

BỘ GIÁO DỤC VÀ ĐÀO TẠO

BỘ NÔNG NGHIỆP VÀ MÔI TRƯỜNG

TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

NGUYỄN XUÂN NGUYỄN

NGHIÊN CỨU ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN ROBOT CHỮA CHÁY NHÀ
XUỞNG CÔNG NGHIỆP

Ngành: Kỹ thuật cơ khí

Mã số: 9.52.01.03

TÓM TẮT LUẬN ÁN TIẾN SỸ KỸ THUẬT

Hà Nội, 2025

Luận án được hoàn thành tại: TRƯỜNG ĐẠI HỌC LÂM NGHIỆP

Người hướng dẫn khoa học:

1. TS. Hoàng Sơn

2. PGS.TS. Nguyễn Phạm Thực Anh

Phản biện 1: PGS.TS. Hoàng Văn Gọt

Phản biện 2: PGS.TS. Nguyễn Thanh Quang

Luận án được bảo vệ trước hội đồng chấm luận án cấp chuyên môn họp tại: Trường Đại học Lâm nghiệp -
Xuân Mai, Chương Mỹ, Hà Nội

Vào hồi: 8h30 ngày 20 tháng 01 năm 2025

Có thể tìm hiểu luận án tại thư viện: Thư viện Quốc gia và Thư viện trường Đại học Lâm nghiệp

**DANH MỤC CÁC BÀI BÁO, CÔNG TRÌNH KHOA HỌC
ĐÃ CÔNG BỐ**

1. Hoàng Sơn, **Nguyễn Xuân Nguyên**, Nguyễn Phạm Thục Anh, Nguyễn Thị Huyền (2023). *Nghiên cứu động lực học robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp trong quá trình leo cầu thang*. Tạp chí khoa học và công nghệ Lâm nghiệp, số 2(2023), ISSN: 189-3828
2. Son Hoang, Anh Nguyen Pham Thuc, **Nguyen Xuan Nguyen** (2023). *Designing and Control Track-Belt Robot for Firefighting Task*. 2023 7th International Conference on Robotics and Automation Sciences, Electronic ISBN: 979-8-3503-1356-7, DOI: 10.1109/ICRAS57898.2023.10221617
3. Hoang Son, Vu Khac Bay, Nguyen Pham Thuc Anh, **Nguyen Xuan Nguyen**, Hoang Ha, Nguyen Thai Van (2024). *Research on the overturning phenomenon of firefighting and rescue crawler robots when climbing up and down stairs*. International Journal of Intelligent Robotics and Applications, ISSN (Print): 2366-5971, DOI:org/10.1007/s41315-024-00394-3.

MỞ ĐẦU

1. Đặt vấn đề

Việt Nam là nước đang phát triển, tốc độ đô thị hóa tăng nhanh, nhiều khu dân cư, tổ hợp nhà cao tầng được xây dựng, nhiều nhà máy, xí nghiệp, xưởng sản xuất được xây dựng, nhiều loại vật liệu dễ cháy được sử dụng để xây dựng các công trình này. Điều đó đồng nghĩa với nguy cơ cháy, nhất là cháy lớn, cháy gây thiệt hại nghiêm trọng cũng ngày càng gia tăng.

Tại các nước phát triển như Nhật Bản, Châu Âu, Mỹ, Trung Quốc đã sử dụng Robot vào trong công tác chữa cháy, từ đó cho hiệu quả chữa cháy cao, an toàn cho cán bộ chiến sỹ làm nhiệm vụ chữa cháy.

Ở Việt Nam việc sử dụng robot vào chữa cháy rất hạn chế, robot nhập khẩu về Việt Nam là loại robot lớn chỉ di chuyển trên đường, không có khả năng di chuyển trên bậc cầu thang để phục vụ cho chữa cháy nhà xưởng và công trình công nghiệp cao tầng.

Để có cơ sở khoa học cho việc thiết kế, chế tạo và hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp, khi di chuyển trên bậc cầu thang nhanh nhất, ổn định không bị lật, thì cần thiết phải có nghiên cứu đầy đủ, toàn diện về động lực học và điều khiển khi của Robot chữa cháy khi chuyển động tiếp cận đám cháy trên bậc cầu thang nhà xưởng công nghiệp. Với lý do đã phân tích ở trên, luận án tiến sĩ chọn đề tài “Nghiên cứu động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp”.

2. Mục đích nghiên cứu luận án

Xây dựng mô hình, thiết lập phương trình động lực học của robot chữa cháy khi hoạt động leo lên, leo xuống cầu thang, từ kết quả khảo sát phương trình động lực học đã lập được làm cơ sở đầu vào thiết lập thuật toán điều khiển robot chữa cháy di chuyển trên bậc cầu thang với vận tốc nhanh nhất, ổn định không bị lật.

3. Những đóng góp mới của luận án

1) Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học của robot tương tác với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển lên, xuống cầu thang, đề xuất cơ cấu chống lật thông qua thuật toán điều khiển vị trí đối trọng, khảo sát hệ phương trình động lực học xác định được:

- Giá trị tối ưu của góc leo robot (góc nghiêng phía trước mặt xích) là $\gamma = 45^\circ$;
- Ảnh hưởng của các giá trị (góc dốc cầu thang β , góc leo robot γ , vận tốc lớn nhất robot V_{max} và gia tốc của đối trọng a_Q) tới khả năng bị lật của robot;
- Các cặp giá trị tương ứng, với mỗi các giá trị góc dốc của bậc cầu thang β và góc leo robot γ với vận tốc leo lớn nhất của robot V_{max} , thì cần giá trị gia tốc tương ứng của cụm ác quy a_Q để robot không bị lật.

2) Đưa ra được phương pháp điều khiển PID mờ để điều khiển chuyển động đối trọng từ vị trí giữa (trung với khối tâm robot) di chuyển tới vị trí hai cực (trên, dưới) với gia tốc mong muốn a_Q để chống lật cho robot.

3) Đã xây dựng được mô hình và phương pháp thực nghiệm mô hình tính toán lý thuyết động lực học và điều khiển Robot di chuyển trên bậc cầu thang, kết quả thực nghiệm thu được với hệ số tương quan $r > 0,8$, với kết quả này cho thấy mô hình tính toán lý thuyết có độ tin cậy cần thiết, từ đó mô hình tính toán lý thuyết mà luận án đưa ra chấp nhận được.

4. Ý nghĩa khoa học của những kết quả nghiên cứu của luận án

Bằng phương pháp nghiên cứu lý thuyết, luận án đã xây dựng mô hình, thiết lập được phương trình động lực học cho robot bánh xích khi leo cầu thang (lên, xuống) chưa xét tới động lực học dẫn tới lật. Kết

quả này là cơ sở khoa học cho việc tính toán hệ thống truyền động động cơ điện cho bánh xích đảm bảo robot có khả năng vượt chướng ngại vật (leo cầu thang) để tiếp cận đám cháy;

Kết quả nghiên cứu của luận án làm cơ sở khoa học cho việc tính toán thiết kế và hoàn thiện hệ thống di chuyển và điều khiển của robot chữa cháy công trình công nghiệp.

5. Ý nghĩa thực tiễn của luận án

Kết quả của luận án đã được ứng dụng vào tính toán thiết kế và chế tạo thử nghiệm và hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp thuộc đề tài mã số ĐTDL.CN-98/21, ngoài ra kết quả của luận án còn làm tài liệu tham khảo trong giảng dạy, trong nghiên cứu robot leo cầu thang, robot vượt chướng ngại vật.

