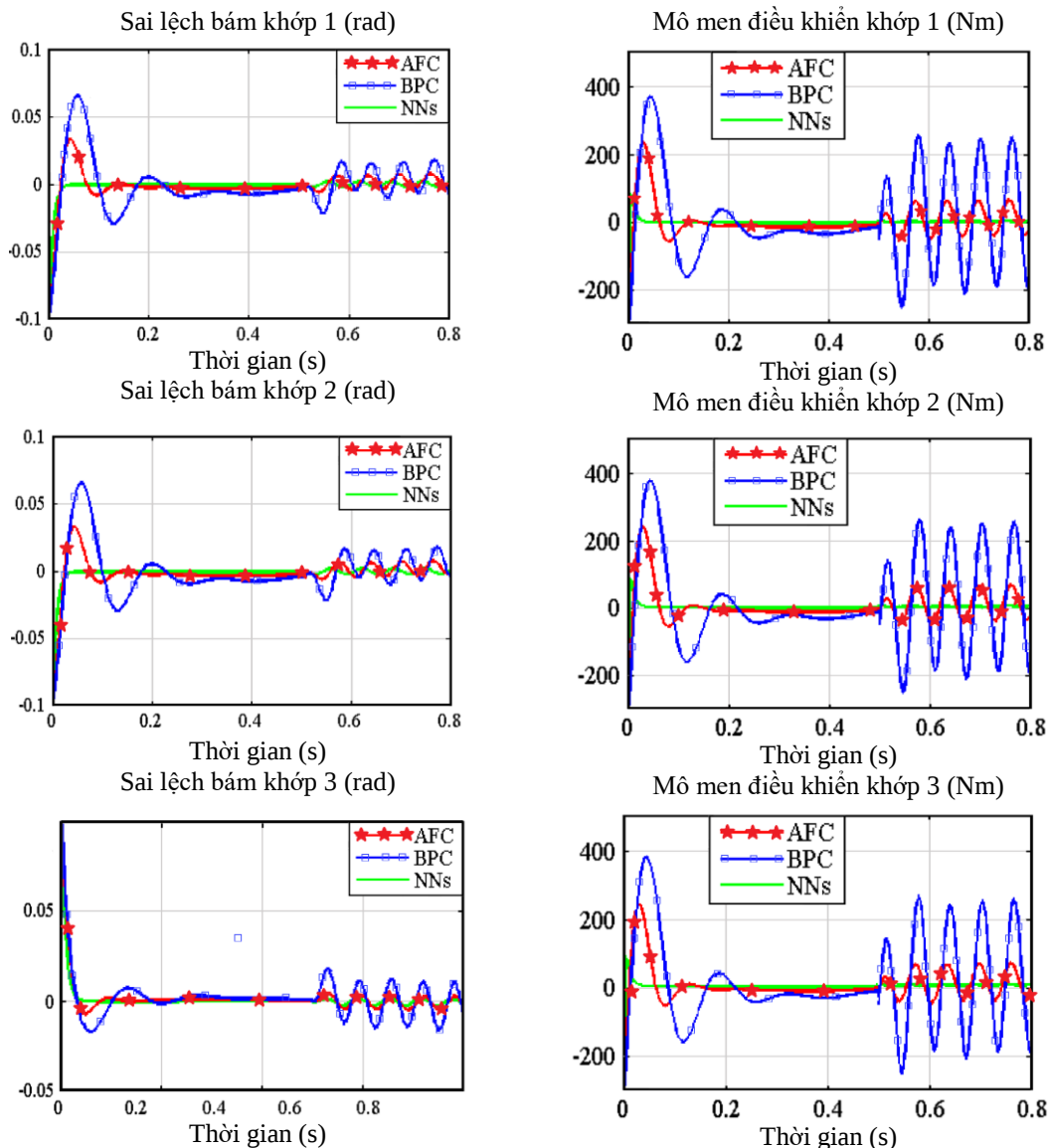
3.5. Kỹ thuật kết hợp điều khiển mờ và mạng thần kinh cho điều hướng Robot

