

TÍNH TOÁN HỆ THỐNG LÁI TỰ ĐỘNG CỦA ROBOT THÔNG MINH CANH TÁC NÔNG NGHIỆP

TS. Hoàng Hà¹; ThS. Bùi Thị Thúy²

TÓM TẮT

Bài báo này giới thiệu kết quả xây dựng mô hình, thiết lập phương trình động lực học của hệ thống lái tự động của Robot thông minh canh tác nông nghiệp. Kết quả tính toán là cơ sở khoa học để tính toán thiết kế chế tạo hệ lái tự động của Robot thông minh canh tác nông nghiệp

Từ khóa: Hệ thống lái tự động Robot thông minh; Động lực học hệ thống lái tự động; Robot thông minh canh tác nông nghiệp

CALCULATION OF THE AUTOMATIC STEERING SYSTEM FOR SMART AGRICULTURAL CULTIVATION ROBOTS

ABSTRACT

This paper presents the results of developing a model and establishing the dynamic equations of the automatic steering system for smart agricultural robots. The results provide a scientific basis for designing and fabricating the automatic steering system for smart agricultural robots.

Keywords: Smart Robot Automatic Steering System; Automatic Steering System Dynamic; Smart Agricultural Cultivation Robot

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam là nước có nền nông nghiệp đang phát triển, kim ngạch xuất khẩu năm 2023 khoảng 55 tỷ USD, song việc áp dụng Robot vào trong sản xuất nông nghiệp ở Việt Nam còn hạn chế. Ở một số nước nông nghiệp phát triển như Nhật bản, Hàn Quốc, phát đã sử dụng Robot thông minh vào trong quá trình sản xuất rau như Robot tự động đục lỗ màng phủ, Robot xới đất, Robot tự động làm cỏ, phun thuốc bảo vệ thực vật, khi áp dụng các Robot thông minh vào trong sản xuất rau cho năng suất và chất lượng rau cao, đặc biệt là giảm chi phí nhân công lao động trong nông nghiệp, trong khi đó lao động

trong nông nghiệp có xu hướng giảm vì người làm nông nghiệp có xu hướng dịch chuyển lên thành phố để làm việc trong các công ty, các nhà máy xí nghiệp.

Việc áp dụng công nghệ cao nói chung và áp dụng Robot thông minh vào trong sản xuất nông nghiệp nói chung và vào trong sản xuất rau quả nói riêng là tất yếu và có tính thời sự, vì nó mang lại rất nhiều lợi ích. Song việc nhập khẩu Robot của nước ngoài rất đắt tiền, không phù hợp với điều kiện cây trồng của Việt Nam. Để làm chủ được công nghệ, phù hợp với điều kiện canh tác, với cây trồng ở Việt Nam, đồng thời thiết bị có vốn

¹ Trường Đại học Lâm nghiệp

² Trường Đại học Điện Lực

đầu tư phù hợp với sản xuất nông nghiệp của địa phương thì cần thiết phải có nghiên cứu thiết kế chế tạo Robot thông minh phục vụ cho sản xuất rau quả công nghệ cao, đáp ứng yêu cầu tiêu dùng trong nước và xuất khẩu.

Xuất phát từ những lý do như đã phân tích ở trên, năm 2020 Sở Khoa học và công nghệ thành phố Hà Nội đã giao cho Trường Đại học Điện lực thực hiện đề tài cấp thành phố: “Nghiên cứu thiết kế chế tạo Robot thông minh phục vụ sản xuất rau ở thành phố Hà Nội”, mã số 01C-02/001-2020-3, Robot thông minh được vận hành bằng hệ thống lái tự động điều hướng bằng định vị vệ tinh, để có cơ sở khoa học cho thiết kế chế tạo hệ thống lái tự động cần thiết phải nghiên cứu động học, động lực học hệ thống này. Bài báo này giới thiệu kết quả tính toán động học hệ thống lái tự động của Robot thông minh canh tác nông nghiệp.