CHƯƠNG 1 NGHIÊN CỨU TỔNG QUAN

1.1. Tổng quan sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy ở trên thế giới

1.1.1. Sử dụng robot chữa cháy ở một số nước trên thế giới



1.1.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu robot chữa cháy trên thế giới

Trên thế giới đã có nhiều công trình nghiên cứu về robot chữa cháy bao gồm nghiên cứu thiết kế chế tạo, nghiên cứu động lực học tay máy mở cửa cầu thang, nghiên cứu ổn định của robot khi di chuyển trên độ dốc lớn, từ những kết quả nghiên cứu của các tác giả trên thế giới, là cơ sở khoa học để nghiên cứu sinh theo khảo trong quá trình nghiên cứu của mình

1.2. Tổng quan về tình hình sử dụng và nghiên cứu robot chữa cháy tại Việt Nam

1.2.1. Sử dụng robot chữa cháy tại Việt Nam



1.2.2. Tổng quan về các công trình nghiên cứu về robot tại Việt Nam

Việt Nam đã có một số công trình nghiên cứu về robot chữa cháy còn hạn chế, đã có đề tài độc lập cấp nhà nước về nghiên cứu thiết kế chế tạo robot chữa cháy công trình công nghiệp, nhưng đề tài chỉ tập trung nghiên cứu thiết kế chế tạo, chưa có nội dung nghiên cứu về động lực học và điều khiển robot lên xuống cầu thang.

1.3. Mục tiêu nghiên cứu

Xây dựng được mô hình, thiết lập được các phương trình động lực học của robot chữa cháy khi hoạt động leo lên, leo xuống cầu thang, khảo sát các phương trình động lực học đã thiết lập được, từ kết quả khảo

sát làm cơ sở đầu vào thiết lập thuật toán điều khiển robot chữa cháy khi di chuyển lên, xuống bậc cầu thang nhằm mục đích robot tiếp cận đám cháy nhanh nhất, ổn định không bị lật.

1.4. Nội dung nghiên cứu của luận án

1.4.1. Nghiên cứu lý thuyết

- Xây dựng mô hình động lực học robot leo cầu thang khi chưa xét tới hiện tượng lật, từ đó thiết lập hệ điều khiển truyền động động cơ điện cho bánh xích robot;
- Xây dựng mô hình, thiết lập phương trình động lực học khi robot va chạm với cầu thang, đề xuất phương pháp chống lật;
- Khảo sát phương trình động lực học, từ đó tính toán các thông số để điều khiển chuyển động của đối trọng nhằm chống lại hiện tượng lật.
- Xây dựng thuật toán điều khiển robot di chuyển lên, xuống bậc cầu thang

1.4.2. Nghiên cứu thực nghiệm

Kiểm chứng mô hình tính toán lý thuyết, từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm đem so sánh với kết quả tính toán lý thuyết từ đó đánh giá độ tin cậy của mô hình tính toán lý thuyết, từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm rút ra các kết luận.

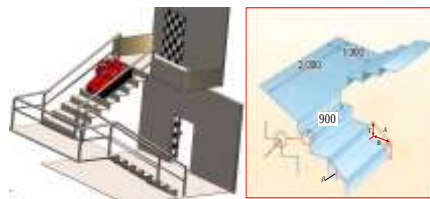
1.5. Đối tượng nghiên cứu của luận án

1.5.1. Đặc điểm và thông số của đám cháy công trình công nghiệp

- Đám cháy thường dễ phát triển thành đám cháy lớn, gây thiệt hại nghiêm trọng đến hàng hóa, tài sản và tính mạng của công nhân làm việc trong công trình công nghiệp.
- Thông số về nhiệt độ đám cháy: Theo kết quả nghiên cứu nhiệt độ ngọn lửa cháy chất rắn là khoảng 800-1100 độ C, cháy chất lỏng là 1000-1200 độ C và chất khí là 1000- 1300 độ C tùy thuộc diện tích, qui mô đám cháy;

1.5.2. Cầu thang trong nhà xưởng công nghiệp

Cầu thang nhà xưởng công nghiệp được xây dựng theo quy định tiêu chuẩn QCVN 06:2022/BXD về phòng chống cháy nổ cho công trình xây dựng thì hình dáng cầu thang được chế tạo vuông (không được xoắn ốc), các thông số kích thước như chiều nghỉ (được mô tả trên hình 1.16), độ dốc $\beta \leq 45^0$, chiều rộng mặt bậc cầu thang ≥ 250 (mm).

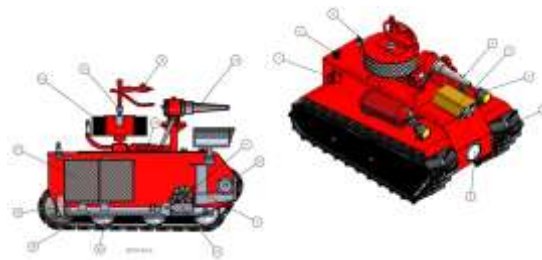


Hình 1.16: Quy cách cầu thang nhà xưởng công nghiệp

1.5.3. Robot chữa cháy công trình công nghiệp

Thiết bị nghiên cứu là robot chữa cháy công trình công nghiệp được chế tạo phiên bản đầu tiên (phiên bản phục vụ mục đích nghiên cứu, hoàn thiện trong quá trình thiết kế chế tạo phiên bản thực tế) cho đề tài cấp nhà nước mã số: mã số ĐTĐL.CN-98/21

a) Cấu tạo chung robot chữa cháy công trình công nghiệp



Hình 1.17: Cấu tạo robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp

1-Bánh xích cao su; 2,8-Đèn chiếu sáng vàng (đèn phá xương, phá khói); 3-camera quan sát; 4- bình cứu hỏa hoặc bình oxy thở; bộ phận nút ấn gồm 5-khóa điện, 6-nút dừng khẩn cấp, 7- ổ cắm sạc pin cho ắc quy; 9-khung vỏ; 10-bánh sao (bánh truyền động cho xích); 11-động cơ điện truyền động cho xích; 12- lăng phun chất lỏng chữa cháy; 13-hệ thống điều khiển hướng (góc) của lăng phun; 14- van điều khiển lưu lượng phun; 16- khớp nối cuộn dây chữa cháy vào lăng phun; 18- bánh đai xích; 19-hệ thống puly-đai răng điều khiển đối trọng (di chuyển vị trí cụm ắc quy).

b) Nguyên lý hoạt động của robot chữa cháy

Robot chữa cháy di chuyển thông qua hệ thống bánh xích, mỗi bên bánh xích được dẫn động bởi một động cơ độc lập.



Hình 1.18: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot để chống lật

(1) -Bàn trượt bi tạo mặt phẳng gắn ắc quy; (2)- dây đai răng; (3) trục truyền động

1.6. Phương pháp nghiên cứu của luận án

1.6.1. Phương pháp nghiên cứu lý thuyết

Áp dụng phương pháp nghiên cứu cơ học lý thuyết để nghiên cứu động lực học quá trình leo cầu thang của robot.

1.6.2. Phương pháp nghiên cứu thực nghiệm

Áp dụng các phương pháp đo lường các đại lượng không điện bằng điện để xác định các thông số đầu vào và xác định các thông số đầu ra.

Kết luận chương 1

1. Công nghệ và thiết bị chữa cháy bằng robot ở Việt Nam còn nhiều hạn chế, hầu như chưa được áp dụng rộng rãi ngoài hai thành phố lớn là Hà Nội và Thành phố Hồ Chí Minh. Việc sử dụng robot chữa cháy cho hiệu quả chữa cháy cao, an toàn tính mạng và sức khỏe của cán bộ chiến sỹ chữa cháy.

2. Trên thế giới có nhiều công trình nghiên cứu về robot chữa cháy, đã được áp dụng vào thực tiễn để tạo ra các robot chữa cháy sử dụng trong thực tiễn.

3. Ở Việt Nam đã có đề tài độc lập cấp nhà nước nghiên cứu thiết kế chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy công trình công nghiệp, song đề tài chỉ tập trung vào nội dung thiết kế chế tạo chưa có nghiên cứu sâu về động lực học và điều khiển robot chữa cháy.

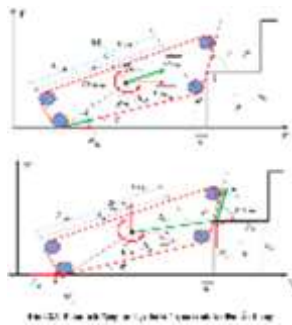
4. Để có cơ sở lý thuyết cho quá trình tính toán thiết kế, hoàn thiện robot chữa cháy công trình công nghiệp, đặc biệt là hoàn thiện khả năng di chuyển lên xuống cầu thang, robot ổn định không bị lật thì cần thiết phải nghiên cứu động lực học và điều khiển quá trình leo lên, leo xuống cầu thang. Với nội dung: “Nghiên cứu động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp” mà luận án lựa chọn là cần thiết và có tính thời sự.