Nghiên cứu [30] đã trình bày phương pháp điều hướng sử dụng điều khiển mờ, dựa trên phản ứng của robot khi di chuyển trong môi trường không xác định. Mô hình dùng bốn mươi tám luật mờ để điều khiển hai hành vi bao gồm: Tìm kiếm mục tiêu và tránh chướng ngại vật. Kỹ năng học tập của mạng nơ-ron được phát triển thông qua việc điều chỉnh các thông số chức năng. Phương pháp đã làm giảm độ dài đường dẫn từ vị trí bắt đầu đến vị trí kết thúc. Các cảm biến siêu âm được sử dụng để phát hiện chướng ngại vật xung quanh robot. Dữ liệu thu được sẽ là đầu vào của bộ điều khiển mờ. Đầu ra bộ điều khiển là tốc độ của hai bánh xe trái - phải của robot. Trong nghiên cứu bộ điều khiển mờ và mạng nơ-ron sử dụng hàm cơ sở xuyên tâm. Logic mờ

được sử dụng để xử lý sự biến động của môi trường và kiểm soát vận tốc của robot. Mạng nơ-ron được sử dụng để huấn luyện robot và điều chỉnh các tham số chức năng.

Deshpande và Bhosale [31] đã xây dựng một mạng nơ-ron mờ theo kinh nghiệm để tạo ra một ánh xạ giữa dữ liệu thu được từ cảm biến siêu âm và vận tốc của Robot. Mười sáu quy tắc của luật mờ được sử dụng để kiểm soát hướng của robot di động. Hệ thần kinh mờ được phân thành hai loại: Thần kinh mờ thích ứng hệ thống (ANFIS) và các hệ thống thần kinh-mờ lai. Bộ điều khiển mờ dựa trên cảm biến để điều hướng robot di động trong môi trường trong nhà. Trong nghiên cứu này mạng nơ-ron khi tích hợp với bộ điều khiển mờ đã giúp cho việc điều hướng, điều khiển robot, kiểm soát góc lái, hướng đi và tốc độ của robot tốt hơn.

3.6. Phương pháp điều khiển bền vững và thích nghi



a) So sánh về sai lệch bám

b) So sánh về Mô men điều khiển

Hình 2. Kết quả mô phỏng của robot tương ứng với bộ điều khiển thích nghi bền vững kết hợp với mạng nơ-ron so với mờ thích nghi (AFC) và bộ điều khiển Backstepping (BPC)

Điều khiển thích nghi là phương pháp điều khiển có khả năng thích ứng với một hệ thống điều khiển có các thông số thay đổi, hoặc có điều kiện ban đầu không chắc chắn. Điều khiển bền vững là phương pháp điều khiển được thiết kế cho các hệ thống có hàm mô tả chính xác nhưng các thông số không chắc chắn hoặc bị nhiễu. Điều khiển thích nghi khác với điều khiển bền vững ở chỗ nó không cần thông tin tiên nghiệm về các giới hạn trên của các thông số không chắc chắn hoặc thời gian biến đổi của thông số đó. Điều khiển bền vững bảo đảm rằng nếu những thay đổi nằm trong giới hạn cho trước thì không cần phải thay đổi luật điều khiển. Trong khi điều khiển thích nghi lại liên quan tới việc thay đổi luật điều khiển của chính nó. Sự kết hợp của phương pháp điều khiển bền vững và thích nghi mang lại một hệ thống điều khiển mạnh mẽ có khả năng tự động điều chỉnh và duy trì hiệu suất cao trong điều kiện môi trường nhiều biến động và không chắc chắn. Sự kết hợp của hai phương pháp này giúp tối ưu hóa hiệu suất của hệ thống. Tác động làm giảm lượng tiêu thụ tài nguyên, tạo ra một môi trường tự động hóa bền vững và thích nghi.

