

Nghiên cứu phát triển mô hình động học cho robot dẫn động vi sai

■ TS. VŨ XUÂN HẬU

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam
Email: hauvx@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT: Nội dung bài báo tập trung vào việc nghiên cứu phát triển mô hình động học cho hai loại robot có hệ thống lái dẫn động vi sai. Các bánh xe ở một bên của robot được điều khiển độc lập với các bánh xe ở phía bên kia. Bằng cách phối hợp hai tốc độ khác nhau, người ta có thể khiến robot quay tại chỗ, di chuyển theo đường thẳng, di chuyển theo đường tròn hoặc đi theo bất kỳ quỹ đạo quy định nào. Trong bài báo, các phương trình chuyển động của robot được điều khiển thông qua tốc độ bánh xe vi sai được đưa ra. Các kết quả nghiên cứu được mô phỏng bằng phần mềm Matlab & Simulink.

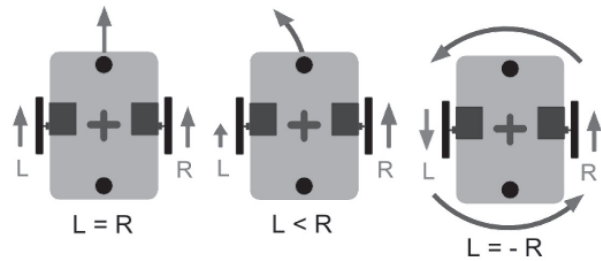
TỪ KHÓA: Robot di động, động học robot, Matlab & Simulink, mô hình toán.

ABSTRACT: The paper of the article focuses on research and development of kinematic models for two types of robots with differential steering systems. The wheels on one side of the robot are controlled independently of the wheels on the other side. By combining two different speeds, one can make the robot rotate in place, move in a straight line, move in a circle, or follow any prescribed trajectory. In the article the equations of motion of the robot controlled through differential wheel speed are given. The research results are simulated using Matlab & Simulink software.

KEYWORDS: Mobile robot, kinematics, Matlab & Simulink software, mathematical model.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Robot di động tự động đang được ứng dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực như khai thác mỏ, thám hiểm không gian và trong ngành dịch vụ. Robot di động truyền động vi sai (DDMR) là một trong những robot như vậy đã được sử dụng rộng rãi phổ biến do tính đơn giản và dễ điều khiển [2]. Robot dẫn động vi sai bao gồm hai robot riêng biệt bánh xe đẩy và bánh xe thứ ba gọi là bánh xe thả dầu có thể di chuyển tự do trong không gian. Bằng cách điều chỉnh công suất áp dụng cho động cơ, robot có thể được vận hành để tiến về phía trước, quay tại chỗ hoặc thực hiện chuyển động trên bất kỳ vị trí nào tùy ý (Hình 1.1).



Hình 1.1: Cấu trúc và nguyên lý điều khiển hướng của robot truyền động vi sai

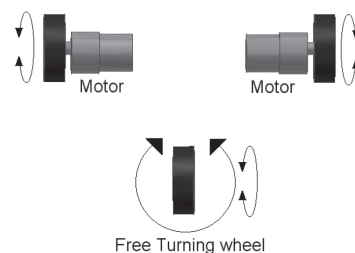
Một số công trình nghiên cứu về mô hình hóa và điều khiển các robot như vậy [1, 2, 3]. Tuy nhiên, hầu hết các công trình này xử lý hai khía cạnh một cách riêng biệt. Mô hình hóa chi tiết robot có bánh xe có tính đến bộ truyền động động lực học, lực cản lăn và các ràng buộc ghép nối chưa được thử nghiệm trong hầu hết các công trình khi thiết kế các sơ đồ điều khiển.

Bài báo thảo luận về mô hình động học và động lực học chi tiết cho robot di động với hệ truyền động vi sai. Nội dung bài báo bao gồm các nội dung: 1: Xây dựng mô hình động học cho robot truyền động vi sai; 2: Kết quả mô phỏng; 3: Kết luận.

2. XÂY DỰNG MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CHO ROBOT TRUYỀN ĐỘNG VI SAI

2.1. Mô tả cấu trúc của robot vi sai

Robot truyền động vi sai bao gồm một bộ được trang bị một bánh xe phía trước và một cặp truyền động đồng trục phía sau. Mỗi bánh dẫn động này được dẫn động độc lập bởi một động cơ DC (Hình 2.1). Bằng cách thay đổi công suất cấp vào động cơ, robot di động có bánh xe vi sai có thể được chế tạo để di chuyển theo đường thẳng hoặc theo dõi các quỹ đạo khác nhau như đường cong, vòng tròn... Mô hình toán học là một phần quan trọng trong việc thiết kế bất kỳ hệ thống điều khiển nào. Mô hình động học và động lực học của robot đã được thảo luận dưới đây.



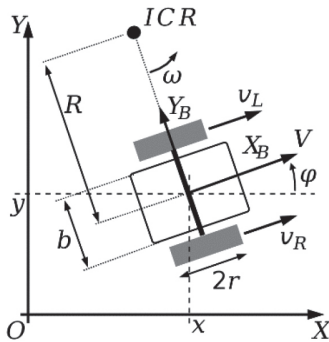
Hình 2.1: Cấu trúc hệ truyền động

Nếu cả hai bánh xe được dẫn động cùng hướng và cùng tốc độ thì robot sẽ đi theo đường thẳng. Nếu cả hai bánh xe được quay với tốc độ bằng nhau theo hướng ngược nhau, như thể hiện rõ trong sơ đồ hiển thị, robot sẽ quay quanh điểm trung tâm của trục. Mặt khác, tùy thuộc vào tốc độ quay và hướng của nó, tâm quay có thể rơi vào bất kỳ vị trí nào trên đường xác định bởi hai điểm tiếp xúc của lốp xe. Khi robot chuyển động theo đường thẳng thì tâm quay cách robot một khoảng vô hạn.