CHƯƠNG 2

ĐỘNG LỰC HỌC VÀ ĐIỀU KHIỂN QUÁ TRÌNH ROBOT DI CHUYỂN LÊN, XUỐNG CẦU THANG

2.1. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo lên cầu thang

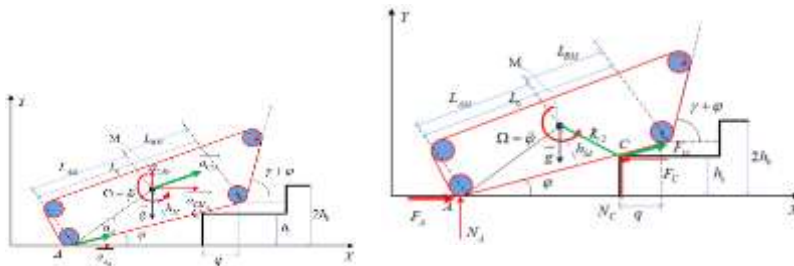
2.1.1. Động lực học tại bước 1 khi leo lên



Hệ phương trình động lực học robot tại bước 1 gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} &= ma_{CMx} = F_M \cos(\gamma + \varphi) + F_A - F_C \\ \sum F_y = m \frac{d^2y}{dt^2} &= ma_{CMy} = F_M \sin(\gamma + \varphi) + N_A + N_C - m_c g \end{aligned} \quad (2.1)$$

2.1.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo lên

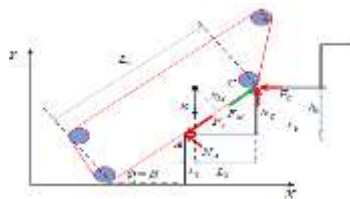


Hình 2.2: Phân tích động lực học bước 2 quá trình leo lên cầu thang

Phương trình động lực học robot tại bước 2 gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} &= ma_{CMx} = F_M \cos(\varphi) + F_A - F_C \\ \sum F_y = m \frac{d^2y}{dt^2} &= ma_{CMy} = F_M \sin(\varphi) + N_A + N_C - m_c g \end{aligned} \quad (2.7)$$

2.1.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo lên



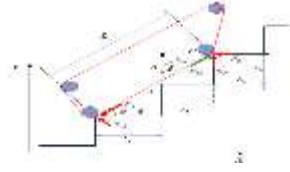
Hình 2.3: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo lên cầu thang

Phương trình động lực học robot tại bước 3 là

$$\sum F_x = m \frac{d^2x}{dt^2} = ma_{CMx} = F_M \cos \beta + F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_C \quad (2.10)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = ma_{CM_y} = F_M \sin \beta + F_A \sin \beta + N_A \cos \beta - m_c g + N_C$$

2.1.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo lên

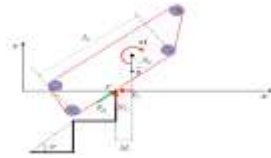


Hình 2.4: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo lên cầu thang

$$\sum F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = ma_{CM_x} = F_M \cos \beta + F_A \cos \beta - N_A \sin \beta - F_C \quad (2.11)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = ma_{CM_y} = F_M \sin \beta + F_A \sin \beta + N_A \cos \beta - m_c g + N_C$$

2.1.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo lên



Hình 2.5: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo lên cầu thang

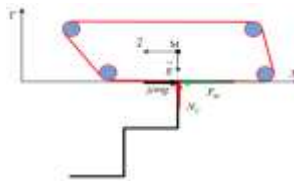
Hệ phương trình động lực học robot tại bước 5 gồm:

$$\sum F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = ma_{CM_x} = F_M \cos \varphi - F_C \quad (2.12)$$

$$\sum F_y = m \frac{d^2 y}{dt^2} = ma_{CM_y} = F_M \sin \varphi + N_C - m_c g$$

2.2. Xây dựng phương trình động lực học robot khi leo xuống cầu thang

2.2.1. Động lực học robot tại bước 1 quá trình leo xuống

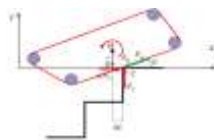


Hình 2.6: Phân tích động lực học bước 1 quá trình leo xuống cầu thang

Phương trình động lực học robot tại bước 1 quá trình leo xuống cầu thang là:

$$\sum F_x = m \frac{d^2 x}{dt^2} = F_M - \mu m_c g \quad (2.13)$$

2.2.2. Động lực học robot tại bước 2 quá trình leo xuống

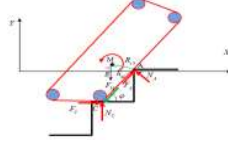


Hình 2.7: Phân tích động lực học bước 2 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 2 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_c a_{CMx} = -F_M \cos \varphi + F_C = -F_M \cos \varphi + \mu m_c g \\ \sum_{\Sigma c_c} F_y &= m_c a_{CMy} = -F_M \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.14)$$

2.2.3. Động lực học robot tại bước 3 quá trình leo xuống cầu thang

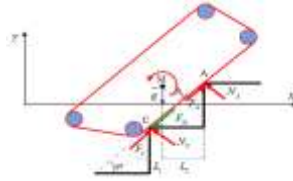


Hình 2.8: Phân tích động lực học bước 3 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 3 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_c a_{CMx} = F_C + F_A \cos \varphi - N_A \sin \varphi - F_M \cos \varphi \\ \sum_{\Sigma_M \sin \varphi} F_y &= m_c a_{CMy} = N_C + N_A \cos \varphi - F_A \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.15)$$

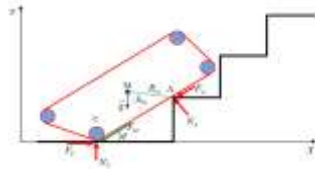
2.2.4. Động lực học robot tại bước 4 quá trình leo xuống cầu thang



Hình 2.9: Phân tích động lực học bước 4 quá trình leo xuống cầu thang

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_c a_{CMx} = (-F_M - F_A + F_C) \cos \beta - (N_A + N_C) \sin \beta \\ \sum_{\Sigma(-F_M+N_A+N_C) \cos \beta (N_A+N_C)c} F_y &= m_c a_{CMy} = \sin \end{aligned} \quad (2.16)$$

2.2.5. Động lực học robot tại bước 5 quá trình leo xuống cầu thang

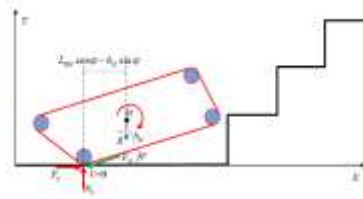


Hình 2.10: Phân tích động lực học bước 5 quá trình leo xuống cầu thang

Hệ phương trình động lực học robot tại bước 5 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\begin{aligned} \sum F_x &= m_c a_{CMx} = F_C - F_A \cos \varphi - N_C \sin \varphi - F_M \cos \varphi \\ \sum F_y &= m_c a_{CMy} = N_C + N_A \cos \varphi - F_A \sin \varphi - F_M \sin \varphi \end{aligned} \quad (2.17)$$

2.2.6. Động lực học robot tại bước 6 quá trình leo xuống cầu thang



Hình 2.11: Phân tích động lực học bước 6 quá trình leo xuống cầu thang

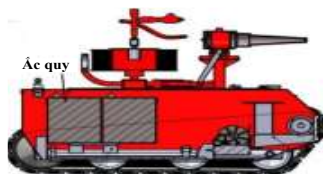
Hệ phương trình động lực học robot tại bước 6 quá trình leo xuống cầu thang bao gồm:

$$\begin{aligned}\sum F_x &= m_c a_{CMx} = F_M \cos \varphi - F_C \\ \sum F_y &= m_c a_{CMy} = F_M \sin \varphi + N_C - m_c g\end{aligned}\quad (2.18)$$

2.3. Xây dựng hệ thống điều khiển chuyển động cho robot

2.3.1. Tính toán động cơ truyền động cho robot

Robot được trang bị 02 động cơ truyền động độc lập cho 2 bánh xích, được lắp thông qua hộp số và bánh sao (bánh trung gian kết nối với mắt xích truyền lực), được mô tả trên hình 2.12. Động cơ lắp trên robot là loại động cơ một chiều



Hình 2.12: Động cơ truyền động trang bị cho robot

2.3.2. Tính toán bộ điều khiển động cơ truyền động cho robot

2.3.2.1. Driver điều khiển động cơ



Hình 2.13: Bộ điều khiển động cơ DC thông minh DRIVER PID SMART MOTOR DC

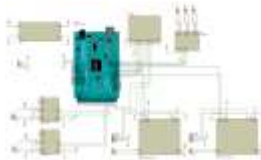
2.3.2.2. Xây dựng mạch điều khiển động cơ

a) Module xử lý trung tâm



Hình 2.15: Vi điều khiển Arduino MEGA 2560

Mạch giao diện của hệ thống điều khiển được phát triển như minh họa trong Hình 2.16.