Trong nghiên cứu [32], các tác giả đã đề xuất giải pháp sử dụng bộ điều khiển là sự kết hợp của bộ điều khiển thích nghi bền vững và mạng nơ-ron. Bộ điều khiển thích nghi bền vững đảm bảo điều khiển robot công nghiệp có 3 bậc tự do bám theo quỹ đạo và đạt được độ bám chính xác cao, ổn định trên toàn vùng làm việc. Hình 2 cho thấy kết quả mô phỏng thể hiện hiệu quả và khả năng ứng dụng thực tế của phương pháp điều khiển được đưa ra. Kết quả mô phỏng của các tác giả trên cho thấy khả năng bám, sai lệch bám của bộ điều khiển thích nghi bền vững tốt hơn bộ điều khiển mờ thích nghi (AFC) [33] và bộ điều khiển Backstepping (BPC) [34].

Trong Hình 2a thực hiện so sánh về sai lệch bám khớp của 3 phương pháp. Độ quá điều chỉnh của phương pháp NNs (đường nét liền) là nhỏ nhất. Ở khớp 1 và khớp 2 gần như bằng không. Ở khớp 3 độ quá điều chỉnh là 0,05 rad. Trong khi BPC (đường gạch chấm) có độ quá điều chỉnh lớn nhất khoảng 0,7 rad. Thời gian xác lập của NNs cũng là nhỏ nhất khoảng 0,04s. Phương pháp BPC cũng có thời gian xác lập lớn nhất trong khoảng 0,16s đến 0,17s. Về mặt sai số NNs cũng cho kết quả tốt nhất với sai số xấp xỉ bằng không, BPC có sai số lớn nhất xấp xỉ 0,02 rad.

Thực hiện so sánh điều khiển momen trong Hình 2b cho kết quả tương tự. Trường hợp này nhiều được đưa vào sau 0,5 giây kể từ khi hệ thống bắt đầu hoạt động. NNs hầu như không bị ảnh hưởng bởi nhiễu đưa vào. BPC có xuất hiện sai số lớn nhất với biên độ sai số khoảng 270 Nm. Độ quá điều chỉnh của NNs lớn nhất cũng chỉ khoảng 90 Nm trong khi độ quá điều chỉnh của phương pháp AFC (đường gạch sao) là 210 Nm và BPC là 380 Nm. Thời gian xác lập khi chưa có nhiễu của NNs là 0,02s trong khi của AFC và BPC lần lượt là 0,16s và 0,2s.

3.7. Thuật toán di truyền trong điều hướng Robot

Thuật toán di truyền (GA) nhằm giải quyết việc lập kế hoạch đường dẫn toàn cầu của robot di động trong môi trường phức tạp. Một số nghiên cứu đã trình bày giải thuật di truyền để giải bài toán hoạch định đường đi của một robot di động trong môi trường tĩnh và động. Kỹ thuật Petri-GA [35] để tối ưu hóa chiều dài đường dẫn của nhiều robot di động trong không gian phức tạp. Các tác giả đã phát triển phương pháp của họ và thử nghiệm trong các môi trường mô phỏng khác nhau. So sánh với các kỹ thuật GA truyền thống cho thấy nó hiệu quả hơn khi sử dụng phương pháp Petri-GA dựa trên toán tử đột biến này. Các tác giả đã sử dụng hệ thống suy luận mờ để lựa chọn các tham số tốt nhất cho việc kiểm soát góc lái của robot di động. Ngoài ra còn quy hoạch đường đi tối ưu cho một robot di động. Logic mờ và thuật toán di truyền trong nghiên cứu còn được sử dụng để hiệu chỉnh hướng chuyển động của robot di động theo khoảng cách tới chướng ngại vật. Các tác giả đã thực hiện nhiều thử nghiệm mô phỏng trong cả môi trường tĩnh và động để thể hiện tính hiệu quả của thuật toán.

