THÔNG TIN VỀ KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU

Tên luận án : Bài toán ngược vận động robot dạng người trong phân tích ổn định, tạo dáng và điều khiển ứng dụng mô hình mạng rơ-rôn MIMO NARX thích nghi

Chuyên ngành : Cơ kỹ thuật Mã số: 9520101

Họ & tên NCS : Trần Thiện Huân

Người hướng dẫn chính : PGS. TS. Hồ Phạm Huy Ánh

Người hướng dẫn phụ : TS. Phan Đức Huynh

Cơ sở đào tạo : Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp. HCM

1. Tóm tắt nội dung luận án

Hoạch định, tối ưu hóa và tạo dáng đi cho robot dạng người là nhằm làm cho robot đi được một cách tự nhiên và ổn định như con người. Hiện nay vẫn là bài toán khó do kỹ thuật hiện tại chưa tiếp cận được các đối tượng sinh học vô cùng phức tạp về kết cấu và tinh vi trong hoạt động. Tuy nhiên, nếu vấn đề này được xem xét từ quan điểm toán học thì hoạch định, tối ưu hóa và tạo dáng đi của robot dạng người trở thành vấn đề tối ưu có ràng buộc và phù hợp với các kỹ thuật tính toán tối ưu.

Trong luận án này, tác giả thực hiện nghiên cứu và phát triển bộ tạo dáng đi (Walking Pattern Generator - WPG) phụ thuộc 4 thông số của Dip (chiều dài bước - S, độ nhấc chân - H, độ khuyụ gối - h và độ lắc hông - n) kết hợp các phương pháp tối ưu hóa ngẫu nhiên (meta-heuristic optimization approaches) và mô hình mạng nơ-rôn tiến hóa thích nghi (Adaptive Evolutionary Neural Model - AENM) để robot dạng người bước đi ổn định và tự nhiên như con người.

Cụ thể, luận án được chia làm 5 chương có nội dung như sau:

- *Chương 1: Nghiên cứu tổng quan.*
- *Chương 2: Tối ưu hóa dáng đi cho robot dạng người kích thước nhỏ bước đi ổn định với độ nhấc chân mong muốn sử dụng thuật toán tiến hóa vi sai cải tiến (MDE).* Chương này đề xuất phương pháp mới tối ưu hóa một số thông số dáng đi cho robot dạng người cho phép bước đi ổn định với độ nhấc chân được cài

đặt trước. Thuật toán tiến hóa vi sai cải tiến (MDE-Modified Differential Evolution) được sử dụng để tối ưu các thông số dáng đi giúp robot dạng người bước đi ổn định. Hiệu quả của phương pháp đề xuất được so sánh với kỹ thuật tối ưu dáng đi dùng thuật toán di truyền (GA-Genetic Algorithm) và thuật toán bầy đàn (PSO-Particle Swarm Optimization). Kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên robot dạng người kích thước nhỏ (HUBOT-5) chứng tỏ thuật toán đề xuất bảo đảm dáng đi ổn định cho robot dạng người với độ nhấc chân chính xác.

- *Chương 3: Tạo dáng đi thích nghi cho robot dạng người bước đi ổn định sử dụng mô hình mạng nơ-rôn tiến hóa thích nghi (AENM) được tối ưu bởi thuật toán tiến hóa vi sai cải tiến (MDE).* Chương này giới thiệu một hướng mới để tạo dáng và điều khiển robot dạng người với mục tiêu bước đi ổn định và tự nhiên trên bề mặt bằng phẳng. Đề xuất áp dụng thuật toán tiến hóa vi sai cải tiến (MDE – Modified Differential Evolution) tối ưu bộ trọng số của mô hình mạng nơ-rôn tiến hóa thích nghi (AENM – Adaptive Evolutionary Neural Model) để nhận dạng các thông số dáng đi của bộ tạo dáng (WPG – Walking Pattern Generator) giúp robot dạng người bám theo quỹ đạo ZMP (Zero Moment Point) mong muốn. Hiệu quả của đề xuất MDE được so sánh với thuật toán PSO (Particle Swarm Optimisation) và GA (Genetic Algorithm). Phương pháp đề xuất được kiểm chứng trên mẫu thử robot dạng người kích thước nhỏ HUBOT-5. Kết quả nhận dạng chứng minh rằng phương pháp đề xuất (MDE-AENM) hiệu quả trong việc tạo dáng đi bền vững và chính xác.
- *Chương 4:* Hoạch định dáng đi tự nhiên cho robot dạng người. Chương này giới thiệu hướng tiếp cận mới cho phép phát ra quỹ đạo bước đi tự nhiên ổn định áp dụng cho robot dạng người kích thước nhỏ. Các thông số chính được chọn thể hiện các ràng buộc từ tọa độ mong muốn của bàn chân, đầu gối và hông tuân thủ nguyên lý ổn định ZMP. Từ đó quỹ đạo ổn định hoàn chỉnh của bàn chân, đầu gối và hông được hình thành. Dựa trên bộ thông số chủ chốt này, dùng phép biến đổi động học ngược của robot dạng người, các kiểu quỹ đạo bước đi

