

BÁO CÁO MÔN HỌC CÔNG NGHỆ TÍNH TOÁN MỀM

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN FUZZY CHO HỆ CẦN TRỰC

Ngành: Robot và trí tuệ nhân tạo

Lớp: 22DRTA1

GIẢNG VIÊN : THS. NGÔ AN THUYỀN

Sinh viên thực hiện:	MSSV:	Lớp:
Nguyễn Văn Đạt	2286300010	22DRTA1
Huỳnh Long	2286300028	22DRTA1
Nguyễn Chấn Huy	2286300020	22DRTA1

TP. Hồ Chí Minh, ngày 7 tháng 1 năm 2024

BÁO CÁO MÔN HỌC

CÔNG NGHỆ TÍNH TOÁN MỀM

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN FUZZY

CHO HỆ CẢN TRỰC

Ngành: Robot và trí tuệ nhân tạo

Lớp: 22DRTA1

GIẢNG VIÊN : THS. NGÔ AN THUYỀN

Sinh viên thực hiện:	MSSV:	Lớp:
Nguyễn Văn Đạt	2286300010	22DRTA1
Huỳnh Long	2286300028	22DRTA1
Nguyễn Chấn Huy	2286300020	22DRTA1

TP. Hồ Chí Minh, ngày 7 tháng 1 năm 2024

Ngày giao đề tài: 10 /12 / 2024

Ngày nộp báo cáo: 7 / 1 / 2024

Sinh viên thực hiện

TP. HCM, ngày ... tháng ... năm

(Ký và ghi rõ họ tên các thành viên)

Giảng viên hướng dẫn

(Ký và ghi rõ họ tên)

Nguyễn Văn Đạt

Ngô An Thuyên

Nguyễn Chấn Huy

Huỳnh Long

VIỆN KỸ THUẬT HUTECH

PHIẾU CHẤM ĐIỂM

HỌC PHẦN CÔNG NGHỆ TÍNH TOÁN MỀM

6. **Họ và tên sinh viên:** Nguyễn Văn Đạt

Lớp : 22DRTA1

MSSV: 2286300010

Ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

Chuyên ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

7. **Họ và tên giảng viên hướng dẫn (GVHD):** Ngô An Thuyên

8. **Họ và tên giảng viên phản biện (GVPB):**

9. **Đánh giá kết quả theo thang điểm 10 (Ghi rõ điểm số và điểm chữ)**

CĐR	Tiêu chí đánh giá (trọng số)	Mức chất lượng (≥ 4 : đạt)					Điểm	
		Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVHD (50%)	GVPB (50%)
CLO4: Khả năng lắng nghe và đặt câu hỏi hợp lý trong các buổi thảo luận về công nghệ tính toán mềm, giải thích và làm rõ các khái niệm, phương pháp và ứng dụng của các thuật toán tính toán mềm như logic mờ, mạng nơ-ron nhân tạo, thuật toán di	Hình thức – nội dung báo cáo (10%)	Đáp ứng dưới 30% yêu cầu	Đáp ứng 30% - dưới 50% yêu cầu	Đáp ứng 50% - dưới 70% yêu cầu	Đáp ứng 70% - dưới 80% yêu cầu	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu		
	Trả lời câu hỏi và trao đổi trong phần thảo luận. (10%)	Không trả lời đúng câu hỏi nào	Trả lời đúng dưới 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng trên 2/3 số câu hỏi	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu Trả lời đúng tất cả các câu hỏi		

truyền, và các phương pháp tối ưu hóa mềm.								
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 1: Phân tích các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm cần thiết (30%)	Không phân tích được các thành phần hoặc giải pháp công nghệ tính toán mềm. Bài làm thiếu rõ ràng, không liên kết hoặc sai lệch nghiêm trọng với yêu cầu đề bài.	Phân tích một số thành phần cơ bản nhưng còn thiếu nhiều nội dung quan trọng. Các giải pháp công nghệ chưa được đề cập đầy đủ hoặc chưa có sự giải thích rõ ràng, logic yếu.	Phân tích được các thành phần chính, nhưng một số nội dung phụ trợ chưa hoàn thiện. Các giải pháp công nghệ được đề cập nhưng thiếu đánh giá chi tiết về tính phù hợp hoặc hiệu quả.	Phân tích khá đầy đủ và có hệ thống các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Các nội dung có sự giải thích rõ ràng, logic chặt chẽ, chỉ thiếu một số chi tiết nhỏ.	Phân tích toàn diện, đầy đủ và chính xác các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Nội dung có sự đánh giá sâu sắc về tính hiệu quả, phù hợp và liên kết chặt chẽ giữa các yếu tố.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 2: Thiết kế giải pháp sử dụng tính toán mềm cho bài toán điều khiển hoặc nhận dạng/ phân loại (20%)	Không đề xuất được giải pháp hoặc giải pháp không liên quan đến bài toán điều khiển/nhận dạng. Các bước thiết kế không rõ ràng, không có tính thực tiễn hoặc thiếu tầm trọng dữ liệu	Đề xuất giải pháp nhưng không đầy đủ hoặc không phù hợp với bài toán. Mô tả thiết kế sơ sài, không có cơ sở lý thuyết vững chắc hoặc thiếu giải thích về vai trò của tính toán mềm.	Đề xuất giải pháp phù hợp với bài toán, nhưng thiếu một số thành phần quan trọng. Có sử dụng tính toán mềm nhưng chưa tối ưu hoặc mô tả các bước thực hiện chưa rõ ràng.	Thiết kế giải pháp rõ ràng, đầy đủ các bước và phù hợp với bài toán. Giải thích được cách ứng dụng tính toán mềm và cho thấy sự hiệu quả trong điều khiển/nhận dạng hoặc phân loại.	Giải pháp thiết kế sáng tạo, toàn diện và chi tiết. Mô tả đầy đủ cách ứng dụng tính toán mềm, có đánh giá rõ ràng về hiệu quả và khả năng mở rộng. Cung cấp các ví dụ minh họa phù hợp.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào	Nội dung chính 3: Đánh giá chất lượng và hiệu quả	Không thực hiện được đánh giá hoặc đánh giá sai lệch, không phù hợp với mục tiêu đề tài. Không có minh chứng cụ thể hoặc logic yếu, thiếu phân	Đánh giá còn chung chung, chưa đầy đủ hoặc không dựa trên các tiêu chí cụ thể. Các phân tích chưa logic, minh	Thực hiện được đánh giá cơ bản về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Có minh chứng nhưng chưa toàn diện.	Đánh giá rõ ràng, có hệ thống và dựa trên các tiêu chí cụ thể. Phân tích chất lượng và hiệu quả của đề tài với	Đánh giá toàn diện, sâu sắc và chi tiết về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Kết luận được minh họa		

một ứng dụng thực tế	của đề tài (30%)	tích chất lượng và hiệu quả.	chứng yếu và thiếu cơ sở thực tiễn. Chỉ nêu được một số điểm bề mặt.	Các tiêu chí đánh giá được đề cập nhưng thiếu chiều sâu phân tích hoặc cụ thể hóa.	các minh chứng thuyết phục, nhưng còn thiếu một vài khía cạnh phụ trợ.	bằng các dữ liệu cụ thể, có phân tích logic và các đề xuất cải thiện giá trị thực tiễn.		
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								
CĐR	Tiêu chí	Mức chất lượng (≥ 4: đạt)					Điểm	
	đánh giá (trọng số)	Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVH D (50%)	GVPB (50%)
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								

TP. HCM, ngày 10 tháng 12 năm 2024.

Giảng viên hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

TP. HCM, ngày 7 tháng 1 năm 2025.

Giảng viên phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

VIỆN KỸ THUẬT HUTECH

PHIẾU CHẤM ĐIỂM

HỌC PHẦN CÔNG NGHỆ TÍNH TOÁN MỀM

10. **Họ và tên sinh viên:** Huỳnh Long

Lớp : 22DRTA1

MSSV: 2286300028

Ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

Chuyên ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

11. **Họ và tên giảng viên hướng dẫn (GVHD):** Ngô An Thuyên

12. **Họ và tên giảng viên phản biện (GVPB):**

13. **Đánh giá kết quả theo thang điểm 10 (Ghi rõ điểm số và điểm chữ)**

CĐR	Tiêu chí đánh giá (trọng số)	Mức chất lượng (≥ 4 : đạt)					Điểm	
		Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVHD (50%)	GVPB (50%)
CLO4: Khả năng lắng nghe và đặt câu hỏi hợp lý trong các buổi thảo luận về công nghệ tính toán mềm, giải thích và làm rõ các khái niệm, phương pháp và ứng dụng của các thuật toán tính toán mềm như logic mờ, mạng nơ-ron nhân tạo, thuật toán di truyền, và	Hình thức – nội dung báo cáo (10%)	Đáp ứng dưới 30% yêu cầu	Đáp ứng 30% - dưới 50% yêu cầu	Đáp ứng 50% - dưới 70% yêu cầu	Đáp ứng 70% - dưới 80% yêu cầu	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu		
	Trả lời câu hỏi và trao đổi trong phần thảo luận. (10%)	Không trả lời đúng câu hỏi nào	Trả lời đúng dưới 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng trên 2/3 số câu hỏi	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu Trả lời đúng tất cả các câu hỏi		

các phương pháp tối ưu hóa mềm.								
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 1: Phân tích các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm cần thiết (30%)	Không phân tích được các thành phần hoặc giải pháp công nghệ tính toán mềm. Bài làm thiếu rõ ràng, không liên kết hoặc sai lệch nghiêm trọng với yêu cầu đề bài.	Phân tích một số thành phần cơ bản nhưng còn thiếu nhiều nội dung quan trọng. Các giải pháp công nghệ chưa được đề cập đầy đủ hoặc chưa có sự giải thích rõ ràng, logic yếu.	Phân tích được các thành phần chính, nhưng một số nội dung phụ trợ chưa hoàn thiện. Các giải pháp công nghệ được đề cập nhưng thiếu đánh giá chi tiết về tính phù hợp hoặc hiệu quả.	Phân tích khá đầy đủ và có hệ thống các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Các nội dung có sự giải thích rõ ràng, logic chặt chẽ, chỉ thiếu một số chi tiết nhỏ.	Phân tích toàn diện, đầy đủ và chính xác các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Nội dung có sự đánh giá sâu sắc về tính hiệu quả, phù hợp và liên kết chặt chẽ giữa các yếu tố.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 2: Thiết kế giải pháp sử dụng tính toán mềm cho bài toán điều khiển hoặc nhận dạng/ phân loại (20%)	Không đề xuất được giải pháp hoặc giải pháp không liên quan đến bài toán điều khiển/nhận dạng. Các bước thiết kế không rõ ràng, không có tính thực tiễn hoặc thiếu tầm trọng dữ liệu	Đề xuất giải pháp nhưng không đầy đủ hoặc không phù hợp với bài toán. Mô tả thiết kế sơ sài, không có cơ sở lý thuyết vững chắc hoặc thiếu giải thích về vai trò của tính toán mềm.	Đề xuất giải pháp phù hợp với bài toán, nhưng thiếu một số thành phần quan trọng. Có sử dụng tính toán mềm nhưng chưa tối ưu hoặc mô tả các bước thực hiện chưa rõ ràng.	Thiết kế giải pháp rõ ràng, đầy đủ các bước và phù hợp với bài toán. Giải thích được cách ứng dụng tính toán mềm và cho thấy sự hiệu quả trong điều khiển/nhận dạng hoặc phân loại.	Giải pháp thiết kế sáng tạo, toàn diện và chi tiết. Mô tả đầy đủ cách ứng dụng tính toán mềm, có đánh giá rõ ràng về hiệu quả và khả năng mở rộng. Cung cấp các ví dụ minh họa phù hợp.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào	Nội dung chính 3: Đánh giá chất lượng và hiệu quả của đề tài (30%)	Không thực hiện được đánh giá hoặc đánh giá sai lệch, không phù hợp với mục tiêu đề tài. Không có minh chứng cụ thể hoặc logic yếu, thiếu phân	Đánh giá còn chung chung, chưa đầy đủ hoặc không dựa trên các tiêu chí cụ thể. Các phân tích chưa logic, minh chứng yếu và	Thực hiện được đánh giá cơ bản về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Có minh chứng nhưng chưa toàn diện. Các tiêu chí	Đánh giá rõ ràng, có hệ thống và dựa trên các tiêu chí cụ thể. Phân tích chất lượng và hiệu quả của đề tài với các minh	Đánh giá toàn diện, sâu sắc và chi tiết về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Kết luận được minh họa bằng các dữ		

một ứng dụng thực tế		tích chất lượng và hiệu quả.	thiếu cơ sở thực tiễn. Chỉ nêu được một số điểm bề mặt.	Đánh giá được đề cập nhưng thiếu chiều sâu phân tích hoặc cụ thể hóa.	chứng thuyết phục, nhưng còn thiếu một vài khía cạnh phụ trợ.	liệu cụ thể, có phân tích logic và các đề xuất cải thiện giá trị thực tiễn.		
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								
CDR	Tiêu chí	Mức chất lượng (≥ 4: đạt)					Điểm	
	đánh giá (trọng số)	Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVH D (50%)	GVPB (50%)
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								

TP. HCM, ngày 10 tháng 12 năm 2024.

Giảng viên hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

TP. HCM, ngày 7 tháng 1 năm 2025..