3.8. Thuật toán ủ mô phỏng cho điều hướng Robot

Khái niệm về thuật toán ủ mô phỏng xuất hiện từ cơ học thống kê, một lĩnh vực chuyên nghiên cứu về sự biến đổi và phân bố của các đối tượng cơ học như: Hạt, nguyên tử, và các hệ thống cơ học. Quá trình ủ mô phỏng là một thuật toán tìm kiếm lặp lại lấy cảm hứng từ quá trình

ủ kim loại. Sau đó, nhiều nghiên cứu đã áp dụng phương pháp phỏng đoán dựa trên thuật toán ủ mô phỏng để lập kế hoạch đường đi cho robot trong môi trường năng động. Các tác giả đã so sánh phương pháp này với thuật toán Dijkstra [11] và nhận thấy thuật toán tiêu tốn ít thời gian xử lý hơn so với thuật toán Dijkstra [36]. Một số nghiên cứu đã phát triển phương pháp ủ mô phỏng và logic mờ trong lập kế hoạch đường đi cho robot di động. Thuật toán ủ mô phỏng được sử dụng để tìm kiếm quỹ đạo tối ưu cho robot nhằm tránh va chạm với các chướng ngại vật cố định dạng đa giác. Nghiên cứu đã sử dụng bốn mươi chín luật mờ để điều chỉnh vận tốc của robot trong quá trình điều hướng. Một số nghiên cứu khác thì kết hợp phương pháp trường nhân tạo (APF) với thuật toán ủ mô phỏng (SAA) để lập kế hoạch đường đi cho robot. SAA cũng được phối hợp với logic mờ để điều chỉnh và tối ưu hóa các tham số của hàm liên thuộc mờ. Thuật toán ủ mô phỏng có tốc độ hội tụ chậm nên thường được sửa đổi và áp dụng vào lập kế hoạch đường đi toàn cầu cho robot di động.

Gao và Tian [37] đã sử dụng một hệ thống tối ưu bộ điều khiển logic mờ cho điều hướng robot di động và tránh vật cản. Kỹ thuật tối ưu hóa là sự kết hợp giữa thuật toán di truyền và tổ hợp SAA. Thuật toán ủ mô phỏng dùng trong bộ điều khiển điều hướng thông minh giúp robot xác định một con đường tối ưu hoặc gần tối ưu trong môi trường phức tạp. Một sự kết hợp khác giữa thuật toán ủ mô phỏng và tối ưu hóa đàn kiến (ACO) làm tăng tốc độ điều hướng cho robot di động. Còn khi thuật toán ủ mô phỏng được kết hợp với thuật toán mạng nơ-ron sẽ làm cải thiện tốc độ hội tụ.

3.9. Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn hạt (PSO)

Tối ưu hóa bầy đàn hạt (PSO) là một thuật toán lấy cảm hứng từ hành vi của các sinh vật bầy đàn trong tự nhiên. PSO được sử dụng để tìm ra giá trị tối ưu (nhỏ nhất hoặc lớn nhất) của một hàm mục tiêu trong không gian nhiều chiều bằng cách thay đổi vị trí các cá thể trong bầy đàn một cách thông minh [17]. Phương pháp điều hướng dựa trên thuật toán PSO được sử dụng cho một nhóm gồm nhiều thiết bị di động. Robot sẽ di chuyển theo tiêu chí tốt nhất (g-best) và theo vị trí của một hạt trong mỗi lần lặp. Để tối ưu bộ điều khiển thông minh cho robot tự động có bánh xe, một số nghiên cứu đã kết hợp thuật toán tối ưu hóa đàn kiến (ACO) và PSO để tối ưu hóa tham số chức năng thành viên của bộ điều khiển mờ. Thuật toán tối ưu hóa bầy đàn hạt đa mục tiêu (MOPSO) có thể tìm kiếm một con đường tối ưu mà không có va chạm trong một môi trường không ổn định. Thuật toán PSO đã được áp dụng để tối ưu hóa thời gian di chuyển của robot. Các quỹ đạo khả thi được tìm kiếm một cách ngẫu nhiên trong mỗi lần lặp, từ đó xác định quỹ đạo tối ưu nhất.