tự nhiên ổn định khác nhau sẽ được xây dựng, qua đó cho phép điều khiển robot dạng người kích thước nhỏ bước đi tự nhiên ổn định thỏa mãn nguyên lý ổn định ZMP thể hiện qua góc quay đồng bộ phù hợp cho từng khớp. Các kết quả mô phỏng trên mô hình robot dạng người kích thước nhỏ (HUBOT-4) được thực hiện khẳng định tính khả thi và hiệu quả của phương pháp hoạch định được đề xuất.

- *Chương 5:* Kết luận và kiến nghị.

2. Những đóng góp mới của luận án

- *Một là*, Dip đã đề xuất bộ tạo dáng (WPG) phụ thuộc 4 thông số (S, H, h, n) và thực hiện tối ưu 4 thông số của bộ tạo dáng (WPG) để robot dạng người (kích thước nhỏ) bước đi ổn định với vận tốc nhanh nhất có thể sử dụng thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA). Tuy nhiên, để bắt chước dáng đi của con người thì robot dạng người phải kiểm soát được độ nhấc chân. Vì vậy, tác giả tiếp tục thực hiện tối ưu 4 thông số dáng đi (S, H, h, n) của bộ tạo dáng (WPG) để robot dạng người bước đi ổn định với độ nhấc chân mong muốn sử dụng các phương pháp tối ưu hóa ngẫu nhiên. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm trên mô hình robot dạng người kích thước nhỏ HUBOT-5 chứng minh đề xuất của luận án là khả thi.
- *Hai là*, trong quá trình robot dạng người bước đi thì 4 thông số của bộ tạo dáng (WPG) của Dip là không đổi. Điều này làm cho robot dạng người khó thực hiện bước đi ổn định và tự nhiên với 1 quỹ đạo ZMP (Zero Momen Point) mong muốn. Để vượt qua khó khăn này, tác giả thực hiện nhận dạng và điều khiển 4 thông số của bộ tạo dáng (WPG) này sử dụng mô hình mạng nơ-rôn tiến hóa thích nghi (AENM) được tối ưu bởi thuật toán tiến hóa vi sai cải tiến (MDE). Kết quả mô phỏng trên mô hình robot dạng người kích thước nhỏ HUBOT-5 chứng minh đề xuất của luận án là khả thi.
- *Ba là*, bộ tạo dáng (WPG) phụ thuộc 4 thông số (S, H, h, n) của Dip được đề xuất chỉ áp dụng cho robot dạng người trong giai đoạn bước đi và thiếu giai

đoạn chuẩn bị và giai đoạn kết thúc. Để bổ sung, tác giả tiếp tục hoàn thiện bộ tạo dáng đi (WPG) của Dip với đầy đủ 3 giai đoạn như mong muốn với tên gọi là bộ tạo mẫu đi bộ tự nhiên (N-WPG). Kết quả mô phỏng trên mô hình robot dạng người kích thước nhỏ HUBOT-4 chứng minh đề xuất của luận án là khả thi.

Tp. Hồ Chí Minh, ngày 20 tháng 09 năm 2019

Nghiên cứu sinh
(Ký & ghi rõ họ tên)

INFORMATION OF RESEARCH RESULTS

Dissertation title	: Inverse problem of motion humanoid robot in stable analysis, gait generation and controlling application of adaptive NARX MIMO neural network model
Major	: Engineering Mechanics Major code: 9520101
PhD candidate	: Tran Thien Huan
Supervisor one	: Assoc. Prof. Dr. Ho Pham Huy Anh
Supervisor two	: Dr. Phan Duc Huynh
Training facilities	: HCMC University of Technology and Education

1. Thesis summary

Humanoid robot motion planning, optimization and gait generation is to make the robot walk naturally and stably as humans. Up to now it has been a difficult problem since the current technology has not yet reached the biological objects with highly complicated structure and sophisticated operation. However, under mathematical viewpoint the task of humanoid robot motion planning, optimization and gait generation is investigated as an optimization problem with respect to various trade-off constraints, hence it refers to evolutionary computation techniques.