2. ĐỐI TƯỢNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Đối tượng và thiết bị nghiên cứu

Đối tượng nghiên cứu là Robot thông minh phục vụ sản xuất rau ở thành phố Hà Nội, mã số: 01C-02/001-2020-3

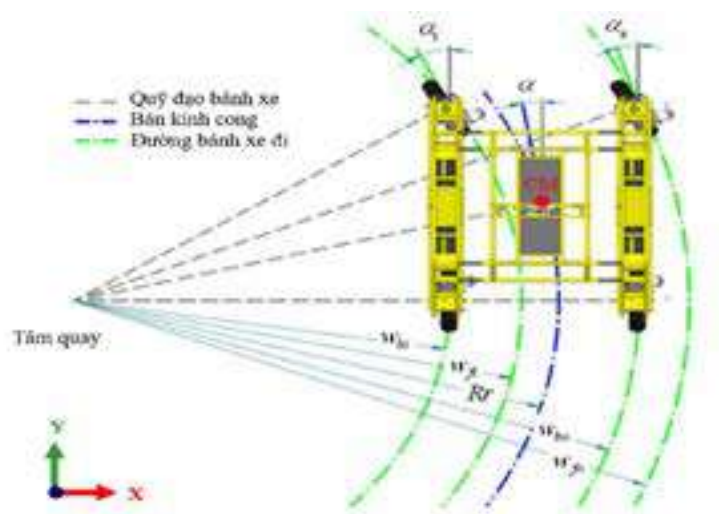
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Phương pháp nghiên cứu được sử dụng là áp dụng lý thuyết cơ học hệ nhiều vật, lý thuyết động lực học máy để thiết lập mô hình, thiết lập hệ phương trình vi phân động lực học của Robot thông minh khi di chuyển để canh tác nông nghiệp trên cánh đồng.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Mô hình động học của robot thông minh khi quay vòng

Để thực hiện mô hình động học, cần phải biết mối quan hệ giữa các góc bên ngoài và bên trong của bánh xe khi quay. Tham chiếu tổng thể được biểu thị bằng các trục X và Y. Tham chiếu vị trí được biểu thị bằng tâm khối lượng (CM) nằm trên Robot. Trong trường hợp này, vị trí của CM nằm ở giữa Robot do cấu hình mô-đun và đối xứng. Hình học lái của Ackermann được xác định bởi góc lái của Robot (α) so với trọng tâm của nó.



Hình 3.1. Mô hình động học của Robot thông minh khi quay vòng

Với điều này, bán kính cong tức thời của xe (Cr) được xác định như trong Hình 3.1 và được mô tả bởi phương trình 1.

$$Cr = \sqrt{\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2\right)^2 + \left(\frac{c}{2}\right)^2} \quad (3.1)$$

Tất cả các phương trình được trình bày trong nghiên cứu này là hàm của chiều dài (C) và chiều rộng (L) của tương ứng. Góc đánh lái tối đa bị giới hạn bởi các thông số cơ học của Robot. Các góc lái lớn nhất của bánh xe trong của bánh α_i đã được thiết lập

$$\alpha_i = \arctan\left(\left[\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2\right) - \frac{L}{2}\right]\right) \quad (3.2)$$

$$\alpha_e = \arctan\left(\left[\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2\right) + \frac{L}{2}\right]\right) \quad (3.3)$$

Các phương trình từ 4 đến 7 biểu thị tỷ lệ tốc độ quay, tính bằng phần trăm, của mỗi bánh xe của robot trong chức năng của góc lái của nó. Các phương trình 4, 5, 6 và 7

là 45° , do đó, giá trị tối thiểu, góc lái của xe cũng như bán kính lái tức thời nhỏ nhất của độ cong.

Phương trình 2 và 3 biểu thị góc lái của bánh xe bên trong của bánh α_i và góc lái xe bên ngoài α_e tương ứng.

chứng minh tốc độ của bên trong bánh trước (w_{fi}), bánh trước bên ngoài (w_{fo}), bánh sau bên trong (w_{bi}) và bánh sau bên ngoài (w_{bo}) tương ứng.

$$w_{fi} = \frac{\left[\left(\sqrt{\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2 - \frac{L}{2}\right)^2 + c^2}\right)}\right)_{100}\right]}{\left[\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2 + \frac{L}{2}\right)^2 + c^2\right)\right]} \quad (3.4)$$

$$w_{fo} = 100 \quad (3.5)$$

$$w_{bi} = \frac{\left[\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2\right) - \frac{L}{2}\right)_{100}\right]}{\left[\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2 + \frac{L}{2}\right)^2 + c^2\right)\right]} \quad (3.6)$$

$$w_{bo} = \frac{\left[\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2\right) + \frac{L}{2}\right)_{100}\right]}{\left[\left(\left(\frac{c}{\tan\alpha} 2 + \frac{L}{2}\right)^2 + c^2\right)\right]} \quad (3.7)$$