Bộ điều khiển mờ tối ưu dựa trên PSO thường được thiết kế để xác định vận tốc của các động cơ trái và phải. PSO có thể lập kế hoạch đường dẫn tối ưu toàn cầu cho robot di động. Một số tác giả đã tiến hành nhiều mô phỏng thử nghiệm trong cả môi trường đơn giản và phức tạp để khẳng định hiệu quả của thuật toán. Thuật toán PPSO (Parallel Particle Swarm Optimization) là một thuật toán tối ưu hóa dựa trên lý thuyết bầy đàn hạt nhằm tìm kiếm giải pháp tốt nhất cho các vấn đề tối ưu hóa. PPSO là một phiên bản cải tiến của PSO được thiết kế để tận dụng tính đa nhiệm và tối ưu hóa đồng thời nhiều bài toán. Trong một số nghiên cứu hoạch định đường đi toàn cục của một robot di động tự hành. Thuật toán PPSO đã được kết hợp với vi mạch lập trình được (FPGA) để giúp Robot thoát khỏi tình trạng di chuyển lặp. Một biến thể khác của PSO là MPSO (Multi-Objective Particle Swarm Optimization). MPSO được sử dụng để tìm kiếm giải pháp tốt nhất cho vấn đề tối ưu hóa với nhiều mục tiêu khác nhau, đồng thời làm tăng tốc độ hội tụ của thuật toán [38].

3.10. Thuật toán tối ưu hóa đàn kiến và các thuật toán không xác định khác điều hướng Robot

Thuật toán tối ưu hóa đàn kiến (ACO) được sử dụng bởi nhiều nhà nghiên cứu cho việc điều hướng robot di động và tránh chướng ngại vật trong các môi trường khác nhau. ACO là một thuật toán có nguồn gốc từ sinh học được đề xuất vào năm 1999. Một số nghiên cứu đã trình bày phương pháp lập kế hoạch điều hướng cho robot di động bằng cách áp dụng ACO và thuật toán Dijkstra

[11]. Thuật toán ACO tìm kiếm giá trị tối ưu từ bảng luật mờ và giảm thiểu khoảng cách di chuyển từ điểm bắt đầu đến điểm đích của robot di động. Đồng thời giúp robot tránh chướng ngại vật một cách hiệu quả. Thuật toán cải tiến từ ACO có thể cải thiện tốc độ tìm đường của robot di động, đáp ứng các hành vi khác nhau của robot như kiểm mục tiêu và tránh chướng ngại vật.

Thuật toán GA và ACO đã được so sánh với nhau trong việc điều hướng toàn cầu cho robot trong môi trường tĩnh. Thuật toán ACO mất ít thời gian hơn để tìm kiếm một con đường tối ưu so với GA. Một số nghiên cứu đã thiết kế bộ điều khiển mờ tối ưu tăng cường (RAOFC) và ứng dụng nó cho robot di động có bánh xe. RAOFC áp dụng mô hình học máy tăng cường (AI) để thực hiện kiểm soát việc di chuyển bám tường của robot. Các đầu vào của bộ điều khiển là các cảm biến sonar và đầu ra là góc lái của robot [39].

Phương pháp tối ưu hóa (BFO) dựa trên các ý tưởng từ sinh học trong việc tìm kiếm vị khuẩn. Tìm ra đường đi ngắn nhất cho robot trong khoảng thời gian nhỏ nhất từ vị trí bắt đầu đến vị trí mục tiêu trong môi trường có các chướng ngại vật đang di chuyển. Thuật toán đom đóm đã được áp dụng để tìm ra đường dẫn tối ưu giữa các nút từ nút bắt đầu đến nút kết thúc, đồng thời tránh va chạm cho robot di động. Brand và Yu [40] đã so sánh thuật toán này với thuật toán ACO, kết quả cho thấy thuật toán đom đóm tốt hơn về độ dài đường dẫn và chi phí tính toán so với ACO.