Giảng viên phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

VIỆN KỸ THUẬT HUTECH

PHIẾU CHẤM ĐIỂM

HỌC PHẦN CÔNG NGHỆ TÍNH TOÁN MỀM

14. **Họ và tên sinh viên:** Nguyễn Chấn Huy

Lớp : 22DRTA1

MSSV: 2286300020

Ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

Chuyên ngành : Robot và trí tuệ nhân tạo

15. **Họ và tên giảng viên hướng dẫn (GVHD):** Ngô An Thuyên

16. **Họ và tên giảng viên phản biện (GVPB):**

17. **Đánh giá kết quả theo thang điểm 10 (Ghi rõ điểm số và điểm chữ)**

CĐR	Tiêu chí đánh giá (trọng số)	Mức chất lượng (≥ 4 : đạt)					Điểm	
		Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVHD (50%)	GVPB (50%)
CLO4: Khả năng lắng nghe và đặt câu hỏi hợp lý trong các buổi thảo luận về công nghệ tính toán mềm, giải thích và làm rõ các khái niệm, phương pháp và ứng dụng của các thuật toán tính toán mềm như logic mờ, mạng nơ-ron nhân tạo, thuật toán di	Hình thức – nội dung báo cáo (10%)	Đáp ứng dưới 30% yêu cầu	Đáp ứng 30% - dưới 50% yêu cầu	Đáp ứng 50% - dưới 70% yêu cầu	Đáp ứng 70% - dưới 80% yêu cầu	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu		
	Trả lời câu hỏi và trao đổi trong phần thảo luận. (10%)	Không trả lời đúng câu hỏi nào	Trả lời đúng dưới 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng 1/2 số câu hỏi	Trả lời đúng trên 2/3 số câu hỏi	Đáp ứng 80% - 100% yêu cầu Trả lời đúng tất cả các câu hỏi		

truyền, và các phương pháp tối ưu hóa mềm.								
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 1: Phân tích các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm cần thiết (30%)	Không phân tích được các thành phần hoặc giải pháp công nghệ tính toán mềm. Bài làm thiếu rõ ràng, không liên kết hoặc sai lệch nghiêm trọng với yêu cầu đề bài.	Phân tích một số thành phần cơ bản nhưng còn thiếu nhiều nội dung quan trọng. Các giải pháp công nghệ chưa được đề cập đầy đủ hoặc chưa có sự giải thích rõ ràng, logic yếu.	Phân tích được các thành phần chính, nhưng một số nội dung phụ trợ chưa hoàn thiện. Các giải pháp công nghệ được đề cập nhưng thiếu đánh giá chi tiết về tính phù hợp hoặc hiệu quả.	Phân tích khá đầy đủ và có hệ thống các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Các nội dung có sự giải thích rõ ràng, logic chặt chẽ, chỉ thiếu một số chi tiết nhỏ.	Phân tích toàn diện, đầy đủ và chính xác các thành phần và giải pháp công nghệ tính toán mềm. Nội dung có sự đánh giá sâu sắc về tính hiệu quả, phù hợp và liên kết chặt chẽ giữa các yếu tố.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào một ứng dụng thực tế	Nội dung chính 2: Thiết kế giải pháp sử dụng tính toán mềm cho bài toán điều khiển hoặc nhận dạng/ phân loại (20%)	Không đề xuất được giải pháp hoặc giải pháp không liên quan đến bài toán điều khiển/nhận dạng. Các bước thiết kế không rõ ràng, không có tính thực tiễn hoặc thiếu tầm trọng dữ liệu	Đề xuất giải pháp nhưng không đầy đủ hoặc không phù hợp với bài toán. Mô tả thiết kế sơ sài, không có cơ sở lý thuyết vững chắc hoặc thiếu giải thích về vai trò của tính toán mềm.	Đề xuất giải pháp phù hợp với bài toán, nhưng thiếu một số thành phần quan trọng. Có sử dụng tính toán mềm nhưng chưa tối ưu hoặc mô tả các bước thực hiện chưa rõ ràng.	Thiết kế giải pháp rõ ràng, đầy đủ các bước và phù hợp với bài toán. Giải thích được cách ứng dụng tính toán mềm và cho thấy sự hiệu quả trong điều khiển/nhận dạng hoặc phân loại.	Giải pháp thiết kế sáng tạo, toàn diện và chi tiết. Mô tả đầy đủ cách ứng dụng tính toán mềm, có đánh giá rõ ràng về hiệu quả và khả năng mở rộng. Cung cấp các ví dụ minh họa phù hợp.		
CLO5: Lựa chọn và thiết kế giải pháp sử dụng công nghệ tính toán mềm phù hợp, áp dụng vào	Nội dung chính 3: Đánh giá chất lượng và hiệu quả	Không thực hiện được đánh giá hoặc đánh giá sai lệch, không phù hợp với mục tiêu đề tài. Không có minh chứng cụ thể hoặc logic yếu, thiếu phân	Đánh giá còn chung chung, chưa đầy đủ hoặc không dựa trên các tiêu chí cụ thể. Các phân tích chưa logic, minh	Thực hiện được đánh giá cơ bản về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Có minh chứng nhưng chưa toàn diện.	Đánh giá rõ ràng, có hệ thống và dựa trên các tiêu chí cụ thể. Phân tích chất lượng và hiệu quả của đề tài với	Đánh giá toàn diện, sâu sắc và chi tiết về chất lượng và hiệu quả của đề tài. Kết luận được minh họa		

một ứng dụng thực tế	của đề tài (30%)	tích chất lượng và hiệu quả.	chứng yếu và thiếu cơ sở thực tiễn. Chỉ nêu được một số điểm bề mặt.	Các tiêu chí đánh giá được đề cập nhưng thiếu chiều sâu phân tích hoặc cụ thể hóa.	các minh chứng thuyết phục, nhưng còn thiếu một vài khía cạnh phụ trợ.	bằng các dữ liệu cụ thể, có phân tích logic và các đề xuất cải thiện giá trị thực tiễn.		
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								
CĐR	Tiêu chí	Mức chất lượng (≥ 4: đạt)					Điểm	
	đánh giá (trọng số)	Mức F (0-3.9)	Mức D (4.0-5.4)	Mức C (5.5-6.9)	Mức B (7.0-8.4)	Mức A (8.5-10)	GVH D (50%)	GVPB (50%)
TỔNG CỘNG:								
ĐIỂM TRUNG BÌNH								

TP. HCM, ngày 10 tháng 12 năm 2024.

Giảng viên hướng dẫn
(Ký và ghi rõ họ tên)

TP. HCM, ngày 7 tháng 1 năm 2025.

Giảng viên phản biện
(Ký và ghi rõ họ tên)

MỤC LỤC

Chương 1: Tổng quan	2
1.1. Giới thiệu về hệ cần trục	2
1.2. Các đặc tính và ứng dụng của hệ cần trục	3
1.3. Các bài toán điều khiển cho hệ cần trục	4
Chương 2: Cơ sở lý thuyết	7
2.1. Mô hình động học của hệ cần trục	7
2.2. Tổng quan về điều khiển Fuzzy Logic	8
2.3. Các phương pháp điều khiển khác và ưu điểm của Fuzzy Logic	9
Chương 3: Phân tích bài toán	11
3.1. Các thông số hệ thống	11
3.2. Đặc tính động lực học của hệ cần trục	11
3.3. Phân tích trạng thái cân bằng và dao động của hệ cần trục	11
3.4. Các yêu cầu về bám vị trí và độ ổn định	12
Chương 4: Thiết kế bộ điều khiển PD Fuzzy	13
4.1. Mô tả hệ thống	13
4.2. Cấu trúc bộ điều khiển Fuzzy cho hệ cần trục	13
4.3. Nguyên lý điều khiển	15
4.4. Xây dựng bảng luật	18
4.5. Điều chỉnh thông số điều khiển dựa vào giải thuật di truyền	20
Chương 5: Mô phỏng và đánh giá kết quả	29
5.1. Mô phỏng hệ thống bằng phần mềm MATLAB/Simulink	29
5.2. Đánh giá kết quả điều khiển theo tiêu chí thời gian đáp ứng và độ dao động	29
Chương 6: Kết luận và hướng phát triển	30
6.1. Kết luận về kết quả đạt được	30
6.2. Hạn chế của nghiên cứu	31
6.3. Đề xuất hướng phát triển	31
Tài liệu tham khảo	32

Mục lục hình ảnh

Hình 1. Mô hình và thông số của hệ cần trục	12
Hình 2. Mô tả cấu trúc hệ thống bộ điều khiển mờ PD Fuzzy	14
Hình 3. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e trước khi dùng GA	17
Hình 4. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e_dot trước khi dùng GA	18
Hình 5. biểu diễn fuzzy biến đầu ra u trước khi dùng GA	18
Hình 6. Lưu đồ giải thuật di truyền GA	22
Hình 7. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e sau khi dùng GA	23
Hình 8. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e_dot sau khi dùng GA	24
Hình 9. biểu diễn fuzzy biến đầu ra u sau khi dùng GA	26
Hình 10. Biểu diễn hội tụ thuật toán di truyền	27
Hình 11. Biểu diễn sự thay đổi fitness function trong GA	28
Hình 12. Kết quả mô phỏng trước khi dùng GA	30
Hình 13. Kết quả mô phỏng sau khi dùng GA	30

Chương 1: Tổng quan

1.1. Giới thiệu về hệ cần trục

Hệ cần trục là một hệ thống cơ điện tiêu biểu, thường được sử dụng để mô phỏng và nghiên cứu trong các bài toán điều khiển tự động. Đây là một hệ phi tuyến điển hình với đặc điểm là sự kết hợp giữa chuyển động tuyến tính của xe và sự dao động góc của thanh cần nối với vật nặng.

Hệ cần trục bao gồm các thành phần chính:

- Xe di chuyển: Xe được đặt trên một đường ray thẳng và có khả năng di chuyển dọc theo trục ngang, đóng vai trò cung cấp lực để điều khiển hệ.
- Thanh cần: Thanh cần nối giữa xe và vật nặng, có khả năng dao động tự do quanh trục treo trên xe.
- Vật nặng: Vật được gắn ở cuối thanh cần, thường được sử dụng để đại diện cho tải trọng trong các ứng dụng thực tế.

Hệ cần trục thường được nghiên cứu với các mục tiêu như:

- Điều khiển vị trí: Điều khiển xe di chuyển đến một vị trí mong muốn với sai số nhỏ nhất.
- Giảm dao động: Duy trì thanh cần trong trạng thái cân bằng với độ dao động nhỏ nhất trong suốt quá trình di chuyển.

Hệ cần trục được ứng dụng trong các lĩnh vực công nghiệp và tự động hóa như:

- Vận hành cầu trục trong các bến cảng và kho bãi.
- Thiết kế thiết bị nâng hạ hàng hóa trong nhà máy sản xuất.
- Nghiên cứu và phát triển các phương pháp điều khiển tiên tiến như điều khiển mờ (Fuzzy Logic), điều khiển tối ưu, và điều khiển thích nghi.

Tìm hiểu về hệ cần trục không chỉ có ý nghĩa thực tiễn trong các ứng dụng công nghiệp mà còn mang lại giá trị khoa học cao, đặc biệt trong việc kiểm chứng các thuật toán điều khiển mới trong hệ phi tuyến phức tạp.

1.2. Các đặc tính và ứng dụng của hệ cần trục

Đặc tính của hệ cần trục:

- Hệ phi tuyến:
 - + Hệ cần trục là một hệ thống phi tuyến, do đó, các phương trình mô tả động học và động lực học của nó không đơn giản và yêu cầu các phương pháp điều khiển tiên tiến để xử lý.
 - + Sự kết hợp giữa chuyển động tuyến tính của xe và dao động góc của thanh cần tạo ra một bài toán phức tạp về điều khiển và ổn định.
- Sự tương tác giữa các thành phần:
 - + Chuyển động của xe tác động trực tiếp đến trạng thái cân bằng của thanh cần và vật nặng, dẫn đến hiện tượng dao động nếu không được điều khiển phù hợp.
 - + Ngược lại, trạng thái dao động của thanh cần và vật nặng có thể ảnh hưởng đến khả năng điều khiển vị trí của xe.
- Tính bất định:
 - + Các thông số như khối lượng vật nặng, chiều dài thanh cần, và ma sát có thể thay đổi trong quá trình vận hành, gây ra thách thức trong việc thiết kế bộ điều khiển.
- Độ nhạy với nhiễu:
 - + Hệ cần trục dễ bị ảnh hưởng bởi nhiễu từ môi trường, chẳng hạn như lực gió hoặc các dao động từ nguồn tác động bên ngoài, dẫn đến khó khăn trong việc duy trì ổn định hệ thống.

Ứng dụng của hệ cần trục:

- Trong công nghiệp:
 - + Hệ cần trục được sử dụng rộng rãi trong các cầu trục tại bến cảng, nhà máy và kho bãi để vận chuyển hàng hóa.
 - + Ứng dụng trong hệ thống robot di động nâng hạ vật nặng hoặc điều hướng trong môi trường công nghiệp.
- Trong nghiên cứu và giáo dục:
 - + Hệ cần trục thường được dùng để mô phỏng và nghiên cứu các bài toán điều khiển phi tuyến.
 - + Là một bài toán chuẩn để kiểm tra và so sánh hiệu quả của các phương pháp điều khiển, như PID, điều khiển tối ưu, điều khiển mờ, và điều khiển thích nghi.

- + Giúp sinh viên và nhà nghiên cứu hiểu rõ hơn về các nguyên tắc cơ bản trong điều khiển tự động và lý thuyết hệ thống.
- Trong lĩnh vực vận tải và tự động hóa:
 - + Hệ cần trục được tích hợp vào các hệ thống vận chuyển tự động, chẳng hạn như xe tự hành trong các dây chuyền sản xuất, để đảm bảo hiệu quả và an toàn trong vận hành.
- Trong phát triển công nghệ mới:
 - + Hệ cần trục là một mô hình thí nghiệm quan trọng để phát triển và ứng dụng các thuật toán điều khiển thông minh, chẳng hạn như học máy, điều khiển mờ, và điều khiển dự báo.
 - + Hệ cần trục không chỉ có giá trị thực tiễn trong công nghiệp mà còn là một đối tượng nghiên cứu lý tưởng, mở ra nhiều hướng phát triển trong lĩnh vực điều khiển tự động và trí tuệ nhân tạo.

1.3. Các bài toán điều khiển cho hệ cần trục

Hệ cần trục đặt ra nhiều bài toán điều khiển thú vị và thách thức do tính chất phi tuyến, sự tương tác giữa các thành phần, và yêu cầu về độ chính xác cao. Dưới đây là các bài toán điều khiển phổ biến cho hệ cần trục:

Điều khiển vị trí của xe (Bài toán bám vị trí):

- Mục tiêu: Điều khiển xe cần trục di chuyển đến một vị trí đích x_{dx_dxd} đã định trước trong khoảng thời gian ngắn nhất.
- Thách thức:
 - + Đảm bảo vị trí của xe chính xác mà không gây dao động lớn cho thanh cần và vật nặng.
 - + Hạn chế tác động của nhiễu từ môi trường hoặc sai số trong mô hình động học.