In this thesis, the author performs the research and development of Walking Pattern Generator (WPG) depending on 4 parameters of Dip (*S*- step length, *h*- leg displacement, *H*- height of swing ankle, *n*- hip displacement) combining meta-heuristic optimization approaches and Adaptive Evolutionary Neural Model (AENM) for humanoid robot to move smoothly and naturally as humans.

This thesis contains 5 principal chapters:

- *Chapter 1: Overview and thesis tasks.*
- *Chapter 2: Optimal Stable Gait for Small-Sized Humanoid Robot Using Modified Differential Evolution Algorithm.* This chapter proposes a new method to optimize the gait design for humanoid robots that allows stable walking with pre-set foot lifting magnitude. Modified Differential Evolution (MDE) algorithm is applied to optimize the gait parameters as to help humanoid robot walk steadily. The efficiency of the proposed method is compared with the GA-Genetic Algorithm and PSO-Particle

Swarm Optimization algorithm. The simulated and experimental results carried out on the small-sized humanoid robot (HUBOT-5) prove that the proposed algorithm offers an efficient and stable gait for humanoid robots with accurate height lifting magnitude.

- *Chapter 3: Adaptive gait generation for humanoid robot using evolutionary neural model optimized with modified differential evolution technique.* This chapter introduces a novel approach for the biped robot gait generation which aims to enable humanoid robot to walk more naturally and stably on flat platform. The proposed modified differential evolution (MDE) optimisation algorithm is initiatively applied to optimally identify the novel adaptive evolutionary neural model (AENM) for a dynamic biped gait generator. The performance of proposed MDE method is demonstrated in comparison with other genetic algorithm (GA) and particle swarm optimisation (PSO) approaches. The proposed method is implemented and tested on a prototype small-sized humanoid robot. The identification result demonstrates that the new proposed neural AENM model proves an effective approach for a robust and precise biped gait generation.
- *Chapter 4:* Planning natural walking gait for humanoid robots. This chapter introduces an offline nature-walking gait trajectory generation which is initially applied to our small-sized biped robot HUBOT-4. The chosen parameters with constraints for foot, knee and hip motions are formulated based on ZMP stable criterion. Hence the foot, hip and knee trajectories are planned and generated. Based on these principal parameters, through the biped inverse kinetics, different gait trajectories were successfully produced, and thus the resulted motion which satisfies stable ZMP constraints is finally chosen for deriving the joint actuators of the small-sized biped robot HUBOT-4. The simulation tests were performed to prove the possibility and the efficiency of the proposed planning method.
- *Chapter 5: Results and Conclusions*.

2. The new contributions of the thesis

- *Firstly*, Dip proposed WPG depending on 4 parameters (S, H, h, n) and made optimal 4 parameters of WPG for the small-sized humanoid robot stable movement with the

fastest possible speed using genetic algorithms (Genetic Algorithm-GA). However, in order to catch people's gaits, humanoid robots have to control their foot-lifting. Therefore, the author continues to optimize the four gait parameters (S, H, h, n) of the WPG that permits the biped robot able to stably and naturally walking with pre-set foot-lifting magnitude using meta-heuristic optimization approaches. Simulation and experimental results on small-sized human robot model (HUBOT-5) prove that the thesis's proposal is feasible.

- *Secondly*, while the human robot walks, the 4 parameters of the WPG of Dip are unchanged. This makes robot humanoid difficult to perform a stable and natural walk with a desired ZMP trajectory (Zero Momen Point). To overcome this challenge, the author identifies and controls these 4 parameters of the WPG using adaptive evolutionary neural model (AENM) optimized Modified Differential Evolution (MDE). Simulation results on the small-sized human robot models (HUBOT-5) prove the thesis's proposal is feasible.
- *Thirdly*, the WPG depending on the 4 parameters (S, H, h, n) of the Dip proposed is only applicable to humanoid robots in the stepping stage and lacks of preparation and end stages. In order to overcome these problems, the author continues to complete WPG of Dip with full 3 stages as desired with the name of a Natural Walking Pattern Generator (N-WPG). Simulation results on the small-sized human robot models (HUBOT-4) proves that the thesis's proposal is feasible.

Ho Chi Minh City, September 20, 2019

PhD candidate