4. Kết luận

Trong bài báo này, tác giả đã cung cấp và tổng hợp các kỹ thuật khác nhau. Các thuật toán được sử dụng để điều hướng robot di động nhằm thực hiện nhiệm vụ tránh vật cản và tối ưu hệ thống. Bài báo đã phân loại rất rõ các kỹ thuật điều hướng cho Robot di động như: Thuật toán xác định, thuật toán không xác định, thuật toán tiến hóa, điều khiển thích nghi bền vững... Các phương pháp đã được áp dụng để điều hướng robot di động, tránh chướng ngại vật trong các môi trường khác nhau. Hầu hết các nhà nghiên cứu đã sử dụng các kỹ thuật này cho điều hướng robot di động và tránh chướng ngại vật nhưng chỉ giới hạn trong môi trường tĩnh. Còn ít các nghiên cứu xem xét đến điều hướng robot di động trong môi trường năng động. Kết quả của các nghiên cứu được chứng minh chủ yếu thông qua mô phỏng trên máy tính. Còn thiếu các nghiên cứu được triển khai trong môi trường thực tế.

Từ những kết quả khảo sát và đánh giá trên, hướng nghiên cứu tiếp theo của tác giả là tập trung chuyên sâu vào từng chủ đề đã được phân loại, tiếp cận cơ sở của những nghiên cứu trước đó để phát triển các thuật toán mới ứng dụng cho robot trong việc điều hướng và tránh chướng ngại vật.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1] M. T. Nguyen, H. M. La, and K. A. Teague, "Collaborative and Compressed Mobile Sensing for Data Collection in Distributed Robotic Networks," in *IEEE Transactions on Control of Network Systems*, vol. 5, no. 4, pp. 1729-1740, Dec. 2018, doi: 10.1109/TCNS.2017.2754364.
- [2] M. B. Alatis and G. P. Hancke, "A Review on Challenges of Autonomous Mobile Robot and Sensor Fusion Methods," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 39830-39846, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2975643.
- [3] M. T. Nguyen and H. R. Boveiri, "Energy-efficient sensing in robotic networks," *Elsevier Measurement*, vol. 158, 2020, Art. no. 107708.
- [4] Q. A. Phung, D. C. Tran, T. Tran, and M. K. A. A. Khan, "Design and Development of an Obstacle Avoidance Mobile-controlled Robot," *2019 IEEE Student Conference on Research and Development (SCORED)*, Bandar Seri Iskandar, Malaysia, 2019, pp. 90-94, doi: 10.1109/SCORED.2019.8896296.
- [5] H. T. Tran *et al.*, "Extended Kalman Filter (EKF) Based Localization Algorithms for Mobile Robots Utilizing Vision and Odometry," *2022 IEEE 21st Mediterranean Electrotechnical Conference (MELECON)*, Palermo, Italy, 2022, pp. 91-96, doi: 10.1109/MELECON53508.2022.9843066.
- [6] M. T. Nguyen and K. A. Teague, "Random sampling in collaborative and distributed mobile sensor networks utilizing compressive sensing for scalar field mapping," *2015 10th System of Systems Engineering Conference (SoSE)*, San Antonio, TX, USA, 2015, pp. 1-6, doi: 10.1109/SYSSOE.2015.7151962.