Ổn định góc dao động của thanh cần (Bài toán ổn định):

- Mục tiêu: Duy trì góc nghiêng θ của thanh cần gần với giá trị cân bằng (thường là 0 hoặc một giá trị cố định).
- Thách thức:
 - + Phải xử lý đồng thời cả dao động tự nhiên và nhiễu do chuyển động của xe.
 - + Tương tác mạnh giữa vị trí xe và dao động của thanh cần làm tăng độ phức tạp trong điều khiển.

Điều khiển kết hợp (Bài toán điều khiển đồng thời):

- Mục tiêu:
 - + Vừa điều khiển xe đến đúng vị trí đích x_{dx_dxd} , vừa đảm bảo dao động của thanh cần giảm thiểu trong quá trình di chuyển.
 - + Kết hợp cả hai bài toán bám vị trí và ổn định góc dao động.
- Thách thức:
 - + Đòi hỏi sự phối hợp giữa các chiến lược điều khiển để xử lý hai nhiệm vụ đồng thời.
 - + Tốc độ và độ chính xác của bộ điều khiển cần đảm bảo để không gây ra hiện tượng vượt quá hoặc dao động lớn.

Điều khiển thích nghi:

- Mục tiêu: Xây dựng bộ điều khiển có khả năng thích nghi với các thay đổi trong thông số hệ thống, chẳng hạn như:
 - + Thay đổi khối lượng vật nặng m .
 - + Thay đổi chiều dài thanh cần l .
 - + Ảnh hưởng của môi trường như ma sát hoặc lực cản gió.
- Thách thức:
 - + Yêu cầu áp dụng các thuật toán thích nghi hoặc điều khiển thông minh để xử lý sự bất định.

Điều khiển tối ưu:

- Mục tiêu: Tối ưu hóa hiệu suất điều khiển theo các tiêu chí, như:
 - + Giảm thiểu thời gian đáp ứng.
 - + Giảm năng lượng tiêu thụ.
 - + Hạn chế độ dao động trong quá trình vận hành.
- Thách thức:
 - + Phải cân bằng giữa các tiêu chí để đạt được hiệu suất tối ưu tổng thể.

Điều khiển mờ (Fuzzy Logic Control):

- Mục tiêu: Áp dụng điều khiển mờ để xử lý các bài toán phi tuyến và không chắc chắn của hệ cần trục.
- Lợi ích:
 - + Điều khiển mờ không yêu cầu mô hình toán học chính xác của hệ.

- + Dễ dàng thiết kế luật điều khiển dựa trên kinh nghiệm và đặc tính thực nghiệm.

Mô phỏng và đánh giá:

- Mục tiêu: Mô phỏng các bài toán điều khiển bằng phần mềm như MATLAB/Simulink để:

- + Đánh giá hiệu suất của các bộ điều khiển.

- + Phân tích sự ổn định và đáp ứng của hệ trong các điều kiện khác nhau.

Chương 2: Cơ sở lý thuyết

2.1. Mô hình động học của hệ cần trục

Nguyên lý hoạt động:

Hệ cần trục hoạt động dựa trên lực tác động $u(t)$, được áp dụng để điều khiển xe di chuyển trên trục ngang. Khi xe di chuyển, dao động của thanh cần và vật nặng được kích thích, dẫn đến sự thay đổi góc θ . Do đó, chuyển động của xe và dao động của thanh cần liên hệ chặt chẽ với nhau.

Các phương trình mô tả động học:

Mô hình động học của hệ cần trục thường được xây dựng dựa trên:

- Định luật Newton II: Xác định mối quan hệ giữa lực, khối lượng, và gia tốc của xe và vật nặng.
- Nguyên lý bảo toàn năng lượng: Mô tả sự chuyển đổi giữa thế năng và động năng trong hệ thống.

Mô hình động học thường được biểu diễn dưới dạng các phương trình vi phân phi tuyến, bao gồm:

- Phương trình mô tả chuyển động của xe cần trục $x(t)$.
- Phương trình mô tả dao động của thanh cần $\theta(t)$.

Các phương trình này phụ thuộc vào sự tương tác giữa lực tác động, trọng lực, và các đặc tính động học của hệ.

Các đặc điểm quan trọng của mô hình:

- Phi tuyến mạnh: Do sự tương tác giữa dao động của thanh cần và chuyển động của xe.
- Tương tác đa biến: Chuyển động của xe và dao động của thanh cần không độc lập mà ảnh hưởng lẫn nhau.
- Dễ bị tác động bởi nhiễu: Nhiễu từ môi trường (như gió hoặc ma sát) có thể làm ảnh hưởng đến sự ổn định của hệ.

Ý nghĩa của mô hình động học:

- Nền tảng để thiết kế điều khiển: Hiểu rõ động học giúp thiết kế các bộ điều khiển như PID, LQR, hoặc điều khiển mờ.
- Hỗ trợ mô phỏng và phân tích: Mô hình cung cấp cơ sở để mô phỏng hành vi của hệ và phân tích độ ổn định.

Khi xây dựng và phân tích mô hình động học của hệ cần trục, việc xác định chính xác các tham số hệ thống đóng vai trò quan trọng trong việc đảm bảo độ chính xác và hiệu quả của các giải pháp điều khiển.

2.2. Tổng quan về điều khiển Fuzzy Logic

Khái niệm về Fuzzy Logic

Fuzzy Logic (Logic mờ) là một phương pháp logic dựa trên mờ nhợt, được đề xuất bởi Lotfi Zadeh vào năm 1965. Trái ngược với logic truyền thống, trong đó giá trị chỉ nhận hai trạng thái 0 hoặc 1, logic mờ cho phép biểu diễn các mức độ chân thực từ 0 đến 1.

Logic mờ giúp đại diện tính mờ nhợt trong quá trình suy luận, chứng minh là một phương pháp linh hoạt trong các hệ thống điều khiển và ra quyết định phức tạp.

Nguyên tắc điều khiển mờ

Nguyên lý hoạt động của điều khiển Fuzzy Logic dựa trên ba bước chính:

- Fuzzification (Làm mờ):
 - + Biến đổi các tín hiệu ngõ vào (thông thường là các giá trị số) thành các tập mờ.
 - + Sử dụng hàm thành viên (đại diện tính thuộc) để biểu diễn quan hệ giữa dữ liệu ngõ vào và tập mờ.
- Inference (Suy diễn):
 - + Xây dựng bảng quy tắc IF-THEN dựa trên chuyên gia hoặc kinh nghiệm hệ thống.
 - + Dựa trên giá trị của các tín hiệu ngõ vào, suy diễn giá trị ngõ ra theo quy tắc mờ.
- Defuzzification (Giải mờ):
 - + Biến đổi các kết quả mờ (đại diện ngõ ra) thành giá trị số cụ thể.
 - + Các phương pháp giải mờ phổ biến gồm: trung tâm của tập mờ (COG), trung bình gia quyền (WAM).

Cấu trúc của hệ thống điều khiển Fuzzy

Hệ thống điều khiển logic mờ gồm các thành phần chính:

- Khối fuzzification: Làm mờ tín hiệu ngõ vào.
- Khối suy diễn: Suy diễn giá trị ngõ ra theo quy tắc.
- Khối defuzzification: Giải mờ tín hiệu ngõ ra.
- Cơ sở kiến thức: Lưu trữ tập quy tắc và hàm thành viên.

Ưu điểm của điều khiển Fuzzy Logic

- Linh hoạt: Có thể áp dụng cho nhiều hệ thống phi tuyến tính.
- Giảm đơn giản: Không cần mô hình toán học chính xác.
- Dễ hiểu: Quy tắc suy luận dựa trên kinh nghiệm thực tiễn.
- Khả năng tích hợp: Dễ kết hợp với các phương pháp tối ưu hóa như Genetic Algorithm hoặc Neural Network.

Nhược điểm của Fuzzy Logic

- Phụ thuộc nhiều vào kiến thức chuyên gia.
- Quy mô tập quy tắc lớn khi hệ thống phức tạp.
- Hiệu quả giải mờ đôi khi không cao.

Ứng dụng của điều khiển Fuzzy Logic

- Điều khiển robot.
- Hệ thống điều hòa nhiệt độ.
- Hệ thống giao thông thông minh.
- Điều khiển trong các ngành điện, điện tử và công nghiệp.

Với những đặc tính nói trên, điều khiển Fuzzy Logic là một công cụ hữu hiệu trong các bài toán điều khiển có tính phi tuyến tính cao như hệ cần trục.

2.3. Các phương pháp điều khiển khác và ưu điểm của Fuzzy Logic

Các phương pháp điều khiển khác

Trong các hệ thống điều khiển, nhiều phương pháp truyền thống và tiên tiến đã được sử dụng. Dưới đây là một số phương pháp điều khiển chính:

- Điều khiển tỉ lệ PID (Proportional-Integral-Derivative)
 - + Phương pháp này dựa trên ba thành phần: tỷ lệ (P), tích phân (I), và đạo hàm (D).
 - + Ưu điểm: Đơn giản, dễ thiết kế, hiệu quả cao cho các hệ thống tuyến tính.
 - + Nhược điểm: Khó xử lý trong các hệ thống phi tuyến tính, cần tinh chỉnh tham số (tuning) một cách chính xác.
- Điều khiển dựa trên mô hình (Model Predictive Control - MPC)
 - + Phương pháp này sử dụng mô hình toán học của hệ thống để dự đoán hành vi tương lai và tối ưu hóa ngõ ra.
 - + Ưu điểm: Hiệu quả cao trong hệ thống động phức tạp, xử lý ràng buộc ngõ vào/ngõ ra tốt.

- + Nhược điểm: Tính toán phức tạp, cần nhiều tài nguyên, phụ thuộc nhiều vào độ chính xác của mô hình.
- Điều khiển Neural Network (NN)
 - + Sử dụng mô hình học máy và mạng não nhân tạo để điều khiển hệ thống.
 - + Ưu điểm: Tự học tập và tối ưu hóa dựa trên dữ liệu, xử lý tính phi tuyến tính hiệu quả.
 - + Nhược điểm: Yêu cầu dữ liệu lớn và khó hiểu. có thể gây hiện tượng overfitting.

Ưu điểm của Fuzzy Logic so với các phương pháp khác

Fuzzy Logic mang lại nhiều Ưu điểm đặc biệt trong các bài toán điều khiển, nhất là trong hệ phi tuyến tính:

- Không cần mô hình toán học chính xác:
 - + Khác với PID hay MPC, Fuzzy Logic không yêu cầu một mô hình hệ thống toán học chi tiết.
 - + Hoạt động dựa trên tập quy tắc được xây dựng từ kinh nghiệm.
- Linh hoạt:
 - + Fuzzy Logic có thể áp dụng cho các hệ thống với nhiều đặc tính phi tuyến tính hoặc hầu như không xác định.
- Dễ thiết kế và hiệu quả trong các tình huống phức tạp:
 - + Không có sự phức tạp tính toán như MPC hay Neural Network.
- Khả năng kết hợp với các phương pháp khác:
 - + Fuzzy Logic có thể tích hợp với Genetic Algorithm (để tối ưu hóa tham số) hoặc Neural Network (để tự học luật quy tắc).
- Khả năng xử lý trong trường hợp mờ nhạt:
 - + Trong khi các phương pháp truyền thống yêu cầu người thiết kế xác định dữ liệu chính xác, Fuzzy Logic cho phép biểu diễn các dữ liệu trong dạng tập mờ.

Chương 3: Phân tích bài toán

3.1. Các thông số hệ thống

Bài 1: Điều khiển vị trí hệ cần trục

Cho mô hình hệ cần trục như hình bên, đặc tính động học của hệ thống được mô tả bởi hai phương trình:

$$\ddot{x} = \frac{u - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta - mg \sin \theta \cos \theta}{(M + m) - m(\cos \theta)^2}$$

$$\ddot{\theta} = \frac{-u \cos \theta + mg\dot{\theta}^2 \sin \theta \cos \theta + (M + m)(g \sin \theta)}{(ml(\cos \theta)^2 - (M + m)l)}$$

Các thông số của hệ thống:

M : khối lượng xe

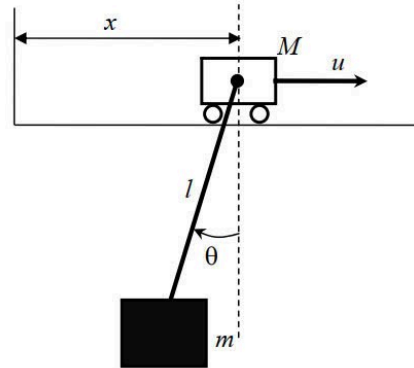
m : khối lượng vật nặng

l : chiều dài thanh nối giữa xe và vật nặng.

g : gia tốc trọng trường

$u(t)$: lực tác động vào xe [N]

$\theta(t)$: góc giữa thanh nối xe-vật nặng và phương thẳng đứng [rad]



Thiết kế bộ điều khiển mờ điều khiển vị trí $x(t)$ của hệ cần trục bám theo vị trí đặt $x_d(t)$ cho trước nằm trong miền $0 \leq x_d \leq 0.8$ (m) với sai số xác lập bằng 0. Tinh chỉnh bộ điều khiển mờ sao cho đáp ứng nhanh nhất có thể được và vật nặng ít dao động.

Hình 1. Mô hình và thông số của hệ cần trục

Các thông số hệ thống của mô hình cần trục được định nghĩa như sau:

- **M**: Khối lượng của xe (kg), đại diện cho tải trọng của xe di chuyển trong hệ.
- **m**: Khối lượng vật nặng (kg), tải trọng được treo trên hệ cần trục.
- **l**: Chiều dài thanh nối giữa xe và vật nặng (m), khoảng cách từ tâm quay của xe đến vị trí vật nặng.
- **g**: Gia tốc trọng trường (m/s^2), thông thường được lấy giá trị $9.81 m/s^2$
- **u(t)**: Lực tác động vào xe (N), lực điều khiển được áp dụng lên hệ để điều chỉnh vị trí xe.
- **θ(t)**: Góc giữa thanh nối xe-vật nặng và phương thẳng đứng (rad), biểu diễn dao động của vật nặng khi hệ hoạt động.