Hình 2.16: Mạch giao diện của hệ thống điều khiển

2.3.2.3. Thuật toán điều khiển động cơ

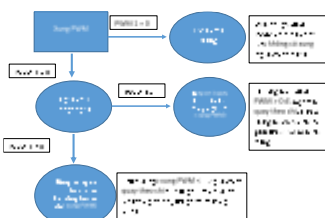
Thuật toán được trình bày trên hình 2.17.

- Di chuyển



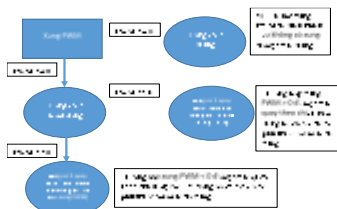
Hình 2.17: Sơ đồ thuật toán di chuyển robot chữa cháy

- Điều khiển động cơ 1.



Hình 2.18: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 1

- Điều khiển động cơ 2.



Hình 2.19: Sơ đồ thuật toán điều khiển động cơ 2

2.4. Mô phỏng và đánh giá kết quả qua trình leo cầu thang của Robot chữa cháy

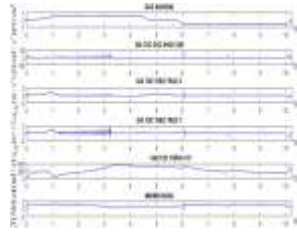
Do không có hiện tượng trượt, quay ngang nên chuyển động của robot có ba thành phần ở mỗi giai đoạn gồm: chuyển động tịnh tiến theo trục X, chuyển động theo trục Y và một chuyển động quay theo trục Z. Ba thành phần này liên quan mật thiết với nhau và với trọng tâm của robot

2.4.1. Các tham số và giả định trong mô phỏng

Để tiến hành quá trình mô phỏng và đánh giá kết quả đáp ứng của động cơ BLDC được trang bị, luận án sử dụng các thông số được mô tả trên bảng 2.1:

Thông số của mô hình và các tham số của mô hình			
STT	Mô tả	Đơn vị	Giá trị
1	Khối lượng của robot	kg	1.5
2	Chiều dài của robot	m	0.2
3	Chiều rộng của robot	m	0.15
4	Chiều cao của robot	m	0.1
5	Chiều dài của trục X	m	0.1
6	Chiều dài của trục Y	m	0.1
7	Chiều dài của trục Z	m	0.1
8	Chiều dài của trục X và Y	m	0.1
9	Chiều dài của trục X và Z	m	0.1
10	Chiều dài của trục Y và Z	m	0.1
11	Chiều dài của trục X, Y và Z	m	0.1
12	Chiều dài của trục X, Y và Z	m	0.1

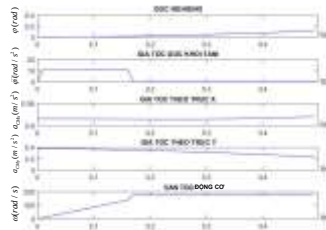
2.4.2. Kết quả mô phỏng



Hình 2.20: Kết quả mô phỏng quá trình leo cầu thang

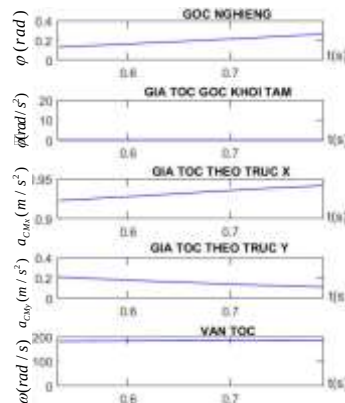
(Leo lên-đi trên mặt phẳng- leo xuống)

a) Quá trình leo lên



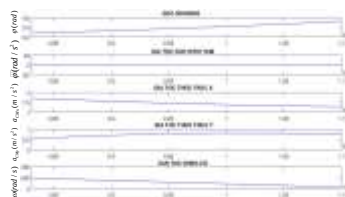
Hình 2.21: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo lên

- Bước 1 leo lên.

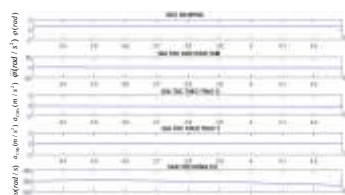


Hình 2.22: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo lên

- Bước 2 leo lên.

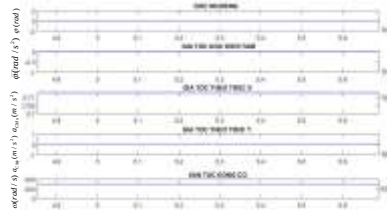


Hình 2.23: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo lên



Hình 2.24: Kết quả mô phỏng bước 4 quá trình leo lên

- Bước 3 và bước 4.



Hình 2.25: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo lên

- Bước 5 quá trình leo lên diễn ra khi khối tâm robot đi qua mũi bậc cầu thang cuối cùng (mũi của chiều nghiêng), khi đó dưới tác dụng của trọng lực tại khối tâm, robot bị rơi xuống chiều nghiêng khi tiến lên trong bước 5, khi đó góc nghiêng φ sẽ biến đổi giảm từ $\varphi = \beta = 0.523(rad)$ về tới $\varphi = 0$, tương đương mặt xích đã nằm ngang trên chiều nghiêng. Khi đó bước 5 kết thúc, và robot chuyển động trên mặt phẳng nằm ngang. Kết thúc quá trình leo lên, hình 2.26 mô tả.

b) Quá trình leo xuống

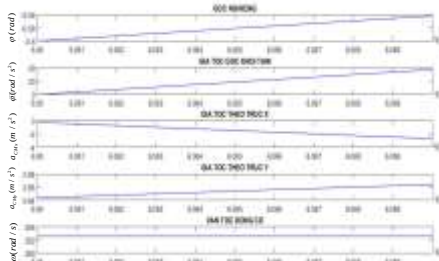


Hình 2.26: Kết quả mô phỏng bước 1 quá trình leo xuống

- Tương tự với quá trình leo lên, trạng thái quá trình leo xuống từ bước 2 đến bước 6 (bánh xích robot tiếp xúc với mặt phẳng đất nằm ngang) được lần lượt mô tả trên các hình từ hình 2.27 đến hình 2.30.