- [7] K. Zhu and T. Zhang, "Deep reinforcement learning based mobile robot navigation: A review," in *Tsinghua Science and Technology*, vol. 26, no. 5, pp. 674-691, Oct. 2021, doi: 10.26599/TST.2021.9010012.
- [8] J. Iqbal, R. Xu, S. Sun, and C. Li, "Simulation of an autonomous mobile robot for LiDAR-based in-field phenotyping and navigation," *Robotics*, vol. 9, no. 2, 2020, Art. no. 46.
- [9] B. B. K. Ayawli, X. Mei, M. Shen, A. Y. Appiah, and F. Kyeremeh, "Mobile Robot Path Planning in Dynamic Environment Using Voronoi Diagram and Computation Geometry Technique," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 86026-86040, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2925623.
- [10] U. Orozco-Rosas, O. Montiel, and R. Sepúlveda, "Mobile robot path planning using membrane evolutionary artificial potential field," *Applied Soft Computing*, vol. 77, pp. 236-251, 2019.
- [11] A. Alyasin, E. I. Abbas, and S. D. Hasan, "An Efficient Optimal Path Finding for Mobile Robot Based on Dijkstra Method," *2019 4th Scientific International Conference Najaf (SICN)*, Al-Najef, Iraq, 2019, pp. 11-14, doi: 10.1109/SICN47020.2019.9019345.
- [12] H. Do, H. Nguyen, C. Nguyen, M. Nguyen, and M. Nguyen, "Formation control of multiple unmanned vehicles based on graph theory: A Comprehensive Review," *EAI Endorsed Transactions on Mobile Communications and Applications*, vol. 7, no. 3, 2022, doi: 10.4108/eetmca.v7i3.2416.
- [13] J. C. Mohanta and A. Keshari, "A knowledge based fuzzy-probabilistic roadmap method for mobile robot navigation," *Applied Soft Computing*, vol. 79, pp. 391-409, 2019.
- [14] N. H. Singh and K. Thongam, "Neural network-based approaches for mobile robot navigation in static and moving obstacles environments," *Intelligent Service Robotics*, vol. 12, no. 1, pp. 55-67, 2019.
- [15] P. Pei and Y. N. Petrenko, "Mobile robot automatic navigation control algorithm based on fuzzy neural network in industrial Internet of things environment," *Computer Science and Education*, vol. 1, pp. 59-67, 2020.
- [16] S. Sendari, A. N. Afandi, I. A. E. Zaeni, Y. D. Mahandi, K. Hirasawa, and H.-I. Lin, "Exploration of genetic network programming with two-stage reinforcement learning for mobile robot," *TELKOMNIKA (Telecommunication Computing Electronics and Control)*, vol. 17, no. 3, pp. 1447-1454, 2019.
- [17] A. Masaracchia, D. B. Da Costa, T. Q. Duong, M. -N. Nguyen, and M. T. Nguyen, "A PSO-Based Approach for User-Pairing Schemes in NOMA Systems: Theory and Applications," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 90550-90564, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2926641.
- [18] F. H. Ajeil, I. K. Ibraheem, A. T. Azar, and A. J. Humaidi, "Grid-based mobile robot path planning using aging-based ant colony optimization algorithm in static and dynamic environments," *Sensors*, vol. 20, no. 7, 2020, Art. no. 1880.
- [19] A. K. Kashyap, D. R. Parhi, and S. Kumar, "Dynamic stabilization of NAO humanoid robot based on whole-body control with simulated annealing," *International Journal of Humanoid Robotics*, vol. 17, no. 03, 2020, Art. no. 2050014.
- [20] N. B. Hui, V. Mahendar, and D. K. Pratihari, "Time-optimal, collision-free navigation of a car-like mobile robot using neuro-fuzzy approaches," *Fuzzy Sets and systems*, vol. 157, no. 16, pp. 2171-2204, 2006.
- [21] L. A. Zadeh, "The concept of a linguistic variable and its application to approximate reasoning—I," *Information sciences*, vol. 8, no. 3, pp. 199-249, 1975.
- [22] D. L. T. Tran, H. T. Do, H. T. Tran, T. Hoang, and M. T. Nguyen, "A Design and Implement of Fuzzy Controller for Taking-off and Landing for Unmanned Aerial Vehicles," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2022*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 13-22.
- [23] H. T. Tran, T. C. Vo, Q. N. A. Nguyen, Q. N. Pham, D. M. Ha, T. Q. Le, T. K. Nguyen, D. L. T. Tran, H. T. Do, and M. T. Nguyen, "A novel design of a smart interactive guiding robot for busy airports," *International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems*, vol. 15, no. 1, 2022.
- [24] Q. Liu, Y.-G. Lu, and C.-X. Xie, "Optimal genetic fuzzy obstacle avoidance controller of autonomous mobile robot based on ultrasonic sensors," In *2006 IEEE international conference on robotics and biomimetics*, 2006, pp. 125-129.
- [25] M. Algabri, H. Mathkour, H. Ramdane, and M. Alsulaiman, "Comparative study of soft computing techniques for mobile robot navigation in an unknown environment," *Computers in Human Behavior*, vol. 50, pp. 42-56, 2015.