3.2. Đặc tính động lực học của hệ cần trục

Hệ cần trục được mô tả bằng hai phương trình động lực học:

Phương trình cho vị trí xe:

$$\ddot{x} = \frac{u - ml\dot{\theta}^2 \sin \theta - mg \sin \theta \cos \theta}{(M + m) - m(\cos \theta)^2}$$

Đây là phương trình mô tả mối quan hệ giữa lực điều khiển u , dao động của tải trọng θ , và chuyển động của xe.

Phương trình cho góc lệch θ :

$$\ddot{\theta} = \frac{-u \cos \theta + m g \dot{\theta}^2 \sin \theta \cos \theta + (M+m)(g \sin \theta)}{(m l (\cos \theta)^2 - (M+m) l)}$$

Phương trình này mô tả mối quan hệ giữa dao động tải trọng và các thông số hệ thống.

Hai phương trình này cùng xác định động học của hệ cần trục, bao gồm vị trí xe và dao động tải trọng.

3.3. Phân tích trạng thái cân bằng và dao động của hệ cần trục

Trạng thái cân bằng của hệ cần trục xảy ra khi:

- Xe ở trạng thái đứng yên hoặc di chuyển ổn định với vị trí xác định $x(t) = x_d$
- Góc lệch của thanh nối $\theta(t) = 0$ nghĩa là tải trọng không dao động.

Tuy nhiên, khi xe chịu tác động điều khiển hoặc dao động, trạng thái cân bằng có thể bị phá vỡ, dẫn đến hiện tượng dao động của tải trọng.

- Đặc điểm dao động phụ thuộc vào các thông số M , m , l , và $u(t)$.
- Mục tiêu của phân tích là giảm thiểu biên độ dao động và thời gian cần thiết để trở lại trạng thái cân bằng.

3.4. Các yêu cầu về bám vị trí và độ ổn định

Hệ cần trục phải đáp ứng các yêu cầu sau:

Bám vị trí:

- Vị trí của xe $x(t)$ phải bám theo vị trí đặt trước $x_d(t)$ trong khoảng $0 \leq x_d \leq 0.8m$.
- Sai số vị trí phải giảm xuống 0 khi hệ thống ổn định.

Độ ổn định:

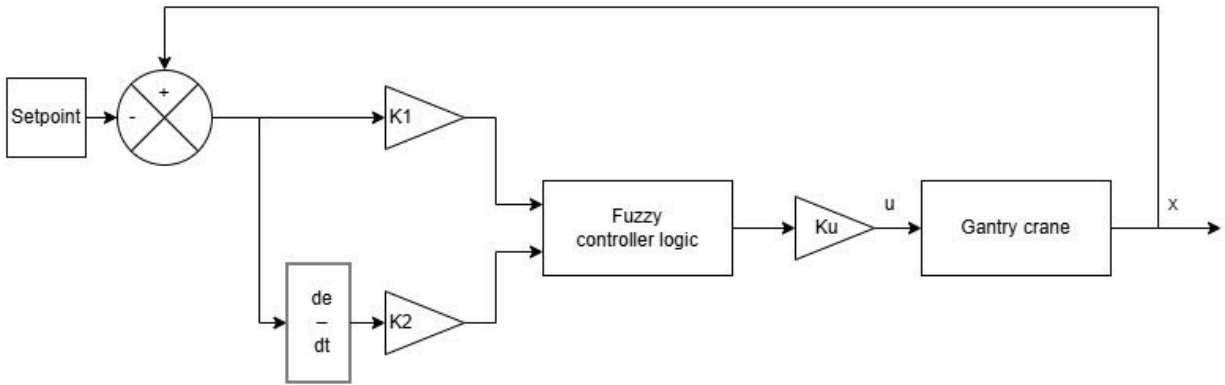
- Dao động của tải trọng (góc lệch $\theta(t)$) phải được giảm thiểu tối đa.
- Hệ phải nhanh chóng đạt đến trạng thái cân bằng sau khi chịu tác động điều khiển.

Tối ưu hóa điều khiển:

- Bộ điều khiển phải đảm bảo đáp ứng nhanh mà không làm tăng biên độ dao động của tải trọng.
- Điều chỉnh phù hợp để hệ vận hành chính xác và ổn định trong mọi điều kiện.

Chương 4: Thiết kế bộ điều khiển PD Fuzzy

4.1. Mô tả hệ thống



Hình 2. Mô tả cấu trúc hệ thống bộ điều khiển mờ PD Fuzzy

Hình ảnh trên mô tả cấu trúc hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển PD mờ (PD Fuzzy Controller) cho hệ cần trục 2 bậc tự do. Hệ thống bắt đầu với giá trị đầu vào điểm đặt (Setpoint), đại diện cho vị trí hoặc trạng thái mục tiêu của cần trục. Sai số (e) được tính toán thông qua bộ so sánh giữa giá trị điểm đặt và giá trị thực tế của hệ thống. Đạo hàm của sai số (e') cũng được tính toán để cung cấp thông tin về tốc độ thay đổi của sai số. Các tín hiệu e và e' sau đó được đưa qua các hệ số khuếch đại $K1$ và $K2$, giúp chuẩn hóa và cân chỉnh giá trị đầu vào cho phù hợp với bộ điều khiển mờ.

Bộ điều khiển PD mờ (Fuzzy Controller Logic) là trung tâm của hệ thống, nơi các giá trị e và e' được xử lý dựa trên các tập luật mờ (fuzzy rules). Bộ điều khiển này tính toán tín hiệu điều khiển u , đại diện cho lực để điều chỉnh trạng thái của hệ cần trục. Tín hiệu u được điều chỉnh thêm thông qua hệ số khuếch đại Ku trước khi gửi đến hệ cần trục. Cần trục (Gantry Crane) sau đó thực hiện chuyển động nâng, hạ hoặc di chuyển theo phương ngang dựa trên tín hiệu điều khiển nhận được. Hệ thống phản hồi (feedback loop) liên tục gửi vị trí thực tế của cần trục trở lại bộ so sánh để tính toán sai số mới, đảm bảo sự điều chỉnh liên tục và chính xác.

Hệ thống này được thiết kế để cải thiện hiệu năng và độ ổn định của cần trục, đồng thời giảm thiểu dao động và tăng độ chính xác trong quá trình vận hành, đặc biệt trong các ứng dụng yêu cầu xử lý tải trọng nặng và chuyển động linh hoạt.

4.2. Cấu trúc bộ điều khiển Fuzzy cho hệ cần trục

a. Giới thiệu về điều khiển mờ (Fuzzy Logic)

Điều khiển mờ (Fuzzy Logic) là một phương pháp điều khiển dựa trên lý thuyết tập mờ, cho phép xử lý thông tin không chắc chắn, không rõ ràng. Thay vì sử dụng các mô hình toán học phức tạp, điều khiển mờ hoạt động dựa trên các quy tắc "nếu-thì" (IF-THEN) và ngôn ngữ tự nhiên, giúp hệ thống xử lý linh hoạt và hiệu quả trong các bài toán phi tuyến, như điều khiển hệ cần trục.

Ưu điểm của điều khiển mờ đối với hệ cần trục:

- Khả năng xử lý các trạng thái phi tuyến và dao động phức tạp của hệ thống.
- Không yêu cầu thông số chính xác của hệ cần trục.
- Đơn giản trong thiết kế và dễ dàng điều chỉnh để phù hợp với yêu cầu thực tế.

b. Cấu trúc bộ điều khiển Fuzzy cho hệ cần trục

Bộ điều khiển Fuzzy cho hệ cần trục được thiết kế với cấu trúc cơ bản gồm ba khối chính:

- **Khối fuzzification (Làm mờ):** Biến đổi các tín hiệu đầu vào dạng giá trị số (crisp) thành các tập mờ.
- **Khối inference engine (Suy luận):** Áp dụng các quy tắc mờ để suy luận và đưa ra các hành động điều khiển.
- **Khối defuzzification (Giải mờ):** Chuyển các tín hiệu điều khiển dạng mờ thành giá trị số để điều khiển hệ cần trục.

c. Các tín hiệu vào và ra cho bộ điều khiển PD Fuzzy

- **Tín hiệu đầu vào:**
- Bộ điều khiển sử dụng hai tín hiệu đầu vào chính:
 - + Sai số vị trí $e^-(t)$: Độ lệch giữa vị trí mong muốn và vị trí thực tế của xe.
 - + Đạo hàm của sai số $\dot{e}^-(t)$: Tốc độ thay đổi của sai số, phản ánh xu hướng di chuyển.
- **Tín hiệu đầu ra:**
 - + Lực tác động $u^-(t)$: Tác động lực cần thiết để điều chỉnh vị trí của xe cần trục.

d. Tập mờ và hàm thành viên

- **Tập mờ cho đầu vào:**
- Các tín hiệu đầu vào $e(t)$ và $\dot{e}(t)$ được phân chia thành các tập mờ:
 - + **NB:** Negative Big (Âm lớn).
 - + **NM:** Negative Medium (Âm vừa).

- + **NS:** Negative Small (Âm nhỏ).
- + **ZE:** Zero (Bằng 0).
- + **PS:** Positive Small (Dương nhỏ).
- + **PM:** Positive Medium (Dương vừa).
- + **PB:** Positive Big (Dương lớn).
- Mỗi tập mờ được biểu diễn bằng hàm thành viên tam giác hoặc hình thang.
- **Tập mờ cho đầu ra:**
- Lực tác động $u^-(t)$ cũng được phân thành các tập mờ tương tự với các mức độ tăng dần từ lực âm đến lực dương.

e. Quy tắc điều khiển Fuzzy (Fuzzy Rules)

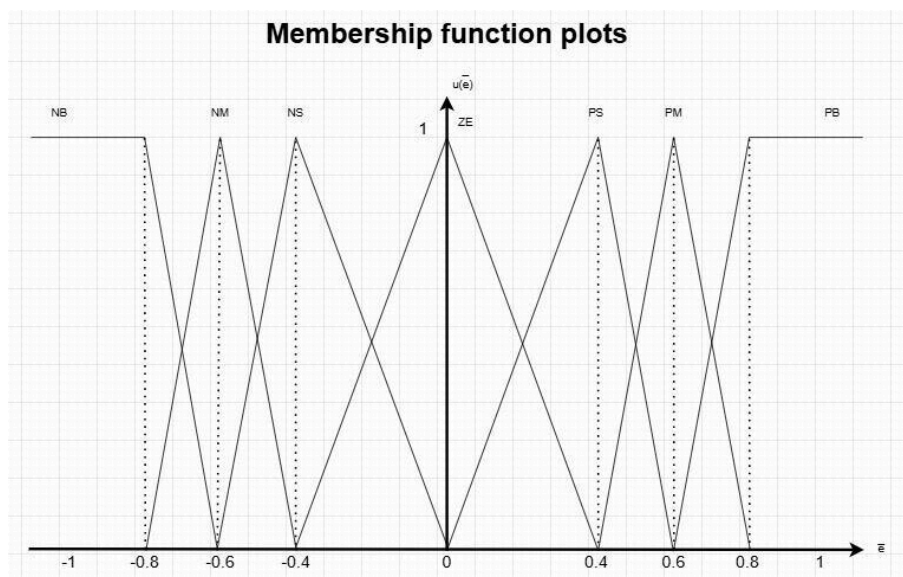
Bộ quy tắc điều khiển được xây dựng dưới dạng các câu lệnh "nếu-thì" (IF-THEN):

- IF $e(t)$ là NB AND $\dot{e}(t)$ là NB, THEN $u^-(t)$ là PB.
- IF $e^-(t)$ là PS AND $e^-(t)$ là NS, THEN $u^-(t)$ là ZE.
- ...

Quy tắc điều khiển được thiết kế nhằm giảm nhanh sai số $e(t)$ và duy trì trạng thái cân bằng của hệ cần trục.

4.3. Nguyên lý điều khiển

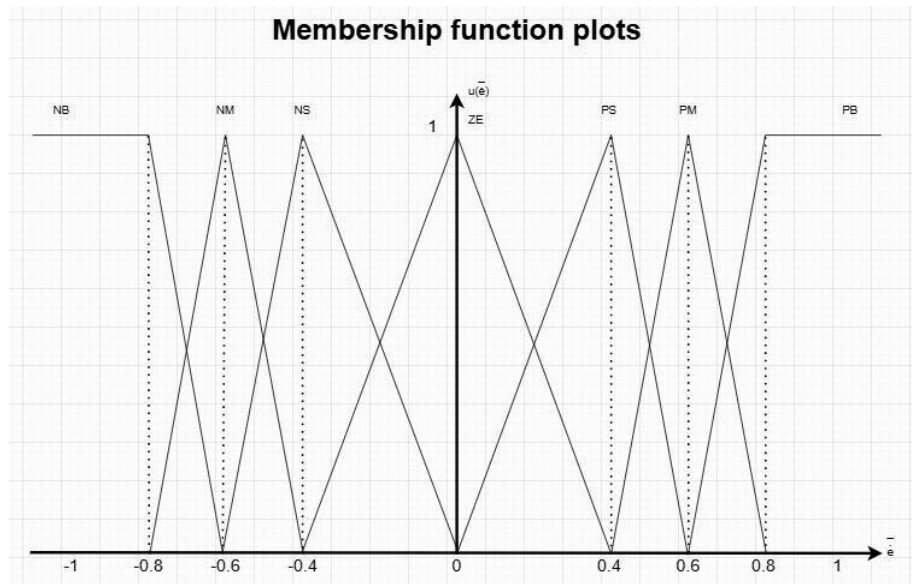
Để có thể thiết kế được bộ điều khiển PD Fuzzy trước tiên cần xác định đầu vào và đầu ra của bộ điều khiển, đầu vào của bộ điều khiển là sai số giữa vị trí thực tế và vị trí mong muốn của xe và đạo hàm của sai số, đầu ra là lực tác động vào xe u , các thông số vào bộ điều khiển Fuzzy đều được chuẩn hóa về khoảng giá trị $[-1 \ 1]$. Trong bài toán hệ cần trục này thì sai số tối đa là 0.8 nên hệ số $K1$ của e là 1.25 và đạo hàm sai số được đặt là 0.2 m/s nên hệ số $K2$ ban đầu là 5, và đầu ra của bộ điều khiển Fuzzy u sẽ được khuếch đại với hệ số Ku là 100, tuy nhiên hai hệ số $K2$ và Ku sẽ có thể thay đổi để có thể phù hợp với bài toán. Phương pháp suy luận mờ được lựa chọn trong bài toán này là MAX-MIN và phương pháp giải mờ là trung bình có trọng số, và được thiết kế theo hệ SUGENO.