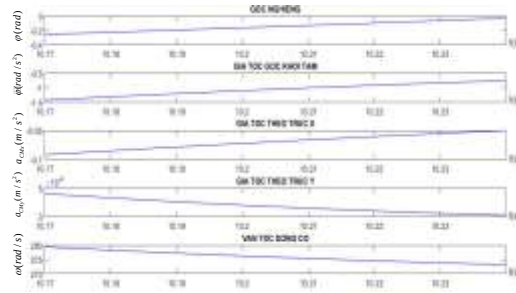
Hình 2.27: Kết quả mô phỏng bước 2 quá trình leo xuống



Hình 2.28: Kết quả mô phỏng bước 3 quá trình leo xuống



Hình 2.29: Kết quả mô phỏng bước 4 quá trình leo xuống



Hình 2.30: Kết quả mô phỏng bước 5 quá trình leo xuống

Kết luận chương 2:

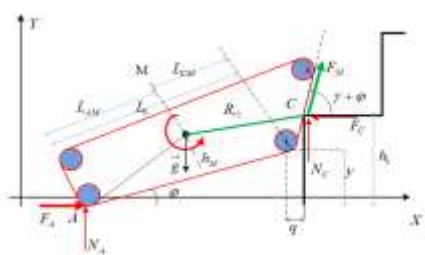
Từ kết quả thu được trong chương 2, luận án có rút ra một số kết luận sau:

1. Đã xây dựng mô hình, thiết lập được các phương trình động lực học cho robot trong quá trình leo cầu thang với giả thiết chưa xét tới hiện tượng va đập dẫn tới lật;
2. Đã xây dựng bộ điều khiển chuyển động cho robot với hệ truyền động cho hai bánh xích sử dụng động cơ BLDC với phương pháp điều khiển vận tốc (tăng, giảm tốc) kèm theo driver điều khiển chuyển động cho động cơ BLDC truyền động;
3. Đã mô phỏng chuyển động của robot lên xuống bậc cầu thang, kết quả mô phỏng của hệ phương trình động lực học, đã chứng minh khả năng điều khiển của bộ điều khiển chuyển động robot với động cơ BLDC có công suất được lựa chọn, đồng thời chứng minh tính chính xác của hệ phương trình động lực học đã được xây dựng.

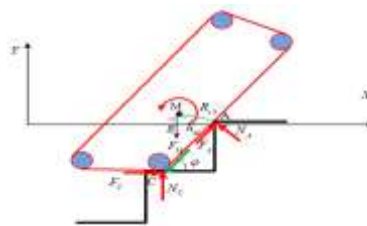
CHƯƠNG 3

ĐỘNG LỰC HỌC KHI XẢY RA HIỆN TƯỢNG LẬT VÀ GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN ĐỂ CHỐNG LẠI HIỆN TƯỢNG LẬT KHI ROBOT LEO CẦU THANG

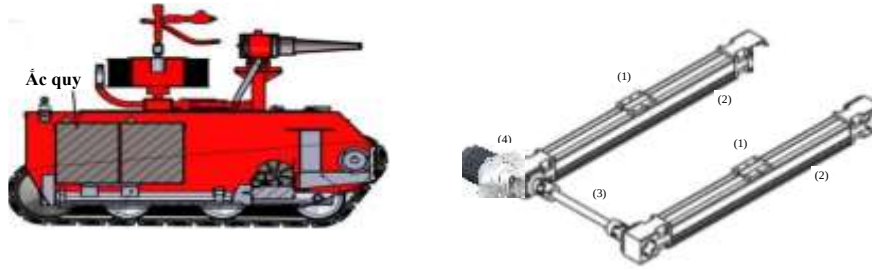
Như đã phân tích trong phần động lực học robot leo cầu thang, hiện tượng lật của robot có khả năng xuất hiện tại đầu giai đoạn leo lên cầu thang và đầu giai đoạn leo xuống cầu thang. Nếu góc $\beta \geq 90^\circ$ thì robot sẽ bị lật úp.



a) hiện tượng xoay quanh C khi robot leo lên cầu
thang



b) Hiện tượng xoay quanh C khi robot leo xuống
cầu thang



c) Đề xuất sử dụng vị trí ắc quy để thay đổi vị trí trọng tâm robot

Hình 3.1: Cấu tạo bộ phận thay đổi trọng tâm robot

3.1. Xây dựng phương trình động lực học xét tới quá trình động lực học dẫn tới hiện tượng lật của robot

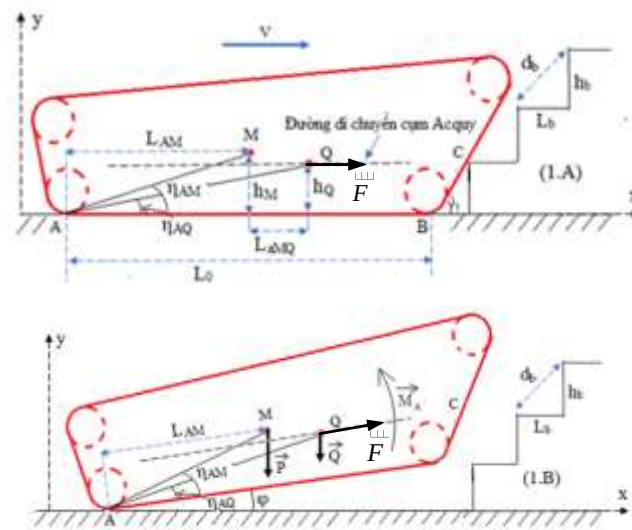
3.1.1. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo lên cầu thang

a) Xét quá trình va chạm tại bậc thứ nhất

- Quá trình va chạm tại bậc thứ nhất được mô tả trên hình 3.2 (A).

Có được xung lực và chạm là:

$$\vec{N} = \frac{\sum \vec{S}_k}{\tau_0} = -\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} \cdot \vec{V} = \left(-\frac{m_c(1+k)}{\tau_0} V, 0 \right) \quad (3.5)$$

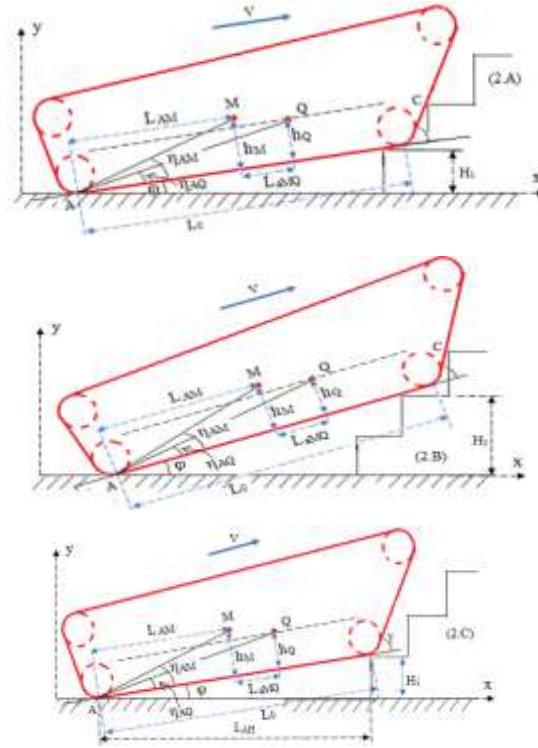


Hình 3.3: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 1

Hệ phương trình động lực học của hệ thống gồm hai hệ toạ độ suy rộng 1 và hệ toạ độ suy rộng 2 được viết như sau:

$$\begin{cases} J_A \ddot{\varphi} = -m_R \cdot g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) \\ -m_Q \cdot g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) + M_A \\ m_Q \ddot{x} = F - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.19)$$

b) Xét quá trình va chạm tại bậc thứ hai trở đi



Hình 3.4: Mô tả sự va chạm của xe và bậc cầu thang tại các bậc thứ 2 trở đi

Phương trình vi phân biểu diễn sự biến thiên của góc φ sau thời gian τ_0 sẽ là:

$$J_A \ddot{\varphi} = -m_R g \cdot d_{AM} \cdot \cos(\eta_{AM} + \varphi) - m_Q g \cdot \sqrt{(L_{AM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \cdot \cos(\eta_{AQ} + \varphi) \quad (3.36)$$

3.1.2. Quá trình động lực học dẫn tới lật khi leo xuống cầu thang

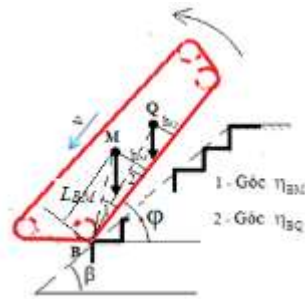
a) Giai đoạn đầu tiên khi leo xuống

- Xét hệ tọa độ suy rộng 1.