- [26] M. Faisal, R. Hedjar, M. A. Sulaiman, and K. Al-Mutib, "Fuzzy logic navigation and obstacle avoidance by a mobile robot in an unknown dynamic environment," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, vol. 10, no. 1, 2013, Art. no. 37.
- [27] H. Xiao, L. Liao, and F. Zhou, "Mobile robot path planning based on Q-ANN," in *2007 IEEE International Conference on Automation and Logistics*, IEEE, 2007, pp. 2650-2654.
- [28] C. T. Vo, N. A. Q. Nguyen, L. T. D. Tran, T. H. Tran, and M. T. Nguyen, "Fusion of inertial and magnetic sensors for autonomous vehicle navigation and freight in distinctive environment," in *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2021*, Cham: Springer International Publishing, 2022, pp. 431-439.
- [29] S. X. Yang, T. Hu, X. Yuan, P. X. Liu, and M. Meng, "A neural network based torque controller for collision-free navigation of mobile robots," In *2003 IEEE International Conference on Robotics and Automation (Cat. No. 03CH37422)*, vol. 1, pp. 13-18, 2003.
- [30] A. Zhu, and S. X. Yang, "Neurofuzzy-based approach to mobile robot navigation in unknown environments," *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, vol. 37, no. 4, pp. 610-621, 2007.
- [31] S. U. Deshpande, and S. S. Bhosale, "Adaptive neuro-fuzzy inference system based robotic navigation," In *2013 IEEE International Conference on Computational Intelligence and Computing Research*, 2013, pp. 1-4.
- [32] T. Y. Vu, V. H. Bui, and T. V. Phung, "Design of adaptive robust controller based on neural networks control for industrial robot manipulator," *The University of Danang - Journal of Science and Technology*, vol. 18, no. 11, pp. 21-26, 2020.
- [33] T. S. Li, S. C. Tong, and G. Feng, "A novel robust adaptive fuzzy tracking control for a class of nonlinear MIMO systems," *EEE Trans. Fuzzy syst*, vol.18, no.1, pp.150-160, 2010.
- [34] C. W. Chung and Y. T. Chang, "Backstepping control of multi -input nonlinear systems," *IET Control Theory and Applications*, vol.7, no. 14, pp. 1773-1779, 2013.
- [35] N. Kubota, T. Morioka, F. Kojima, and T. Fukuda, "Learning of mobile robots using perception-based genetic algorithm," *Measurement*, vol. 29, no. 3, pp. 237-248, 2001.
- [36] H. Martinez-Alfaro, and S. Gomez-Garcia, "Mobile robot path planning and tracking using simulated annealing and fuzzy logic control," *Expert Systems with Applications*, vol. 15, no. 3-4, pp. 421-429, 1998.
- [37] M. Gao and J. Tian, "Path planning for mobile robot based on improved simulated annealing artificial neural network," in *Third International Conference on Natural Computation (ICNC 2007)*, vol. 3, pp. 8-12, 2007.
- [38] N. A. Shiltagh and L. D. Jalal, "Optimal path planning for intelligent mobile robot navigation using modified particle swarm optimization," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 2, no. 4, pp. 260-267, 2013.
- [39] X. Fan, X. Luo, S. Yi, S. Yang, and H. Zhang, "Optimal path planning for mobile robots based on intensified ant colony optimization algorithm," In *Proceedings of IEEE International Conference on Robotics, Intelligent Systems and Signal Processing*, vol. 1, pp. 131-136, 2003.
- [40] M. Brand and X.-H. Yu, "Autonomous robot path optimization using firefly algorithm," In *2013 International Conference on Machine Learning and Cybernetics*, vol. 3, pp. 1028-1032, 2013.