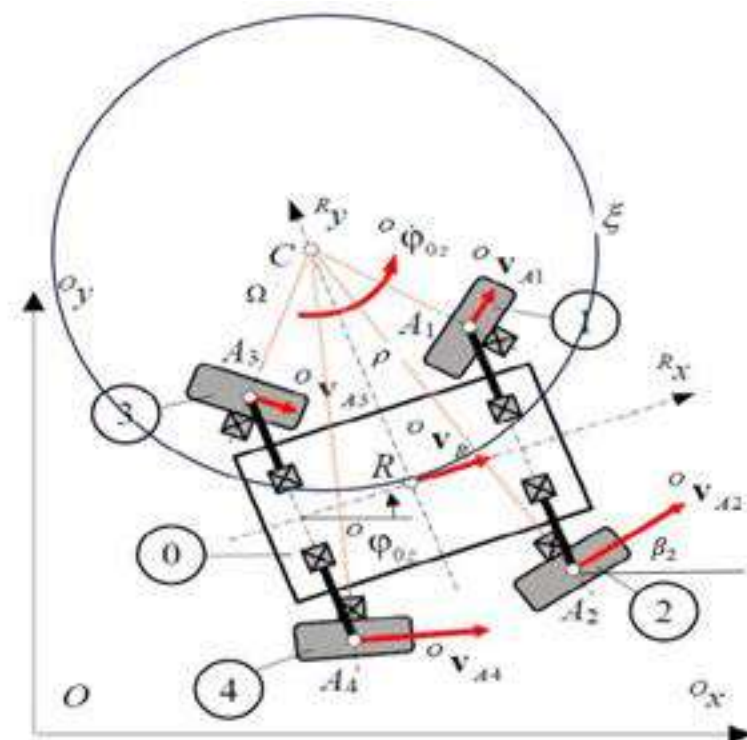
3.2. Mô hình dẫn động bánh xe trên Robot thông minh canh tác nông nghiệp

Xét trong hệ quy chiếu gắn với môi trường canh tác, $\vartheta_R\{O_R x_R y_R\}$ gắn tại tâm R

$$V_R = \Omega \rho$$

Với Ω là vận tốc góc của robot, ρ là bán kính cong của ξ

của rôbốt với giả thiết rôbốt di chuyển theo quỹ đạo canh tác ξ với vận tốc V_R theo phương tiếp tuyến như hình 3.2



Hình 3.2. Mối quan hệ thông số động học của robot

Như vậy, vận tốc V_i của bánh xe theo V_G được cho bởi:

$$\begin{cases} V_{A1} = V_R \rho_1 (\rho)^{-1} \\ V_{A2} = V_R \rho_2 (\rho)^{-1} \\ V_{A3} = V_R \rho_3 (\rho)^{-1} \\ V_{A4} = V_R \rho_4 (\rho)^{-1} \end{cases}$$

Do đó ta có vận tốc góc các bánh xe theo bán kính ρ của quỹ đạo canh tác ξ và vận tốc mong muốn V_R áp đặt lên rôbốt:

$$\omega_i = \frac{V_R}{\rho} \rho_i (i = 1 \div 4) \quad (3.8)$$

Trong đó:

$$\rho_i = \sqrt{\rho_R^2 + \rho^2 - 2\rho_R \rho \cos \gamma_i}$$

Với $\gamma_i = \arctan\left(\frac{d}{L}\right)$, ρ_i khoảng cách từ tâm trục càng đến tâm vận tốc tức thời I($i=1-4$), ρ là khoảng cách từ tâm G trên robot đến tâm càng, L- là khoảng cách giữa hai bánh, d – là khoảng cách hai trục cơ sở.