Phương trình động lực học của cụm xe robot sẽ là:

$$J_{X_0} \ddot{\varphi} = g \cdot \cos \varphi \{ (x_0 + V) \cdot (m_R + m_Q) - L_{OM} m_R - L_{OQ}(t) \cdot m_Q \} \quad (3.43)$$

b) Giai đoạn thứ 2 khi leo xuống



Hình 3.6: Mô tả xe Robot ở giai đoạn 2 khi leo xuống cầu thang

Phương trình vi phân biểu diễn chuyển động quay của cụm xe robot:

$$J_B \ddot{\varphi} = -g \cdot m_R \cdot d_{BM} \cos(\eta_{BM} + \varphi) - g \cdot m_Q \cdot d_{BQ} \cos(\eta_{BQ} + \varphi) \quad (3.47)$$

3.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ điều khiển chuyển động hệ ác quy chống hiện tượng lật cho robot leo cầu thang

a) Phân tích lựa chọn bộ điều khiển

- Có phản ứng nhanh để cho ra kết quả điều khiển sớm;
- Đảm bảo độ chính xác cần thiết;
- Có cấu trúc đảm bảo sự đơn giản để có thể áp dụng dễ dàng cho việc lập trình trên vi điều khiển, PLC công nghiệp được trang bị trong robot chữa cháy.

b) Yêu cầu điều khiển

- Khi lên và va vào bậc thứ nhất (bậc 1)

$$\begin{cases} M_A = \begin{cases} M_A = \frac{m_c(1+k).h_b}{\tau_0} V khit_1 \leq t < t_1 + \tau_0 \\ M_A = 0 khit \geq t_1 + \tau_0 \end{cases} \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.54)$$

- Khi lên và va vào bậc thứ 2 trở lên

$$\begin{cases} M_A = \begin{cases} M_A = \frac{(1+k)}{\tau_0} [(L_{AH} + L_b - V.T_c)b - ah] khit_2 \leq t \leq t_2 + \tau_0 \\ M_A = 0 khit > t_2 + \tau_0 \end{cases} \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.55)$$

- Khi đi xuống

$$\begin{cases} M_A = 0 \\ F = m_Q \ddot{x}_Q - m_Q g \sin \varphi + m_Q \dot{\varphi}^2 \cdot \sqrt{(L_{BM} + x_Q)^2 + h_Q^2} \end{cases} \quad (3.56)$$

Khi có tác động của xung lực thì mô men sinh ra do xung lực $M_A \neq 0$, khi không có xung lực tác động thì $M_A = 0$

3.2.1. Xây dựng bài toán điều khiển lực F

Trường hợp 1: Nếu $M_A = 0$

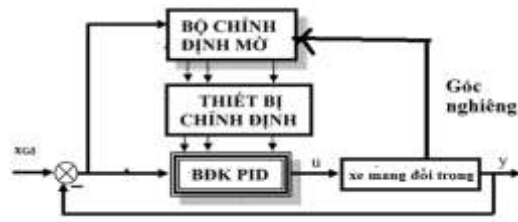
- Khi xe lên cầu thang, lực F được thiết kế để đưa đối trọng di chuyển dọc phương chuyển động của xe từ vị trí hiện tại tới điểm cuối hành trình phía mũi xe.

- Khi xe đi xuống cầu thang, lực F được thiết kế với chiều ngược với phương chuyển động của xe, đưa đối trọng chuyển động theo hướng đuôi xe.

Trường hợp 2: Nếu $M_A \neq 0$, lực F cần được ngược chiều để giảm tác động của M_A để giảm góc nghiêng, tránh lật xe.

- Khi góc nghiêng $= 0$: lực F giữ ko đổi;
- Khi góc nghiêng nhỏ: lực F giữ không đổi hoặc tăng nhẹ;
- Khi góc nghiêng vừa: lực F tăng nhẹ hoặc tăng vừa;
- Khi góc nghiêng lớn: lực F tăng vừa hoặc tăng lớn;
- Khi góc nghiêng rất lớn dẫn đến nguy cơ lật: lực F tăng lớn hoặc rất lớn.

Cấu trúc bộ điều khiển PID mờ như sau (hình 3.7):

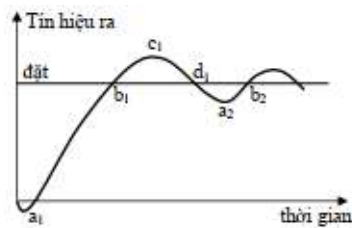


Hình 3.7: Cấu trúc bộ điều khiển PID mờ

Mô hình toán của bộ PID mờ

$$F(t) = K_p e(t) + K_t \int_0^t e(t) dt + K_d \frac{de(t)}{dt} \quad (3.57)$$

Luật chỉnh định PID



Hình 3.8: Tín hiệu ra bộ điều khiển PID mờ

3.2.2. Xây dựng bộ điều khiển PID mờ

1) Các biến vào/ra:

- Có 2 tín hiệu đầu vào gồm: sai số vị trí trọng tâm, góc nghiêng của xe;
- Có 3 tín hiệu ra: KP, KD, KI

2) Xác định biến ngôn ngữ:

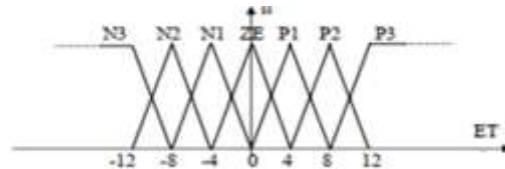
- Sai số vị trí đối trọng: {âm lớn, âm nhỏ, bằng không, dương nhỏ, dương lớn}
- $$ET = \{N3, N2, N1, ZE, P1, P2, P3\}$$
- Góc nghiêng: {không nghiêng, nghiêng nhỏ, nghiêng vừa, nghiêng lớn, nghiêng rất lớn}
- $$IG = \{L1, L2, L3, L4, L5\}$$

Các đầu ra:

- Hệ số tỷ lệ KP: {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}
- Hệ số vi phân KD: {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}
- Hệ số tích phân KI: {bằng không, nhỏ, vừa, lớn, rất lớn} = {Z, S, M, L, U}

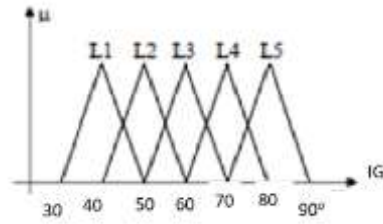
3) Xác định tập mờ cho các biến vào/ra

- Xác định miền giá trị của các biến ET



Hình 3.9: Miền giá trị của ET

- Xác định miền giá trị của góc nghiêng



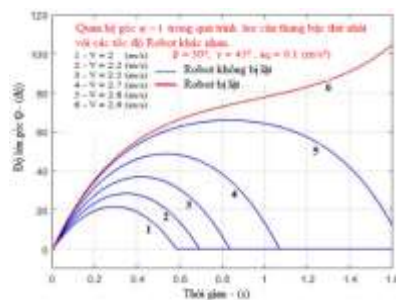
Hình 3.10: Miền giá trị của góc nghiêng

4) Xây dựng luật hợp thành và thiết bị hợp thành

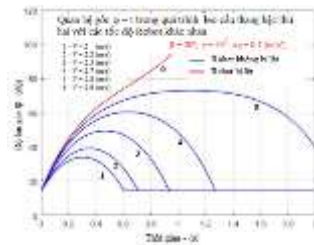
5) Giải mờ và tối ưu

Luận án chọn luật hợp thành theo quy tắc Min-Max, và giải mờ theo phương pháp trọng tâm kết quả bộ điều khiển được thể hiện tại mục khảo sát dưới đây.