Hình 3. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e trước khi dùng GA

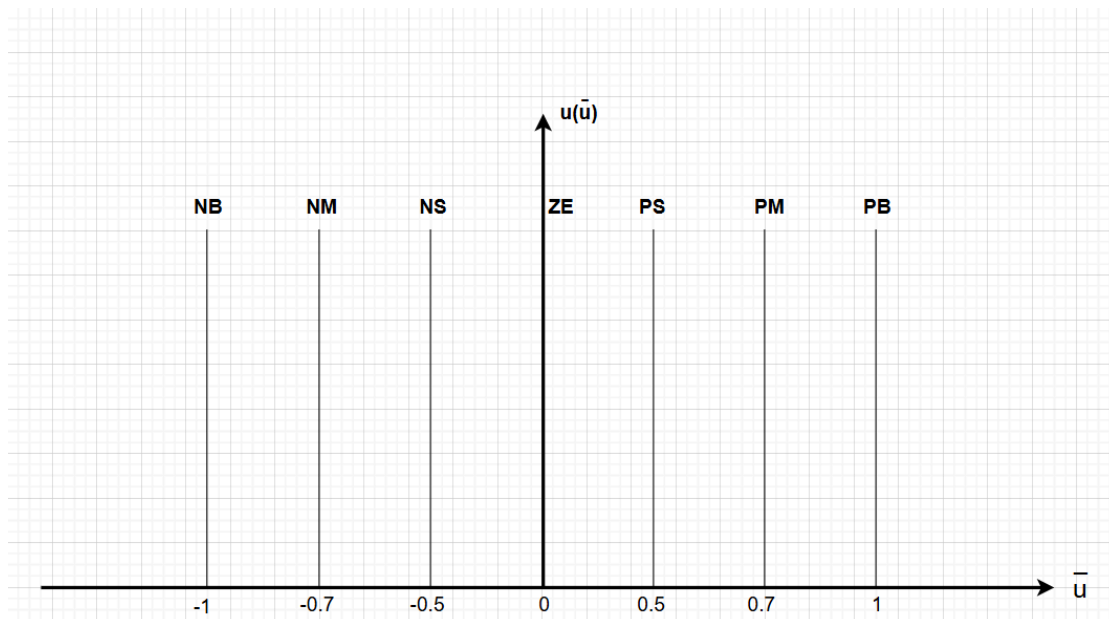
Hình trên biểu diễn các tập mờ cho đầu vào của một hệ thống điều khiển mờ. Trục hoành đại diện cho biến đầu vào e , trong khi trục tung biểu diễn mức độ thành viên (membership degree) của các tập mờ, với giá trị từ 0 đến 1. Các tập mờ được chia thành 7 miền ngôn ngữ: Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB). Mỗi tập mờ được biểu diễn bằng một hàm hình thang, cho phép định lượng mức độ tham gia của giá trị e vào các trạng thái ngôn ngữ tương ứng.

Miền giá trị của e được giới hạn từ -1 đến 1, trong đó giá trị ZE (Zero) nằm ở trung tâm tại $e=0$, đại diện cho trường hợp sai số không thay đổi. Các tập mờ bên trái (NB, NM, NS) đại diện cho các trạng thái mà sai số mang giá trị âm. Ngược lại, các tập mờ bên phải (PS, PM, PB) đại diện cho các trạng thái mà sai số mang giá trị dương.



Hình 4. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e_{dot} trước khi dùng GA

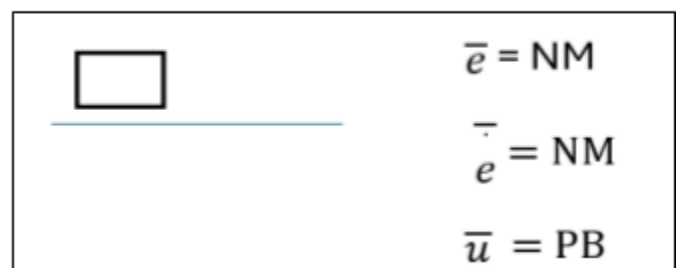
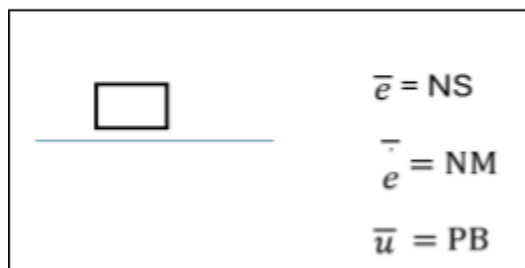
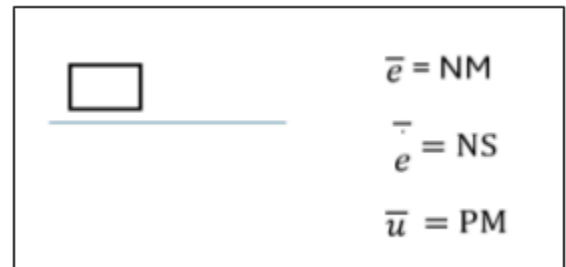
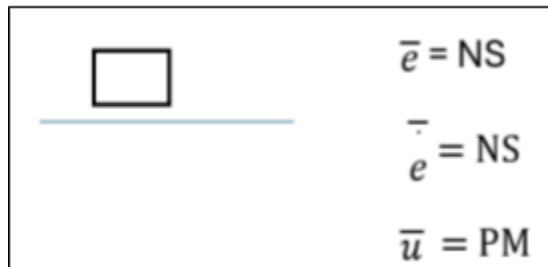
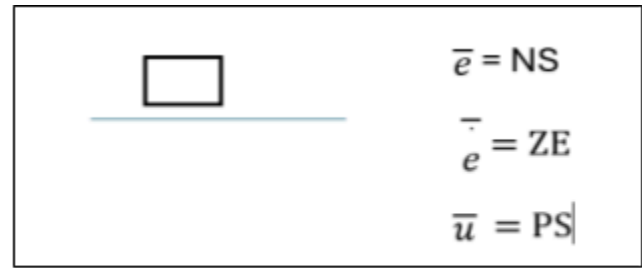
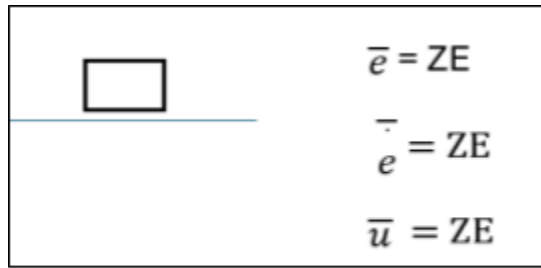
Hình trên biểu diễn tập mờ của đạo hàm sai số e_{dot} , một đại lượng đặc trưng cho tốc độ thay đổi của sai số. Tập mờ này được thiết kế để đánh giá xu hướng biến thiên của sai số, từ đó xác định chiều hướng di chuyển của hệ thống điều khiển, chẳng hạn như xe. Cấu trúc của tập mờ e_{dot} được xây dựng tương tự với tập mờ của sai số e , sử dụng cùng các thông số và biến ngôn ngữ như Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB). Sự tương đồng này đảm bảo tính nhất quán trong quá trình xử lý tín hiệu và giúp hệ thống điều khiển hoạt động hiệu quả trong việc dự đoán và điều chỉnh các trạng thái vận hành.



Hình 5. biểu diễn fuzzy biến đầu ra u trước khi dùng GA

Hình trên biểu diễn tín hiệu đầu ra u , đại diện cho lực điều khiển được tạo ra bởi bộ điều khiển logic mờ (fuzzy controller). Tín hiệu này được chia thành 7 mức ngôn ngữ: Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB). Các mức này được sắp xếp theo thứ tự tăng dần từ trái sang phải, trong đó NB đại diện cho lực âm lớn nhất và PB đại diện cho lực dương lớn nhất. Mức ZE nằm ở trung tâm, tương ứng với trạng thái không lực (neutral force), thường được sử dụng khi sai số và tốc độ thay đổi sai số gần bằng 0. Sự phân chia này cho phép bộ điều khiển điều chỉnh lực u một cách linh hoạt và phù hợp với trạng thái hiện tại của hệ thống, từ đó đảm bảo khả năng kiểm soát chính xác và hiệu quả trong các tình huống vận hành khác nhau.

4.4. Xây dựng bảng luật



Những hình trên mô tả tín hiệu điều khiển đầu ra u , được xác định dựa trên hai biến đầu vào là **sai số** và **đạo hàm sai số**. Ví dụ, trong trường hợp sai số bằng 0 (ZE) và xe không di chuyển (tức đạo hàm sai số cũng bằng 0, ZE), lực tác động u sẽ bằng 0 (ZE) do không có sai lệch cần điều chỉnh. Điều này đảm bảo hệ thống duy trì trạng thái ổn định khi không có sai số.

Tuy nhiên, nếu có một sai số nhỏ về phía bên trái (NS) và xe vẫn không di chuyển (đạo hàm sai số bằng ZE), hệ thống sẽ tạo ra một lực nhẹ theo chiều dương (PS) để đưa sai số về 0. Tương tự, khi sai số là NS và đạo hàm sai số cũng là NS, lực tác động sẽ được tăng lên mức PM để hiệu chỉnh nhanh hơn. Trong trường hợp sai số là NM và đạo hàm sai số là NS, hệ thống sử dụng lực PM để giảm sai số về 0. Ngược lại, nếu sai số là NS và đạo hàm sai số là NM, lực tác động sẽ tăng lên PB để xử lý sự chênh lệch lớn hơn.

Tương tự, nếu cả sai số và đạo hàm sai số đều ở mức NM, lực tác động cũng là PB để điều chỉnh mạnh hơn, giúp hệ thống nhanh chóng ổn định.

Những quy tắc này thể hiện cách bộ điều khiển logic mờ điều chỉnh tín hiệu đầu ra một cách linh hoạt dựa trên mức độ sai số và xu hướng thay đổi của nó, nhằm đảm bảo hiệu quả và độ chính xác cao trong quá trình vận hành.

u		e						
		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
de	NB	PB	PB	PB	PB	PM	PS	ZE
	NM	PB	PB	PB	PM	PS	ZE	NS
	NS	PB	PM	PM	PS	ZE	NS	NM
	ZE	PB	PM	PS	ZE	NS	NM	NB
	PS	PM	PS	ZE	NS	NM	NM	NB
	PM	PS	ZE	NS	NM	NB	NB	NB
	PB	ZE	NS	NM	NB	NB	NB	NB

Bảng luật trên được thiết kế để điều khiển hệ thống dựa trên phương pháp điều khiển mờ, trong đó hai đầu vào là sai số và đạo hàm sai số được sử dụng để xác định tín hiệu điều khiển uu. Trục ngang đại diện cho các giá trị của sai số, được chia thành bảy miền ngôn ngữ: Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB). Tương tự, trục dọc đại diện cho các giá trị của đạo hàm sai số với các miền ngôn ngữ tương tự. Tại mỗi giao điểm của bảng, giá trị uu được xác định, biểu thị bằng một trong các miền ngôn ngữ từ PB (Positive Big) đến NB (Negative Big).

Ví dụ, khi cả sai số và đạo hàm sai số đều có giá trị lớn dương (PB), tín hiệu điều khiển uu được giảm xuống mức ZE để duy trì trạng thái ổn định. Ngược lại, khi sai số và đạo hàm sai số đều âm lớn (NB), tín hiệu uu được đặt ở mức PB để nhanh chóng điều chỉnh sai số. Quy tắc này cho thấy rằng hệ thống điều khiển ưu tiên giảm dần tín hiệu điều khiển khi giá trị của sai số và đạo hàm sai số đạt gần trạng thái mong muốn (ZE), đồng thời phản ứng mạnh mẽ hơn khi giá trị của chúng chênh lệch xa. Nhìn chung, bảng

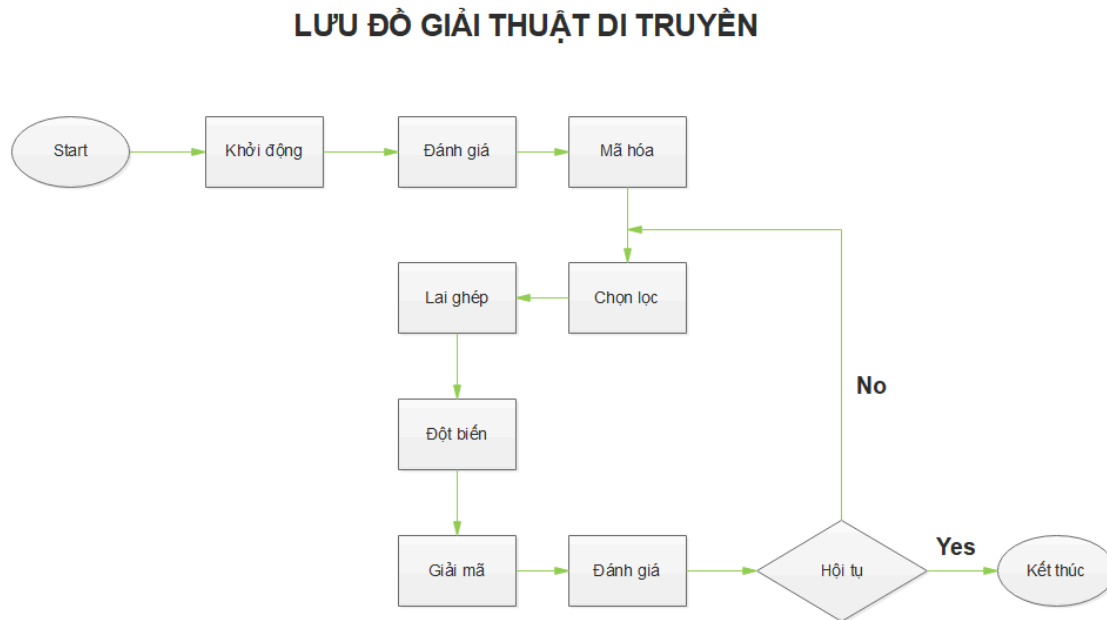
luật này đóng vai trò quan trọng trong việc xác định hành vi điều khiển, đảm bảo hệ thống hoạt động ổn định và chính xác trong các trạng thái vận hành khác nhau.