3.3. Điều khiển đánh lái các càng mang bánh xe dẫn động

Xét tại thời điểm tức thời tương ứng với từng vị trí rôbốt di chuyển từ Hình 3.2

các góc đánh lái từng bánh là β_i . Với ký hiệu quy ước trên các góc đánh lái β_i ($i=1\div 4$) điều khiển các khớp xoay càng mang bánh xe được xác định như sau:

$$\begin{cases} \beta_1 = \pi - \arccos\left(\frac{(L^2 + \rho_1^2) - \rho_4^2}{2L\rho_1}\right) \\ \beta_2 = \pi - \arccos\left(\frac{(L^2 + \rho_2^2) - \rho_3^2}{2L\rho_2}\right) \\ \beta_3 = \pi - \arccos\left(\frac{(L^2 + \rho_3^2) - \rho_2^2}{2L\rho_3}\right) \\ \beta_4 = \pi - \arccos\left(\frac{(L^2 + \rho_4^2) - \rho_1^2}{2L\rho_4}\right) \end{cases} \quad (3.9)$$

Phương trình (3.8) và (3.9) xác định 8 thông số điều khiển các khớp nối của Robot. Trong đó, 4 thông số được điều khiển độc lập để định hướng, và 4 thông số khác điều khiển tốc độ quay của 4 bánh xe độc lập. Quá trình điều khiển sẽ dựa trên vận tốc mong muốn V_R và quỹ đạo dẫn đường ξ được thiết lập trước.

Bốn thông số điều khiển hướng cho phép Robot di chuyển linh hoạt trên các luồng canh tác, trong khi 4 thông số dẫn động độc lập cho từng bánh xe giúp điều chỉnh tốc độ và hướng di chuyển phù hợp với vận tốc mong muốn và quỹ đạo dẫn đường đã được lập trình sẵn. Việc sử dụng các thông số này cho phép Robot hoạt động một cách hiệu quả và chính xác trên cánh đồng.

3.4. Thực nghiệm kiểm chứng lái tự động của Robot thông minh

3.4.1. Thông số mô hình thực nghiệm

Với mục đích mô phỏng thuật toán và các thông số điều khiển, tiến hành chế tạo một mẫu robot và sa bàn thu nhỏ, với các thông số của mô hình như sau:

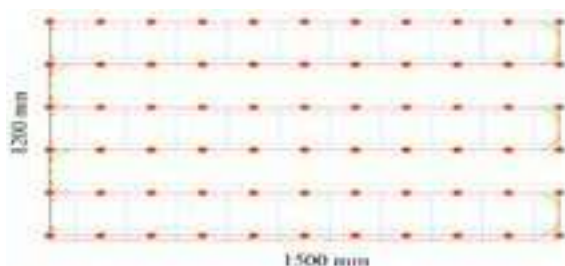
Kích thước sa bàn: Chiều dài 1200 mm, chiều rộng 900 mm. Trong đó, chiều rộng mỗi luồng là 150 mm, khoảng cách giữa các tâm luồng cũng là 150 mm. Kích thước cơ bản của robot: Khoảng cách giữa hai bánh xe (d) là 220 mm, khoảng cách từ trục bánh xe tới tâm robot (L) là 160 mm, bán kính của bánh xe (r) là 20 mm, và chiều dày của bánh xe (a) là 10 mm.

Về hệ thống điều khiển, robot sử dụng động cơ Servo để dẫn động các bánh xe và đánh lái. Bộ điều khiển trung tâm của hệ thống là bo mạch Arduino UNO R3.

Việc chế tạo mẫu robot và sa bàn thu nhỏ này giúp đề tài có thể thực hiện các thử nghiệm và minh họa thuật toán dẫn đường zigzag một cách cụ thể, đồng thời cũng cho phép điều chỉnh các thông số điều khiển biến khớp để phù hợp với từng môi trường canh tác khác nhau.

3.4.2. Tham số cài đặt

Thông số sinh bản đồ dẫn đường cài đặt vào bộ nhớ của Robot: $\Delta x = 150$ mm, số luồng 5, Số điểm trích mẫu theo phương ngang là 11. Vận tốc đặt $V_R = 0,83$ m/giây.

