

TRÍCH YẾU LUẬN ÁN

a. Tóm tắt mở đầu:

- Tên tác giả: TRƯƠNG XUÂN HÙNG
- Tên luận án: Nghiên cứu thuật toán tối ưu bầy ong trong hoạch định đường đi và phân cụm động cho hệ robot
- Ngành khoa học của luận án: Cơ kỹ thuật Mã số: 9520101
- Tên đơn vị đào tạo: Trường Đại học Công nghệ, Đại học Quốc gia Hà Nội

b. Nội dung bản trích yếu:

Mục đích và đối tượng nghiên cứu của luận án

Mục đích tổng quát của luận án là giải quyết bài toán hoạch định đường đi và quản lý hoạt động cho hệ thống đa robot có quy mô lớn (số lượng phần tử từ 10 trở lên) hoạt động trong môi trường phức tạp. Cụ thể hơn:

- Thứ nhất, hoạch định đường đi dựa trên thuật toán ABC, đảm bảo được tối ưu toàn cục trong bài toán hoạch định đồng thời duy trì năng lực tìm kiếm để ứng phó với những biến đổi cục bộ.
- Thứ hai, giải pháp phân cụm để hỗ trợ cho việc quản lý hệ thống đa robot; phân chia robot thành những nhóm nhỏ, chia sẻ dữ liệu độc lập theo từng nhóm để giảm khối lượng dữ liệu vận hành của hệ thống cần trao đổi.

Đối tượng nghiên cứu trong phạm vi của luận án bao gồm hai thành phần chính. Đầu tiên là hệ thống đa robot với kiến trúc điều khiển tập trung, số lượng phần tử robot lớn. Các phần tử robot có cấu tạo tương tự, có khả năng tự nhận thức môi trường, chia sẻ thông tin và thực thi các tác vụ độc lập thông qua di chuyển theo hành trình được thiết lập bởi trạm điều khiển trung tâm. Một biểu hiện rõ ràng của tác vụ độc lập là cặp vị trí điểm bắt đầu/ điểm đích đến khác nhau cho từng phần tử robot. Thành phần thứ hai là các thuật toán và mô hình toán học được tìm hiểu, khai thác và tập trung nghiên cứu. Chúng đa dạng về chủng loại, từ nhóm cổ điển (Dijkstra, A*, APF...) cho đến nhóm trí tuệ tập thể (ABC...) hoặc loại phân vùng, phân cụm.

Các phương pháp nghiên cứu đã sử dụng (đối với những phương pháp quen biết thì không cần giải thích)

Cách tiếp cận kết hợp nhiều phương pháp nghiên cứu trong quá trình thực hiện luận án. Cụ thể gồm:

- Tìm hiểu, khảo sát cơ sở lý thuyết về hệ thống đa robot, hoạch định đường đi, những phương pháp và kỹ thuật đã được công bố; đánh giá xu hướng nghiên cứu và nhìn nhận khoảng trống nghiên cứu để đưa định hướng cho luận văn.
- Sử dụng công cụ toán học để mô tả về giải pháp kỹ thuật đã đề xuất.
- Kết hợp phương pháp thử nghiệm thông qua xây dựng mô hình mô phỏng trên máy tính, sử dụng công cụ MATLAB, để kiểm chứng hoạt động của giải thuật thông qua

những kịch bản khác nhau. Phương pháp phân tích dữ liệu thống kê được sử dụng để hỗ trợ cho hoạt động đánh giá.

Các kết quả chính và kết luận

Luận án đã đạt được những kết quả nghiên cứu quan trọng đóng góp vào hoạch định đường đi cho hệ thống đa robot thông qua hai giải pháp cốt lõi: thuật toán hoạch định đường đi ElasticABC, một biến thể của thuật toán Tối ưu bầy ong, và phương pháp phân cụm động (DCM). Cụ thể, biến thể ElasticABC gồm tối ưu cấu trúc thông qua cặp toán tử đối ngẫu kết hợp với chiến lược khởi tạo phỏng đoán. Những cải tiến này giúp thuật toán cân bằng giữa khả năng khám phá và khai thác, tạo ra đường đi tự động điều chỉnh cấu trúc và số lượng điểm trung gian thay đổi để thích nghi với điều kiện môi trường. Kỹ thuật DeZigzagPath được phát triển để tích hợp cùng với ElasticABC, giúp loại bỏ hiện tượng gấp khúc cục bộ, nâng cao chất lượng hành trình tìm kiếm được và có tính khả thi cao cho thực tiễn vận hành. Song song đó, DCM được phát triển dựa trên cách tiếp cận phân cụm mềm sử dụng mô hình hỗn hợp Gauss, tạo ra mô hình phân bố xác suất linh hoạt và có khả năng chồng lấn giữa các cụm; số lượng phân tử robot được phân bố tương đối cân bằng và tự động trong từng cụm. Dữ liệu đầu vào của DCM là tập hợp điểm giao cắt của các hành trình của phân tử robot.