4.5. Điều chỉnh thông số điều khiển dựa vào giải thuật di truyền

Genetic Algorithm (GA) hay còn gọi là giải thuật di truyền là một phương pháp tối ưu hóa dựa trên nguyên lý tiến hóa tự nhiên và di truyền học, được sử dụng rộng rãi trong việc giải quyết các bài toán tối ưu hóa phức tạp. GA mô phỏng quá trình chọn lọc tự nhiên, nơi các cá thể tốt nhất trong một quần thể được chọn để tạo ra thế hệ mới thông qua các phép lai ghép (crossover) và đột biến (mutation). Mỗi cá thể đại diện cho một tập hợp các thông số cần tối ưu hóa, được mã hóa dưới dạng chuỗi nhị phân hoặc các biểu diễn khác. Quá trình tiến hóa bắt đầu từ một quần thể ngẫu nhiên và tiếp tục qua nhiều thế hệ, với mục tiêu tối đa hóa hoặc tối thiểu hóa một hàm mục tiêu cụ thể. Trong hệ thống này, GA được sử dụng để tự động điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển mờ và các khối khuếch đại K2 và Ku, tổng cộng là 10 thông số. Điều này giúp tìm ra cấu hình thông số tối ưu, cải thiện hiệu suất của hệ thống và đảm bảo khả năng thích nghi trong các điều kiện hoạt động khác nhau.

Flowchart dưới mô tả quy trình hoạt động của Genetic Algorithm (GA), một phương pháp tối ưu hóa dựa trên nguyên lý tiến hóa sinh học. Quá trình bắt đầu với việc khởi tạo quần thể ban đầu, bao gồm các cá thể đại diện cho các lời giải khả thi được mã hóa dưới dạng nhị phân hoặc số thực. Sau đó, mỗi cá thể được đánh giá dựa trên hàm mục tiêu (fitness function) để xác định mức độ "tốt" của chúng trong việc giải quyết bài toán. Các cá thể có giá trị hàm mục tiêu cao hơn sẽ được ưu tiên chọn trong bước chọn lọc (selection), sử dụng các phương pháp như roulette wheel selection hoặc tournament selection. Các cá thể được chọn sau đó tham gia lai ghép (crossover) để kết hợp các đặc điểm tốt từ bố mẹ, tạo ra thế hệ con cái mới. Tiếp theo, một số gen trong các cá thể mới sẽ trải qua quá trình đột biến (mutation) để tạo ra sự thay đổi ngẫu nhiên, giúp tránh hiện tượng hội tụ sớm và tăng khả năng khám phá không gian tìm kiếm. Các cá thể sau khi được lai ghép và đột biến sẽ được giải mã trở lại không gian thực tế và tiếp tục đánh giá dựa trên hàm mục tiêu. Quá trình này lặp đi lặp lại qua nhiều thế hệ, với điều kiện hội tụ được kiểm tra sau mỗi vòng lặp (ví dụ: đạt giá trị hàm mục tiêu mong muốn hoặc số thế hệ tối đa). Khi điều kiện hội tụ được thỏa mãn, thuật toán dừng lại và trả về cá thể tốt nhất, đại diện cho lời giải tối ưu hoặc gần tối ưu của bài toán. Flowchart này thể hiện

cách Genetic Algorithm sử dụng các cơ chế như chọn lọc tự nhiên, lai ghép, và đột biến để cải thiện chất lượng lời giải qua các thế hệ, đảm bảo khả năng tìm kiếm hiệu quả trong không gian lời giải phức tạp.



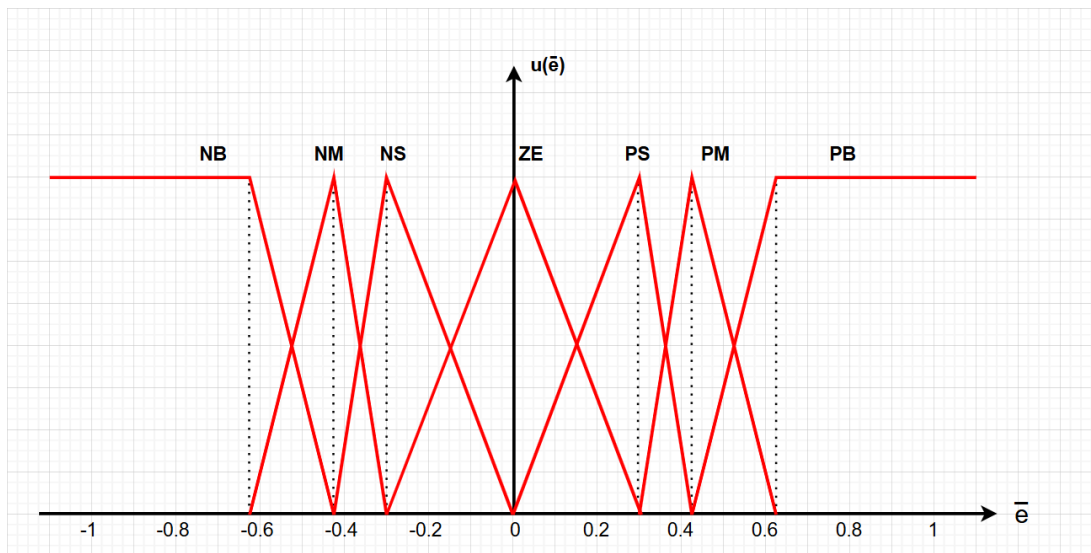
Hình 6. Lưu đồ giải thuật di truyền GA

Chương trình Genetic Algorithm (GA) được thiết kế cho bộ điều khiển Fuzzy của hệ thống gantry crane này để tối ưu 8 thông số của bộ điều khiển mờ và các hệ số khuếch đại K_2 và K_u trong hệ thống điều khiển cần trục. Quá trình khởi tạo bắt đầu bằng việc tạo một quần thể ban đầu với 200 cá thể, trong đó mỗi cá thể đại diện cho một tập hợp các giá trị thông số cần tối ưu hóa. Các thông số được giới hạn trong khoảng giá trị nhất định thông qua biến range. Sau đó, thuật toán sử dụng các bước như chọn lọc (selection), lai ghép (crossover) với xác suất 0.9, và đột biến (mutation) với xác suất 0.1 để tạo ra thế hệ mới. Trong mỗi thế hệ, giá trị hàm mục tiêu (fitness function) được tính toán dựa trên tổng bình phương sai số, tín hiệu điều khiển và góc dao động để đánh giá mức độ hiệu quả của từng cá thể.

Các thông số của bộ điều khiển mờ, như các thành viên đầu vào và đầu ra (**membership functions**), được điều chỉnh thông qua các hàm như `Decode_FuzzyPI` và `setfis`, nhằm cải thiện hiệu suất điều khiển. Đồng thời, các hệ số khuếch đại K_2 và K_u

cũng được tối ưu hóa để đảm bảo hệ thống đạt được phản hồi nhanh và ổn định. Khi điều kiện hội tụ đạt được (ví dụ: số thế hệ tối đa hoặc sự thay đổi nhỏ giữa các giá trị hàm mục tiêu liên tiếp), thuật toán dừng lại và trả về bộ thông số tối ưu.

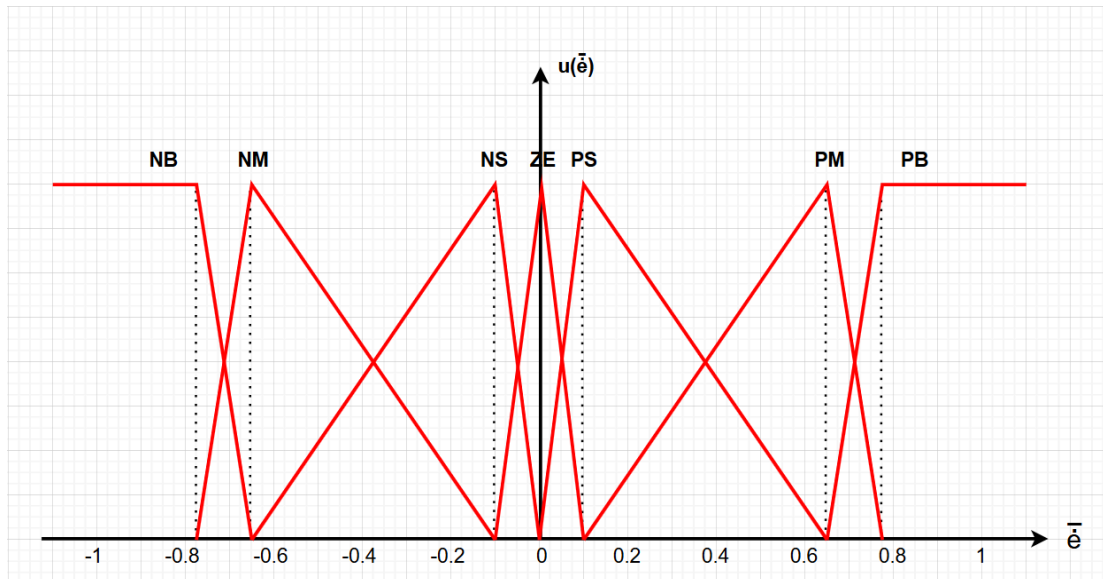
Chương trình cũng lưu trữ quá trình tối ưu hóa của từng thông số qua các thế hệ, được biểu diễn bằng các đồ thị để đánh giá xu hướng cải thiện. Kết quả cuối cùng bao gồm các giá trị tối ưu của 10 thông số, giá trị hàm mục tiêu tốt nhất, và đầu ra mô phỏng từ mô hình hệ thống cần trục (**crane_function_3.slx**). Nhìn chung, chương trình này sử dụng GA một cách hiệu quả để tự động hóa quá trình điều chỉnh và tối ưu hóa bộ điều khiển, đảm bảo hiệu suất vận hành cao và độ ổn định trong hệ thống cần trục.



Hình 7. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e sau khi dùng GA

Hình trên biểu diễn các hàm thành viên (membership functions) của sai số sau khi được tối ưu hóa bằng thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA), với bảy miền ngôn ngữ: Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB). Trước khi tối ưu hóa, các hàm thành viên được thiết lập với các tham số cố định và phân bố đều trong khoảng giá trị của sai số (-1 đến 1). Trong trạng thái này, các biên của các hàm thành viên như NB và PB được đặt ở các giá trị cực đại -1 và 1 , trong khi các hàm trung gian như NM, NS, ZE, PS, và PM được phân bố đối xứng và có khoảng cách đều nhau. Tuy nhiên, cấu hình ban đầu này không phản ánh được đầy đủ hành vi thực tế của hệ thống, dẫn đến hiệu suất bộ điều khiển mờ bị hạn chế, đặc biệt trong việc xử lý sai số nhỏ hoặc lớn. Sau khi tối ưu hóa bằng GA, các tham số của các hàm thành viên được điều chỉnh linh hoạt để

phù hợp hơn với đặc tính của hệ thống. Cụ thể, các biên của các hàm thành viên NB và PB trở nên hẹp hơn, tập trung vào các giá trị gần cực đại -1 và 1 , giúp hệ thống phản ứng mạnh hơn trong các trạng thái sai số lớn. Ngược lại, hàm ZE được mở rộng, cho phép bộ điều khiển giữ trạng thái cân bằng hiệu quả hơn khi sai số gần bằng 0 . Các hàm thành viên trung gian như NM, NS, PS, và PM cũng được điều chỉnh về khoảng cách và độ rộng, tạo sự linh hoạt trong việc xử lý các trạng thái sai số nhỏ và giảm thiểu dao động. Nhờ những điều chỉnh này, bộ điều khiển mờ sau tối ưu hóa có khả năng phản hồi chính xác hơn: lực điều khiển được tăng cường mạnh mẽ khi sai số lớn để giảm nhanh sai số, và lực điều khiển giảm nhẹ khi sai số nhỏ để tránh dao động quá mức. Tối ưu hóa bằng GA đã giúp cải thiện đáng kể hiệu suất của hệ thống điều khiển, bao gồm thời gian đáp ứng nhanh hơn, giảm dao động và ổn định hơn trong các điều kiện vận hành khác nhau, đặc biệt trong môi trường phi tuyến và phức tạp của hệ thống cần trục.