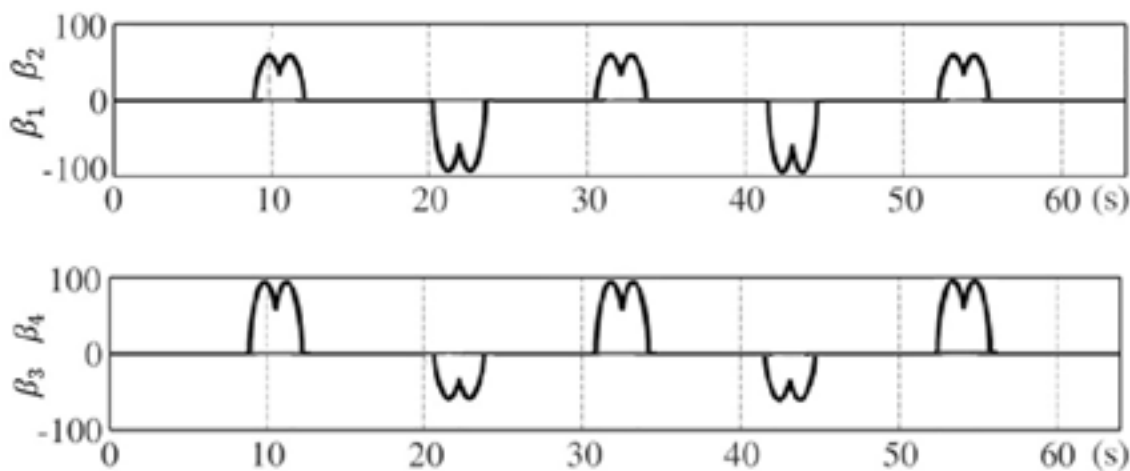


Hình 3.3. Bản đồ thực nghiệm dẫn đường cho Robot

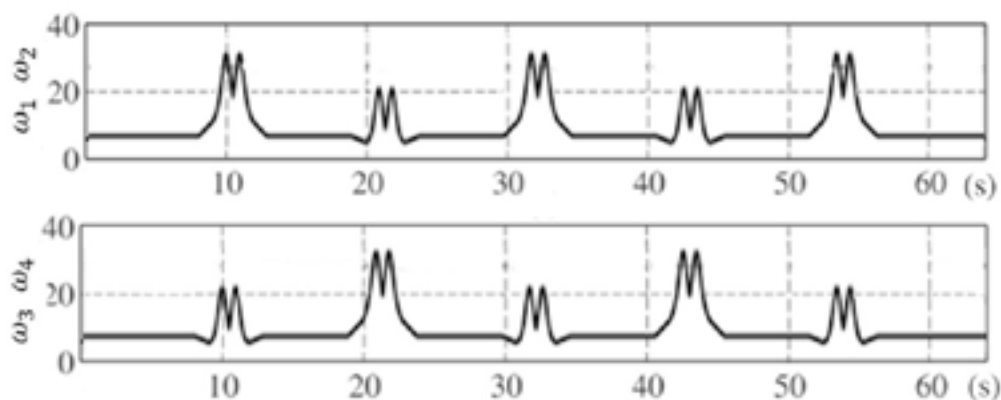
3.4.3. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm

Từ các thông số cài đặt và thực nghiệm, kết quả thu được góc của khớp điều

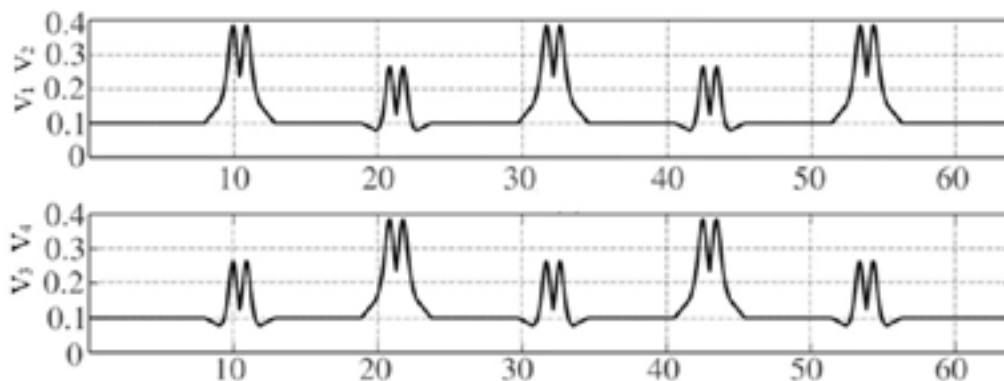
khiển hướng của các bánh như trên hình 3.4 - 3.6.