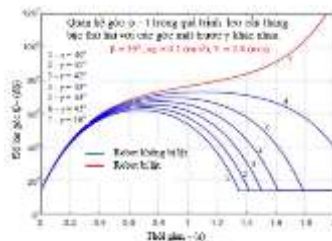
3.3. Khảo sát động lực học của mô hình dẫn đến khả năng có hiện tượng lật của robot



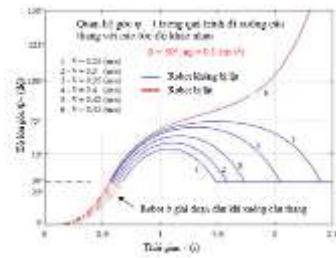
Hình 3.10: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot ϕ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ nhất với các tốc độ khác nhau



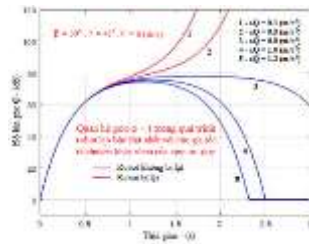
Hình 3.11: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot ϕ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ hai với các tốc độ khác nhau



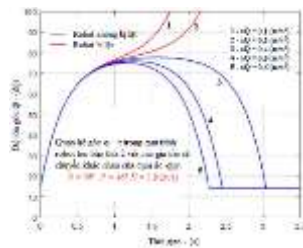
Hình 3.12: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot ϕ trong quá trình leo lên cầu thang bậc thứ hai với các góc leo γ (góc mặt trước của robot) khác nhau



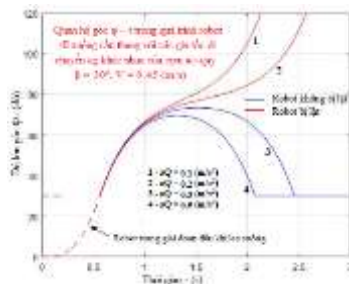
Hình 3.13: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo xuống cầu thang ở các tốc độ khác nhau



Hình 3.14: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ nhất với các gia tốc di chuyển a_0 khác nhau của áp quy



Hình 3.15: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo cầu thang lên bậc thứ hai với các gia tốc di chuyển a_0 khác nhau của áp quy



Hình 3.16: Kết quả khảo sát góc nghiêng robot φ trong quá trình leo xuống cầu thang với các gia tốc di chuyển a_0 khác nhau của áp quy

Kết luận chương 3

Từ kết quả đã trình bày trong chương 3 ở trên, luận án rút ra một số kết luận sau:

1. Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học xét tới hiện tượng lật của robot;

2. Thiết lập được mối quan hệ giữa các đại lượng góc nghiêng φ là hàm của gia tốc đối trọng a_0 . Kết quả này tạo thuận lợi để thiết lập thuật toán điều khiển PID mờ bảo sinh ra lực F để di chuyển đối trọng từ vị trí ban đầu tới cuối hành trình với gia tốc $a_0 = \ddot{x}_Q$ để chống lại hiện tượng lật;

3. Dựa trên phương trình động lực học và bộ điều khiển đối trọng, luận án tiến hành khảo sát hiện tượng lật (ứng dụng phần mềm Matlab trong tính toán và mô phỏng), từ đó rút ra được cặp giá trị V và $a_Q = \ddot{x}_Q$ tương ứng với các giá trị góc bậc cầu thang có góc nghiêng khác nhau (từ 30 đến 45 độ, tương ứng với góc nghiêng của bậc cầu thang được sử dụng trong xây dựng công trình tại Việt Nam hiện nay theo quy chuẩn QCVN 06:2022/BXD)

4. Luận án đã xác định được giá trị vận tốc của robot khi leo lên và leo xuống cầu thang ứng với độ dốc của cầu thang và gia tốc thay đổi trọng tâm đối trọng a_Q . Kết quả nghiên cứu tại chương này là tài liệu tham khảo cho việc nghiên cứu chế tạo các robot chữa cháy dạng bánh xích leo cầu thang, từ kết quả này có thể giúp các nhà nghiên cứu tối ưu được kích thước của robot chữa cháy mà vẫn đảm bảo khả năng robot không bị lật khi di chuyển tiếp cận đám cháy với vận tốc lớn nhất $V_{\max}$, khi sử dụng phương pháp điều khiển trọng tâm chống lại khả năng lật.

CHƯƠNG 4

THỰC NGHIỆM KIỂM CHỨNG MÔ HÌNH LÝ THUYẾT

4.1. Mục tiêu và nhiệm vụ thực nghiệm kiểm chứng mô hình lý thuyết

4.1.1. Mục tiêu nghiên cứu thực nghiệm

Xác định được góc lật φ của robot khi leo lên, leo xuống cầu thang (góc nghiêng của robot) với các vận tốc khác nhau và gia tốc a_Q khác nhau.

4.1.2. Nhiệm vụ nghiên cứu thực nghiệm

- Xác định khả năng leo cầu thang với hệ thống truyền động được trang bị dựa trên mô hình động lực học quá trình leo cầu thang của robot (chương 2);
- Xác định góc lật của robot khi di chuyển có va chạm dẫn đến hiện tượng lật
- Kiểm định lại khả năng chống lật với sự điều khiển chuyển động khối tâm với các trường hợp gia tốc khác nhau.

4.1.3. Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm

Đối tượng nghiên cứu thực nghiệm là đề tài cấp nhà nước “**Nghiên cứu công nghệ, thiết kế và chế tạo thử nghiệm robot chữa cháy cho công trình công nghiệp**”, mã số ĐTĐL.CN-98/21. Địa điểm tiến hành thực nghiệm tại Công ty cổ phần thiết bị chuyên dùng Việt Nam.

4.2. Chọn tham số thay đổi điều khiển và thông số đánh giá

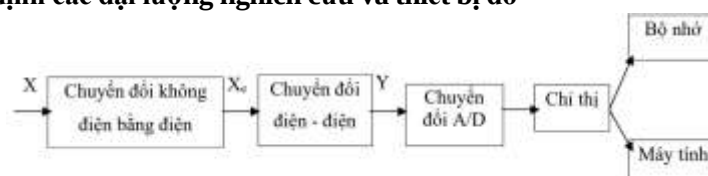
4.2.1. Chọn tham số thay đổi điều khiển

- Độ dốc cầu thang thanh đôi từ 30 độ đến 35 độ
- Vận tốc của robot di lên xuống cầu thang
- Gia tốc thay đổi trọng tâm của đối trọng

4.2.2. Chọn thông số đánh giá

Mục tiêu của nghiên cứu là robot tiếp cận đám cháy nhanh nhất nhưng không bị lật, do vậy thông số đánh giá là góc lật của robot. Để đánh giá khả năng bị lật của robot, luận án dựa vào chỉ tiêu góc nghiêng của robot (góc φ). Do vậy, luận án lựa chọn thông số đánh giá đầu ra của thực nghiệm là góc lật φ

4.3. Phương pháp xác định các đại lượng nghiên cứu và thiết bị đo



Hình 4.1: Sơ đồ cấu trúc dạng khối của thiết bị thí nghiệm

4.3.1. Phương pháp điều chỉnh độ dốc cầu thang và phương pháp xác định góc nghiêng cầu thang

Để có thể thực nghiệm robot leo lên cầu thang với các góc nghiêng khác nhau, luận án đã tiến hành chế tạo 01 cầu thang thử nghiệm, cầu thang này có khả năng thay đổi được độ dốc cầu thang thông qua các khớp (hình 4.2).



Hình 4.2: Cầu thang thực nghiệm với các khớp được chế tạo để thay đổi góc nghiêng

Hình 4.3: Thước đo góc điện tử được sử dụng để đo độ dốc cầu thang

4.3.2. Phương pháp xác định vận tốc và gia tốc di chuyển



4.3.3. Phương pháp xác định góc nghiêng của robot



c) Cảm biến gắn trên nắp xe robot tại điểm có mặt phẳng nằm ngang

Hình 4.5: Cấu tạo và phương pháp gắn cảm biến đo góc nghiêng trên robot

4.3.4. Thiết bị khuếch đại và chuyển đổi A/D



Hình 4.6: Thiết bị DMC Plus

4.4. Tổ chức tiến hành thí nghiệm

4.4.1. Tổ chức thí nghiệm

a) Lắp đặt thiết bị thí nghiệm:

b) Các tham số thay đổi trong quá trình thí nghiệm

- Độ dốc cầu của cầu thang β thay đổi trong các trường hợp khác nhau ($\beta = 30^\circ - 45^\circ$ theo quy chuẩn QCVN 06:2022/BXD về phòng chống cháy nổ cho công trình xây dựng) thông qua việc điều chỉnh các lỗ khớp của cầu thang được chế tạo thí nghiệm, và trong hai cầu thang của hai trường khác nhau.