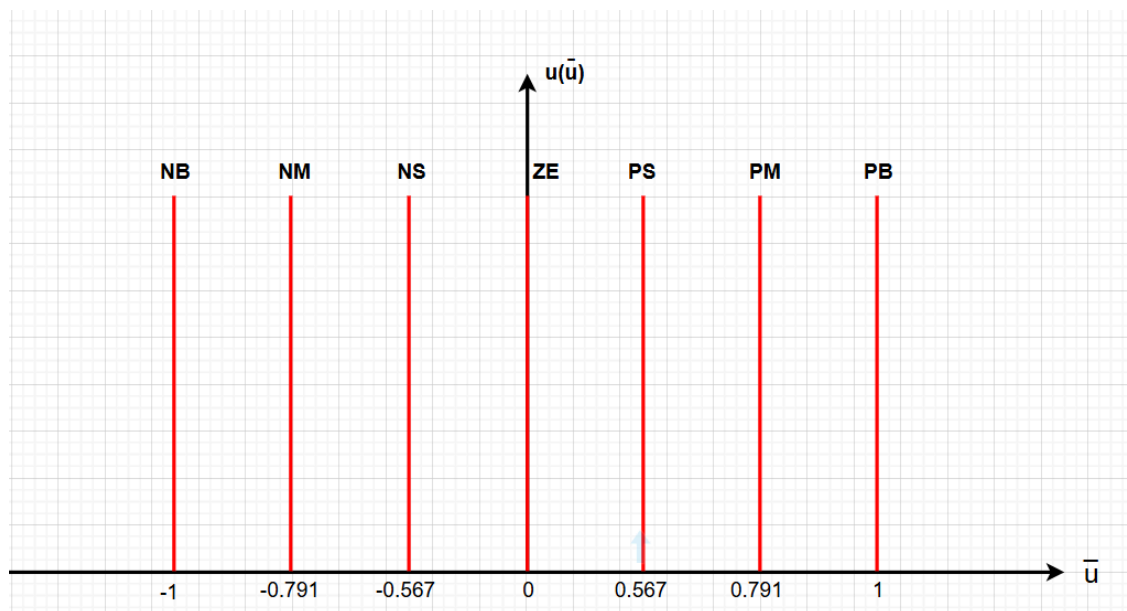
Hình 8. biểu diễn fuzzy biến đầu vào e_{dot} sau khi dùng GA

Hình ảnh trên thể hiện sự thay đổi của các hàm thành viên (membership functions) cho đạo hàm sai số sau khi sử dụng thuật toán di truyền (GA) để tối ưu hóa. Trước khi sử dụng GA, các hàm thành viên được phân bố đều và đối xứng trên khoảng giá trị từ -1 đến 1 . Cụ thể, các miền ngôn ngữ như Negative Big (NB), Negative Medium (NM), Negative Small (NS), Zero (ZE), Positive Small (PS), Positive Medium (PM), và Positive Big (PB) có các điểm giới hạn cố định, tạo ra các vùng hoạt động đồng đều nhưng không

tối ưu cho hệ thống. Điều này có thể khiến bộ điều khiển mờ phản hồi không nhạy bén đối với các trạng thái sai số nhỏ hoặc lớn, dẫn đến hiệu suất điều khiển bị hạn chế.

Sau khi sử dụng GA, các tham số xác định biên giới của các hàm thành viên được tối ưu hóa để phù hợp hơn với đặc tính động học của hệ thống. Sự điều chỉnh đáng chú ý nhất là hàm ZE, đại diện cho trạng thái gần cân bằng, được thu hẹp đáng kể, tập trung tại vùng gần e^- . Điều này giúp tăng độ nhạy của bộ điều khiển đối với các trạng thái dao động nhỏ, cải thiện khả năng ổn định của hệ thống. Đồng thời, các hàm thành viên NB và PB được mở rộng hơn ở hai đầu cực đại -1 và 1 , giúp hệ thống phản ứng mạnh mẽ hơn khi sai số lớn và thay đổi nhanh chóng. Các hàm thành viên trung gian như NM, NS, PS, và PM cũng được điều chỉnh để cân bằng giữa độ nhạy và độ chính xác, với các biên giới được làm hẹp hơn ở một số vùng và mở rộng ở vùng khác.

Sự khác biệt này cho thấy rằng, sau khi tối ưu hóa bằng GA, các thông số của các hàm thành viên không còn phân bố đồng đều mà được điều chỉnh phù hợp với các đặc tính cụ thể của hệ thống. Kết quả là hệ thống điều khiển trở nên linh hoạt hơn, phản hồi nhanh và chính xác hơn trong các điều kiện vận hành khác nhau. Việc tối ưu hóa này đã nâng cao hiệu suất tổng thể của bộ điều khiển mờ, giúp giảm sai số, giảm dao động và tăng cường sự ổn định trong vận hành hệ thống.

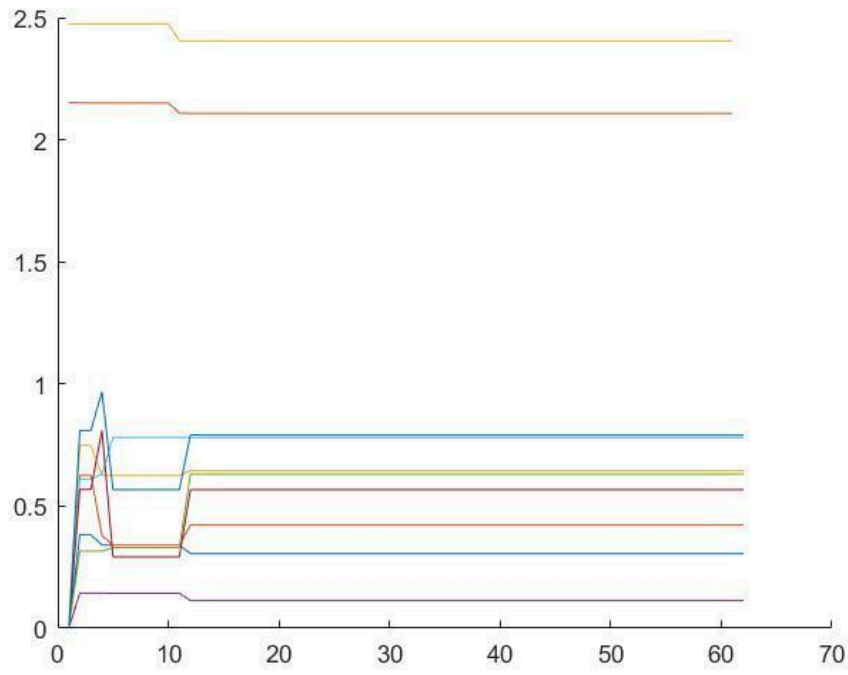


Hình 9. biểu diễn fuzzy biến đầu ra u sau khi dùng GA

Hình trên là đầu ra của các hàm thành viên (membership functions) cho đầu ra u , là tín hiệu điều khiển của hệ thống sau khi sử dụng thuật toán di truyền (GA). Trước khi áp dụng GA, các mức đầu ra u (bao gồm Negative Big - NB, Negative Medium - NM, Negative Small - NS, Zero - ZE, Positive Small - PS, Positive Medium - PM, và Positive Big - PB) thường được thiết lập cố định tại các giá trị đối xứng trên miền $[-1,1]$ với khoảng cách đồng đều giữa các mức. Ví dụ, NBNBNB được cố định tại -1 , ZE tại 0 , và PB tại 1 , trong khi các mức trung gian như NM, NS, PS, và PM được đặt ở các vị trí chia đều không gian đầu ra. Thiết lập ban đầu này đơn giản nhưng không linh hoạt, có thể không phản ánh đầy đủ đặc tính điều khiển của hệ thống, dẫn đến hiệu suất chưa tối ưu.

Sau khi áp dụng GA, các vị trí của các mức đầu ra được điều chỉnh một cách động dựa trên kết quả tối ưu hóa, phản ánh tốt hơn các yêu cầu điều khiển cụ thể. Các giá trị như -0.791 , -0.567 , 0.567 , và 0.791 được sử dụng cho các mức NM, NS, PS và PM, thay vì phân bố đối xứng như trước. Sự điều chỉnh này làm giảm khoảng cách giữa các mức đầu ra gần trung tâm (như ZE, NS, PS), tăng độ nhạy trong việc xử lý các sai số nhỏ và tín hiệu điều khiển tinh chỉnh. Đồng thời, các mức NB và PB được giữ nguyên tại -1 và 1 , đảm bảo rằng hệ thống có khả năng phản ứng mạnh mẽ khi cần điều khiển các trạng thái sai số lớn.

Những thay đổi sau tối ưu hóa bằng GA cho phép bộ điều khiển linh hoạt hơn trong việc đưa ra các tín hiệu điều khiển. Đặc biệt, việc thu hẹp các khoảng cách gần trạng thái cân bằng (ZE) giúp cải thiện độ chính xác và giảm dao động của hệ thống. Ngược lại, các mức xa hơn được duy trì để xử lý các trạng thái cực đoan, đảm bảo phản ứng nhanh và mạnh mẽ khi sai số lớn xảy ra. Sự thay đổi này giúp hệ thống đạt hiệu suất cao hơn, với khả năng điều khiển tinh tế hơn và khả năng thích ứng tốt hơn trong các điều kiện vận hành khác nhau. Nhờ đó, GA đóng vai trò quan trọng trong việc tối ưu hóa đầu ra u , cải thiện sự ổn định và hiệu quả tổng thể của hệ thống điều khiển.



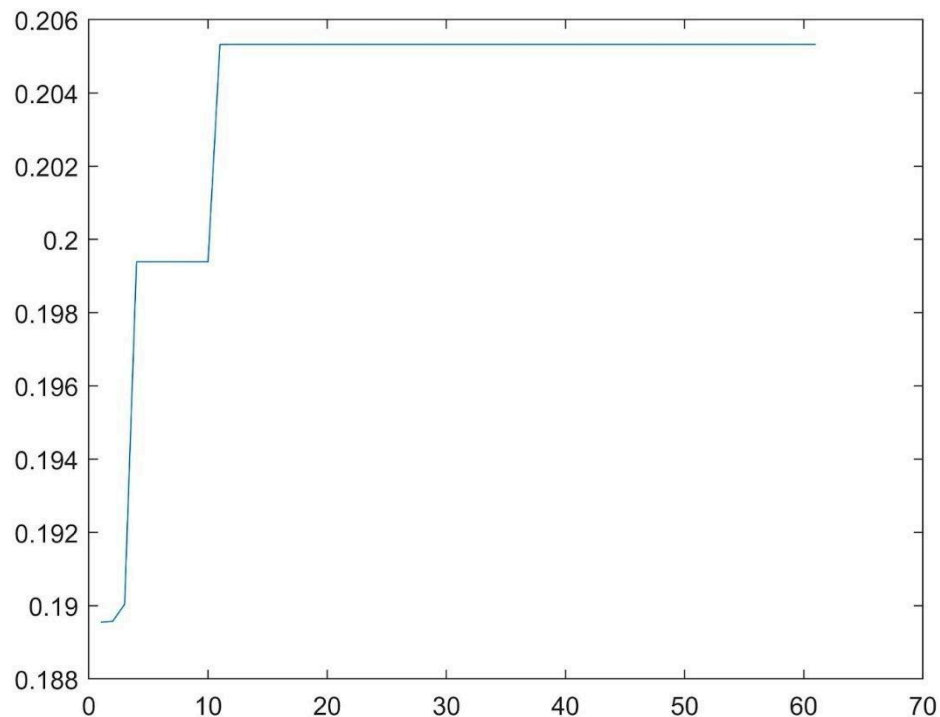
Hình 10. Biểu diễn hội tụ thuật toán di truyền

Hình trên minh họa quá trình hội tụ của thuật toán di truyền (Genetic Algorithm - GA) khi tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển mờ và hệ số khuếch đại của hệ thống điều khiển cần trục. Trục hoành biểu thị số thế hệ (generation), trong khi trục tung đại diện cho giá trị các tham số $C1, C2, \dots, C8, K2$ và Ku qua các thế hệ. Tại các thế hệ ban đầu, giá trị của các tham số dao động mạnh, cho thấy sự khám phá không gian tìm kiếm của thuật toán nhằm xác định các vùng giá trị tiềm năng. Những dao động lớn trong giai đoạn này là do các bước lai ghép (crossover) và đột biến (mutation), cho phép thuật toán đa dạng hóa các lời giải.

Sau khoảng 10 thế hệ, giá trị của các tham số bắt đầu ổn định dần, phản ánh quá trình chọn lọc tự nhiên và tối ưu hóa tiến gần đến lời giải tốt nhất. Các đường biểu diễn cho thấy sự hội tụ rõ ràng, với mỗi tham số đạt đến một giá trị cụ thể. Điều này chứng tỏ rằng thuật toán đã tìm được cấu hình tham số tối ưu phù hợp với yêu cầu điều khiển của hệ thống. Đặc biệt, các tham số $K2$ và Ku , được tối ưu hóa để cân bằng giữa hiệu suất điều khiển và ổn định của hệ thống, cũng cho thấy sự ổn định cao ở các thế hệ sau.

Kết quả này nhấn mạnh hiệu quả của GA trong việc tối ưu hóa các tham số của hệ thống. Sự hội tụ ổn định cho thấy thuật toán không chỉ tìm được giá trị tham số tối ưu mà còn đảm bảo tính bền vững của lời giải. Điều này đặc biệt quan trọng đối với hệ thống

cần trục, nơi yêu cầu độ chính xác cao và khả năng thích ứng trong các điều kiện vận hành khác nhau. Tổng quan, thuật toán GA đã chứng minh khả năng cải thiện hiệu suất điều khiển thông qua tối ưu hóa các thông số của bộ điều khiển mờ và hệ số khuếch đại.



Hình 11. Biểu diễn sự thay đổi fitness function trong GA

Biểu đồ trên biểu diễn sự thay đổi của giá trị hàm thích nghi (fitness function) qua các thế hệ trong quá trình tối ưu hóa của thuật toán di truyền (GA). Trục hoành đại diện cho số thế hệ (generations), trong khi trục tung thể hiện giá trị của hàm thích nghi. Giá trị hàm thích nghi phản ánh chất lượng của lời giải trong mỗi thế hệ, với giá trị cao hơn biểu thị một lời giải tốt hơn.

Ở các thế hệ đầu tiên, giá trị hàm thích nghi tăng nhanh, cho thấy thuật toán đang khám phá không gian tìm kiếm và nhanh chóng cải thiện chất lượng của lời giải. Giai đoạn này chịu ảnh hưởng chủ yếu từ các bước lai ghép (crossover) và đột biến (mutation), giúp tạo ra sự đa dạng trong quần thể và khám phá các vùng giá trị tiềm năng. Sau khoảng 10 thế hệ, giá trị hàm thích nghi đạt mức ổn định, biểu thị sự hội tụ của thuật toán khi lời giải tiến gần đến trạng thái tối ưu. Trong giai đoạn này, sự cải thiện trở nên ít rõ rệt hơn, và thuật toán chủ yếu tập trung vào việc tinh chỉnh các lời giải để đạt được kết quả tốt nhất.