Hà Nội, ngày 29 tháng 06 năm 2026

NGHIÊN CỨU SINH
(Ký và ghi rõ họ, tên)

CÁN BỘ HƯỚNG DẪN
(Ký và ghi rõ họ, tên)

Trương Xuân Hùng

PGS. TS. Phạm Mạnh Thắng

XÁC NHẬN CỦA CƠ SỞ ĐÀO TẠO

THE ABSTRACT OF DOCTORAL THESIS

a) General Information

- Author: TRUONG XUAN HUNG
- Thesis Title: Research on Artificial Bee Colony Algorithm in Path Planning and Dynamic Clustering for Multi-Robot Systems
- Major: Engineering Mechanics Code: 9520101
- Institution: VNU University of Engineering and Technology, Vietnam National University, Hanoi

b) Abstract Content

Research Objectives and Subjects

The overarching purpose of this thesis is to address the dual challenges of path planning and operational management for large-scale multi-robot systems (MRS) consisting of ten or more units operating in complex environments. Specifically, the research focuses on two key contributions:

1. Developing a path planning framework based on the Artificial Bee Colony algorithm, which is designed to secure global optimality in trajectory generation while maintaining the requisite search flexibility to adapt to dynamic local variations.
2. Proposing a partitioning strategy to enhance system scalability. By subdividing the robot population into smaller clusters with localized data-sharing protocols, the system effectively reduces the total communication overhead and the volume of operational data required for real-time management.

The research subjects encompass two fundamental components. The first is centralized multi-robot systems characterized by a high density of homogeneous agents. These robots possess environmental awareness and the capacity for information exchange, enabling them to execute independent tasks, manifested by distinct start-and-goal configurations for each unit. The second component involves the mathematical models and algorithms investigated, ranging from classical methods to swarm intelligence-based approaches as well as specialized clustering or partitioning methodologies.

Research Methodology

The thesis employs an integrated research methodology, which includes:

A comprehensive theoretical survey of MRS and path planning to identify existing research gaps and establish a strategic research direction.

The utilization of mathematical tools to formalize the proposed technical solutions.

An evaluation approach involving computer-based simulations using MATLAB to validate algorithmic performance across diverse scenarios. Statistical analysis is further applied to substantiate the evaluation of the results.

Key Results and Conclusions

The thesis presents significant contributions to the field of MRS through two core solutions: the ElasticABC algorithm and the Dynamic Clustering Method (DCM). The ElasticABC variant introduces structural optimization framework characterized by a dual-operator pair combined with a heuristic initialization strategy. Those improvement enable the algorithm to effectively balance exploration and exploitation, allowing robot paths to autonomously adapt their own path structure and the number of waypoints to environmental constraints. Furthermore, the DeZigzagPath technique is successfully integrated with ElasticABC to eliminate local zigzag phenomenon, thereby enhancing trajectory quality and ensuring practical feasibility for real-world robotic operations. Concurrently, the DCM is developed to optimize system management through a soft clustering approach based on Gaussian Mixture Models. This method establishes a flexible probabilistic distribution that allows for overlapping cluster boundaries, ensuring that robotic agents are distributed across groups in a balanced and automated manner. The DCM utilizes the set of trajectory intersection points as its primary input data, allowing the system to partition the operational space based on the density of potential agent interactions.

Hanoi, June 29, 2026

PH.D. CANDIDATE
(Signature and full name)

SUPERVISOR
(Signature and full name)

Truong Xuan Hung

Assoc. Prof. Dr. Pham Manh Thang

CONFIRMATION FROM THE TRAINING UNIVERSITY