- Vận tốc robot thay đổi trong các trường hợp khác nhau thông qua việc đặt giá trị đầu vào từ cần của điều khiển từ xa (vận tốc này giới hạn $V_{max} \leq 2,8$ (m/s) do khả năng đáp ứng của động cơ truyền động).

c) Đo các thông số đầu ra của thí nghiệm

Góc nghiêng robot φ , vận tốc leo robot V , a_Q gia tốc di chuyển của cụm ắc quy (đổi trọng) được đo và ghi lại bằng số trên môi trường EXCEL.

d) Tiến hành thí nghiệm

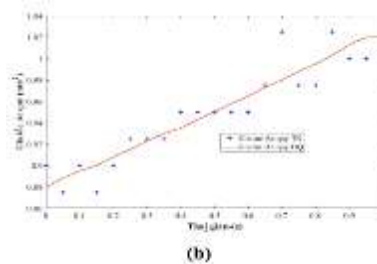
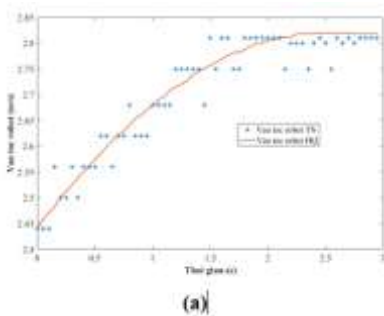


Hình 4.7: Tổ chức thí nghiệm

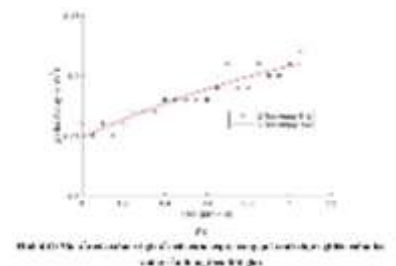
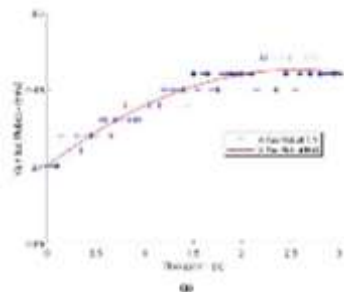
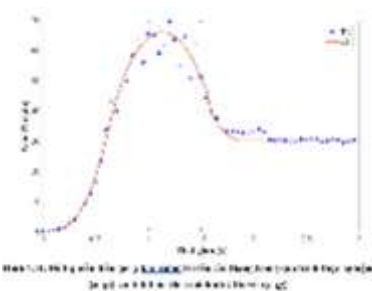


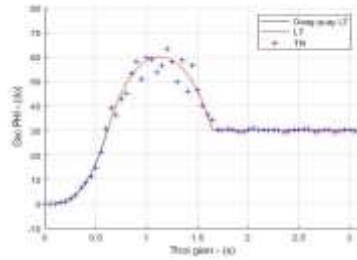
Hình 4.8: Tổ chức thí nghiệm. Người điều khiển robot leo cầu thang từ xa có thể nâng thay đổi độ dốc

4.4.2. Kết quả thực nghiệm



Hình 4.10: Vận tốc của robot và gia tốc của cụm ắc quy trong quá trình thực nghiệm robot leo lên cầu thang theo thời gian





Hình 4.13: Đồ thị biểu diễn góc φ khi robot xuống cầu thang trong quá trình thực nghiệm (φ_{TN}) và tính toán theo mô hình lý thuyết (φ_{LT})

Kết luận chương 4

Từ kết quả nghiên cứu thực nghiệm, luận án rút ra một số kết luận sau:

1. Luận án đã xây dựng được phương pháp nghiên cứu thực nghiệm xác định động lực học của robot khi va đập với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển (leo cầu thang) dẫn tới khả năng lật của robot, lựa chọn được thiết bị đo, cảm biến đo, phương pháp xử lý số liệu thí nghiệm.
2. Từ kết quả thí nghiệm xác định được góc nghiêng robot khi va chạm vào bậc cầu thang φ , ứng với các vận tốc khác nhau, độ nghiêng của bậc cầu thang và gia tốc thay đổi tọa độ trọng tâm của đối trọng khác nhau.
3. Luận án đã so sánh kết quả thực nghiệm với kết quả khảo sát theo mô hình tính toán lý thuyết, kết quả so sánh cho thấy đây các giá trị này đều có hệ số tương quan $> 0,8$ điều đó chứng tỏ mô hình tính toán theo lý thuyết là chấp nhận được.

KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

1. Kết luận

Trên cơ sở của những nghiên cứu lý thuyết, và thực nghiệm về động lực học và điều khiển robot chữa cháy nhà xưởng công nghiệp, luận án rút ra một số kết luận sau đây:

1. Bằng các phương pháp nghiên cứu trong lý thuyết động lực học đã xây dựng được mô hình, thiết lập phương trình động lực học cho robot leo cầu thang khi chưa xét tới động lực học do va đập với cầu thang. Từ kết quả này, đã đề xuất hệ thống điều khiển truyền động cho động cơ nhằm đảm bảo khả năng di chuyển của robot khi đi trên đường bằng, leo cầu thang (vượt chướng ngại vật).

2. Đã xây dựng được mô hình, thiết lập được phương trình động lực học của robot tương tác với bậc cầu thang trong quá trình di chuyển lên, xuống cầu thang, đề xuất cơ cấu chống lật thông qua thuật toán điều khiển vị trí đối trọng, khảo sát hệ phương trình động lực học xác định được:

- Giá trị tối ưu của góc leo robot (góc nghiêng phía trước mặt xích) là $\gamma = 45^\circ$;
- Ảnh hưởng của các giá trị (góc dốc cầu thang β , góc leo robot γ , vận tốc lớn nhất robot V_{max} và gia tốc của đối trọng a_Q) tới khả năng bị lật của robot;
- Các cặp giá trị tương ứng, với mỗi các giá trị góc dốc của bậc cầu thang β và góc leo robot γ với vận tốc leo lớn nhất của robot V_{max} , thì cần giá trị gia tốc tương ứng của cụm ắc quy a_Q để robot không bị lật.

3. Thiết lập được mối quan hệ giữa các đại lượng góc nghiêng φ là hàm của gia tốc đối trọng a_Q . Kết quả này tạo thuận lợi để thiết lập thuật toán điều khiển đối trọng chống lại hiện tượng lật của robot khi va chạm với cầu thang.

4. Luận án đã xây dựng được bảng xác định giá trị giới hạn vận tốc của robot chữa cháy khi di chuyển lên xuống cầu thang trong quá trình hoạt động chữa cháy (bảng 3.3), kết quả này là cơ sở xác định chế độ sử dụng an toàn cho robot chữa cháy công trình công nghiệp.

5. Kết quả thực nghiệm kiểm chứng mô hình tính toán lý thuyết cho thấy hệ số tương quan r giữa dãy các giá trị góc nghiêng φ dẫn tới hiện tượng lật của mô hình tính toán lý thuyết và kết quả thực nghiệm đều thỏa mãn $r > 0,8$, điều đó chứng tỏ mô hình tính toán theo lý thuyết phù hợp với thực tế có độ tin cậy cần thiết. Bằng nghiên cứu thực nghiệm và lý thuyết đã sử dụng được vận tốc lớn nhất của khi xuống cầu thang $V_{\max} = 0,45$ (m/s) và khi lên $V_{\max} = 2,8$ (m/s) ứng với độ dốc cầu thang $\beta=30^0$ và gia tốc thay đổi cụm ốc quy (đối trọng) tương ứng là $a_Q = 0,4$ (m/s²) và $a_Q = 1$ (m/s²)

2. Kiến nghị

Do thời gian nghiên cứu có hạn, đề tài hoàn thiện cần tiếp tục nghiên cứu một số nội dung phạm vi nghiên cứu của luận án như sau :

1. Nghiên cứu mô hình động lực học của robot chữa cháy công trình công nghiệp khi leo lên cầu thang có kéo theo cuộn vòi chữa cháy.
2. Nghiên cứu mô hình động lực học của robot chữa cháy khi vừa leo lên cầu thang vừa quay vòng chuyển hướng, vừa kéo cuộn vòi chữa cháy.