Biểu đồ cho thấy sự hội tụ ổn định ở mức giá trị hàm thích nghi khoảng 0.206, cho thấy thuật toán đã đạt được lời giải tối ưu hoặc gần tối ưu. Điều này cho thấy GA đã tìm ra một cấu hình tham số phù hợp nhất cho bộ điều khiển, cân bằng giữa các yếu tố như sai số, dao động, và tín hiệu điều khiển.

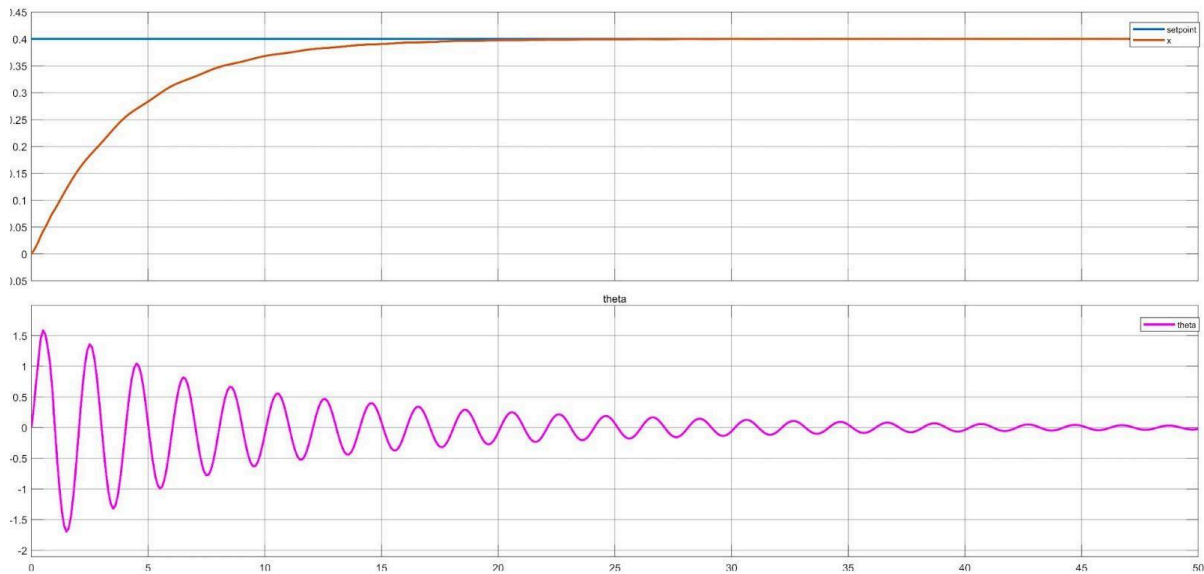
Việc hội tụ nhanh chóng ở các thế hệ đầu và ổn định ở các thế hệ sau cho thấy thuật toán hoạt động hiệu quả trong việc tối ưu hóa bộ điều khiển. Kết quả này phản ánh sự cải thiện đáng kể về hiệu suất của hệ thống sau quá trình tối ưu hóa, với khả năng điều khiển chính xác hơn, giảm thiểu sai số và tăng độ ổn định trong các điều kiện vận hành khác nhau. Dưới đây là công thức của hàm thích nghi được sử dụng trong hệ thống này:

$$fitness = Ts \int e^2 + \rho_1 u^2 + \rho_2 \Theta^2$$

Chương 5: Mô phỏng và đánh giá kết quả

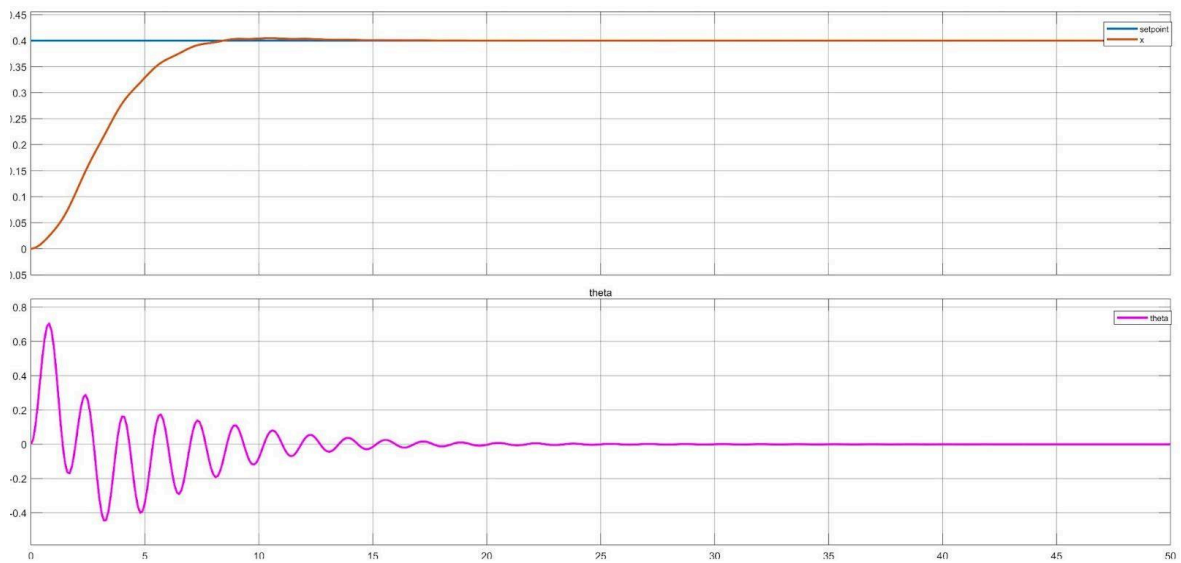
5.1. Mô phỏng hệ thống bằng phần mềm MATLAB/Simulink

Dưới đây là kết quả mô phỏng trước khi dùng thuật toán di truyền để điều chỉnh thông số:



Hình 12. Kết quả mô phỏng trước khi dùng GA

Dưới đây là kết quả mô phỏng sau khi dùng thuật toán di truyền để điều chỉnh thông số:



Hình 13. Kết quả mô phỏng sau khi dùng GA

5.2. Đánh giá kết quả điều khiển theo tiêu chí thời gian đáp ứng và độ dao động

Kết quả mô phỏng trước và sau khi sử dụng thuật toán di truyền (GA) để điều chỉnh các thông số của bộ điều khiển mờ cho thấy sự cải thiện rõ rệt về hiệu suất hệ thống. Trước khi áp dụng GA, đồ thị phía trên thể hiện đáp ứng vị trí của hệ thống (x) không theo sát điểm đặt (setpoint) một cách nhanh chóng. Thời gian đáp ứng kéo dài hơn, và hệ thống xuất hiện hiện tượng dao động nhỏ trước khi đạt trạng thái ổn định. Đồng thời, đồ thị phía dưới biểu thị góc dao động θ của tải trọng có biên độ dao động lớn và mất nhiều thời gian để tắt dần, cho thấy khả năng kiểm soát dao động tải chưa hiệu quả.

Sau khi áp dụng GA để tối ưu hóa các tham số của bộ điều khiển, đáp ứng vị trí của hệ thống đã được cải thiện đáng kể. Đồ thị phía trên cho thấy hệ thống đạt được trạng thái ổn định nhanh hơn với sai số vị trí nhỏ hơn, và đáp ứng theo sát điểm đặt một cách chính xác. Đồng thời, góc dao động tải θ trong đồ thị phía dưới đã giảm đáng kể về biên độ và thời gian tắt dần. Các dao động ban đầu nhỏ hơn và nhanh chóng suy giảm về 0, chứng minh rằng hệ thống điều khiển sau tối ưu hóa đã kiểm soát tốt hơn sự ổn định của tải trọng.

So sánh hai kết quả, có thể thấy rằng việc áp dụng GA để điều chỉnh các thông số bộ điều khiển đã làm giảm đáng kể thời gian đáp ứng và biên độ dao động, đồng thời tăng độ chính xác của hệ thống trong việc đạt đến trạng thái mục tiêu. Điều này cho thấy GA không chỉ cải thiện hiệu suất điều khiển mà còn nâng cao độ ổn định và hiệu quả tổng thể của hệ thống. Kết quả sau khi sử dụng GA là minh chứng cho khả năng tối ưu hóa mạnh mẽ của thuật toán này trong việc tinh chỉnh các tham số điều khiển cho các hệ thống phi tuyến như cần trục 2 bậc tự do.

Chương 6: Kết luận và hướng phát triển

6.1. Kết luận về kết quả đạt được

Nghiên cứu này đã xây dựng thành công một hệ thống điều khiển sử dụng bộ điều khiển PD Fuzzy, được tối ưu hóa thông qua giải thuật di truyền (Genetic Algorithm - GA) để điều khiển hệ cần trục 2 bậc tự do. Hệ thống sau khi áp dụng GA cho thấy sự cải thiện đáng kể về thời gian đáp ứng, độ chính xác, và giảm thiểu dao động. Điều này được thể hiện rõ qua các đồ thị mô phỏng, với sai số vị trí giảm, góc dao động tải trọng nhỏ hơn,

và hệ thống đạt trạng thái ổn định nhanh hơn. Bộ điều khiển PD Fuzzy đã chứng minh khả năng xử lý hiệu quả các trạng thái phi tuyến và dao động phức tạp của hệ cần trục, đặc biệt trong các điều kiện vận hành khác nhau. Đồng thời, giải thuật di truyền đã tự động hóa quá trình tinh chỉnh các thông số của bộ điều khiển, giúp tiết kiệm thời gian và nâng cao hiệu quả thiết kế. Nghiên cứu này chứng minh tính khả thi và hiệu quả của việc kết hợp điều khiển mờ và giải thuật tối ưu hóa trong việc điều khiển các hệ thống phi tuyến phức tạp như cần trục

6.2. Hạn chế của nghiên cứu

Tuy nhiên, vẫn tồn tại một số hạn chế trong nghiên cứu này. Mô hình hệ cần trục được giả định với một số thông số cố định và điều kiện lý tưởng, trong khi trong thực tế, sự không chắc chắn và nhiễu từ môi trường có thể ảnh hưởng đến hiệu suất hệ thống. Bên cạnh đó, giải thuật di truyền yêu cầu nhiều tài nguyên tính toán, đặc biệt khi tối ưu hóa các tham số trong không gian lớn. Bộ điều khiển mờ được xây dựng dựa trên các tập luật và hàm thành viên được định nghĩa trước, chưa hoàn toàn tự động hóa việc học tập từ dữ liệu thực nghiệm. Hơn nữa, hệ thống chưa được triển khai và kiểm nghiệm trên mô hình thực tế, do đó hiệu quả của hệ thống trong điều kiện vận hành thực tế vẫn cần được đánh giá.

6.3. Đề xuất hướng phát triển

Để mở rộng và cải thiện nghiên cứu, các hướng phát triển được đề xuất bao gồm triển khai hệ thống điều khiển trên một mô hình cần trục thực tế để đánh giá hiệu quả và điều chỉnh các tham số trong môi trường thực tế. Ngoài ra, có thể kết hợp các phương pháp tối ưu hóa tiên tiến khác như Particle Swarm Optimization (PSO) hoặc Deep Reinforcement Learning để cải thiện tốc độ hội tụ và hiệu quả của quá trình tối ưu hóa. Việc tích hợp các thuật toán học máy để tự động xây dựng và tinh chỉnh các tập luật điều khiển mờ dựa trên dữ liệu thực nghiệm cũng là một hướng đi đầy triển vọng, giúp giảm sự phụ thuộc vào kinh nghiệm chuyên gia. Đồng thời, cần bổ sung các cơ chế thích nghi để hệ thống có thể hoạt động hiệu quả trong các điều kiện không chắc chắn hoặc khi xuất hiện nhiễu từ môi trường.

Ngoài ra, nghiên cứu sâu hơn về các tiêu chí đánh giá như độ bền vững, độ tin cậy, và hiệu suất năng lượng của hệ thống điều khiển sẽ giúp hoàn thiện hơn các giải pháp điều khiển. Cuối cùng, việc kết hợp các công nghệ Internet of Things (IoT) để giám sát

và điều khiển hệ cần trục từ xa có thể nâng cao tính linh hoạt và hiệu quả trong quản lý vận hành. Nghiên cứu này mở ra nhiều cơ hội để tiếp tục phát triển các giải pháp điều khiển thông minh, đặc biệt trong các ứng dụng công nghiệp và tự động hóa hiện đại.

Tài liệu tham khảo

1. Zadeh, L. A. (1965). "Fuzzy sets." *Information and Control*, 8(3), 338-353.
2. Mamdani, E. H., & Assilian, S. (1975). "An experiment in linguistic synthesis with a fuzzy logic controller." *International Journal of Man-Machine Studies*, 7(1), 1-13.
3. Sugeno, M. (1985). "Industrial applications of fuzzy control." *Elsevier Science Inc.*
4. Goldberg, D. E. (1989). "Genetic Algorithms in Search, Optimization, and Machine Learning." *Addison-Wesley Longman Publishing Co., Inc.*
5. Ang, K. H., Chong, G., & Li, Y. (2005). "PID control system analysis, design, and technology." *IEEE Transactions on Control Systems Technology*, 13(4), 559-576.
6. Nguyen, H. T., & Sugeno, M. (2007). "Applications of fuzzy logic in engineering system design." *Springer-Verlag*.
7. Karaboga, D., & Akay, B. (2009). "A comparative study of artificial bee colony algorithm." *Applied Mathematics and Computation*, 214(1), 108-132.
8. Tanaka, K. (2004). "Fuzzy Control Systems Design and Analysis: A Linear Matrix Inequality Approach." *Wiley-IEEE Press*.
9. Li, X., & Gao, H. (2012). "Fuzzy model predictive control for nonlinear systems." *IEEE Transactions on Fuzzy Systems*, 20(3), 523-536.
10. Lin, C. T., & Lee, C. S. G. (1991). "Neural-network-based fuzzy logic control and decision system." *IEEE Transactions on Computers*, 40(12), 1320-1336.
11. Castillo, O., & Melin, P. (2008). "Type-2 Fuzzy Logic: Theory and Applications." *Springer-Verlag*.
12. Qin, S. J., & Badgwell, T. A. (2003). "A survey of industrial model predictive control technology." *Control Engineering Practice*, 11(7), 733-764.