Hình 3.4. Góc của khớp điều khiển hướng của các bánh



Hình 3.5. Vận tốc góc điều khiển các bánh xe dẫn động Robot di chuyển



Hình 3.6. Tốc độ điều khiển các bánh xe dẫn động robot di chuyển

Nhận xét: Từ kết quả mô phỏng thu được trên các đồ thị từ hình 3.4-3.6, có một số nhận xét sau:

Về sai số theo phương ngang (phương y): Kết quả cho thấy sai số trung bình khoảng 1-2 mm so với luồng thứ 4. Điều này

cho thấy việc điều khiển Robot để di chuyển đúng theo các luồng đã được xác định là tương đối chính xác, ít nhất là ở các luồng đầu tiên. Sai số nhỏ như vậy cho thấy hệ thống điều khiển và cân bằng của phương tiện hoạt động tin cậy, có thể duy trì được đường đi theo các luồng được định sẵn.

Về sai số lệch so với mép luồng: Sai số bắt đầu xuất hiện từ luồng thứ 2, với khoảng 1 mm. Sai số này tăng dần lên 1,5 mm ở luồng thứ 3 và khoảng 4 mm ở luồng thứ 5. Nguyên nhân chủ yếu được cho là do sự trơn trượt của mặt đường sa bàn cứng. Sự trơn trượt của mặt đường là một yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến độ chính xác của quá trình di chuyển. Mặc dù khảo nghiệm này mới chỉ tập trung vào động học mà chưa đề cập đến ma sát, nhưng kết quả cho thấy yếu tố ma sát sẽ đóng vai trò quan trọng trong việc xác định chính xác đường đi của Robot. Khi lực ma sát thay đổi, thay đổi điều kiện bề mặt đường, sẽ dẫn đến sự thay đổi trong quỹ đạo di chuyển của các bánh xe, gây ra sai lệch so với luồng đã định. Ngoài ra các động cơ dẫn động và đánh lái bốn càng đang được điều khiển theo thông số động học trực tiếp, chưa có tín hiệu phản hồi và đồng bộ hóa với tốc độ. Điều này dẫn đến sai số trong quá trình di chuyển.

Hệ thống điều khiển trực tiếp dựa trên các thông số động học như góc quay, vận tốc góc, v.v. mà không có thông tin phản hồi về vị trí thực tế của phương tiện so với luồng đã định, cũng như không đồng bộ hóa các thông số điều khiển, sẽ dẫn đến sai lệch tích lũy

trong quá trình di chuyển. Khi phương tiện di chuyển xa hơn, sai số sẽ càng lớn.

4. KẾT LUẬN

Từ cấu tạo và nguyên lý làm việc của Robot thông minh canh tác nông nghiệp, đã xây dựng mô hình động học của Robot khi quy vòng, mô hình dẫn động bánh xe, thiết lập được phương trình điều khiển đánh lái các cánh mang bánh xe dẫn động Robot, (3.8); (3.9), kết quả thực nghiệm và mô phỏng cho thấy mô hình và phương trình đã thiết lập có độ tin cậy cần thiết. Những kết quả nghiên cứu này là cơ sở khoa học để tính toán thiết kế và hoàn thiện hệ thống lái tự động trên Robot thông minh canh tác nông nghiệp.

5. TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Văn Khang (2007), *Cơ học hệ nhiều vật*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
2. Đỗ Sanh, Nguyễn Văn Vượng (2000), *Cơ học ứng dụng*, Nxb Khoa học kỹ thuật, Hà Nội
3. Franz Holzweibig, Hans Dresig (2001), *Động lực học máy*, Nxb Khoa học kỹ thuật, Hà Nội.
4. Lê Quốc Dũng (2024), Báo cáo tổng hợp kết quả đề tài: "*Nghiên cứu thiết kế chế tạo Robot thông minh phục vụ sản xuất rau ở thành phố Hà Nội* ", mã số 01C-02/001-2020-3, đề tài cấp thành phố Hà Nội, Cục thông tin khoa học công nghệ quốc gia

Ngày nhận bài: 01/11/2024

Người Phản biện: PGS.TS. Vũ Khắc Bảy - Trường Đại học Lâm Nghiệp