Vì hướng của robot phụ thuộc vào tốc độ và hướng quay của hai bánh dẫn động nên các đại lượng này cần được cảm nhận và kiểm soát một cách chính xác. Robot được điều khiển bằng vi sai tương tự như các bánh răng vi sai được sử dụng trong ô tô ở chỗ cả hai bánh xe có thể có tốc độ quay khác nhau, nhưng không giống như hệ thống truyền động vi sai, một hệ thống được điều khiển vi sai sẽ có cả hai bánh được dẫn động. Robot có bánh vi sai được sử dụng rộng rãi trong chế tạo robot vì chuyển động của chúng dễ lập trình và có thể được điều khiển tốt. Hầu như tất cả các robot tiêu dùng trên thị trường hiện nay đều sử dụng hệ thống lái vi sai chủ yếu vì chi phí thấp và đơn giản.

2.2. Mô hình động học robot vi sai

Hình 2.2 minh họa phương pháp tính toán động học truyền động vi sai của robot có bánh xe di động. Các biến được biểu thị bằng ký hiệu sau: X và Y là hệ tọa gốc (hệ tọa độ gắn với mặt đất). Sử dụng điểm ở giữa các bánh xe làm gốc của robot. X_B và Y_B là tọa độ trọng tâm của robot trong hệ quy chiếu gốc. Hướng của robot so với hệ tọa gốc là φ . Bán kính của bánh xe là r và chiều rộng của xe b . Giả sử các bánh xe luôn tiếp xúc với mặt đất (không có hiện tượng trượt), các bánh xe mô tả các cung trên mặt phẳng sao cho xe luôn quay quanh một điểm (gọi tắt là ICR - tâm quay tức thời).



Hình 2.2: Thiết lập hệ tọa độ cho robot

Tốc độ tiếp xúc với mặt đất của bánh xe bên trái là V_L và bánh xe bên phải V_R dẫn đến xe chuyển động quay với vận tốc góc ω . Theo định nghĩa vận tốc góc, ta thu được:

$$\omega = \frac{v_R - v_L}{b} \quad (1)$$

$$R = \frac{b \cdot (v_R + v_L)}{2(v_R - v_L)} \quad (2)$$

Sử dụng phương trình vận tốc góc, vận tốc tức thời V của điểm nằm giữa các bánh xe của robot được tính bởi (3):

$$V = \omega \cdot R = \frac{v_R + v_L}{2} \quad (3)$$

Vận tốc tiếp tuyến của bánh xe cũng có thể được viết là:

$$v_R = r \cdot \omega_L \quad (4)$$

$$v_L = r \cdot \omega_L \quad (5)$$

Trong đó: ω_R và ω_L - Vận tốc góc trái và phải của các bánh xe quanh trục của chúng. Do đó, động học của robot trong tọa độ cơ thể cục bộ có thể được viết là:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_B \\ \dot{y}_B \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{r}{2} & \frac{r}{2} \\ 0 & 0 \\ -\frac{r}{b} & \frac{r}{b} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_L \\ \omega_R \end{bmatrix} \quad (6)$$

Bằng cách sử dụng phép biến đổi tọa độ (phép xoay trục), cuối cùng có thể thu được mô hình động học của robot theo tọa độ tổng thể như (7):

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_B \\ \dot{y}_B \\ \dot{\varphi} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos \varphi & 0 \\ \sin \varphi & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} V \\ \omega \end{bmatrix} \quad (7)$$

Trong đó: V và ω - Các biến điều khiển.

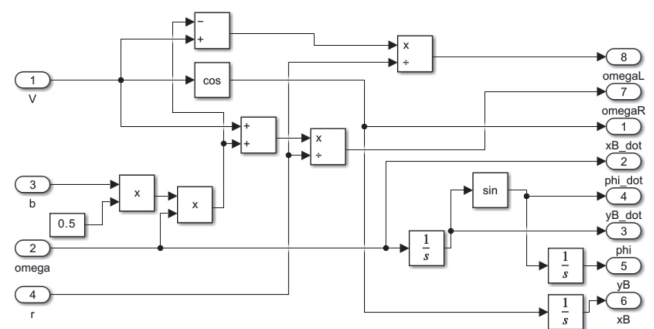
Đôi khi ta có thể gặp phải tình huống, trong đó vận tốc V và vận tốc góc ω được cho làm đầu vào và vận tốc góc của bên trái ω_L và bánh xe bên phải ω_R được tìm kiếm dưới dạng biến điều khiển. Trong trường hợp này, phương trình đã (7) có thể dễ dàng được xây dựng lại. Sử dụng quan hệ $R = V/\omega$ và $\omega_R = v_R/r$ ta thu được phương trình tính vận tốc góc của bánh xe bên phải ω_R :

$$\omega_R = \frac{V + \omega b / 2}{r} \quad (8)$$

Quy trình tương tự có thể được áp dụng để tính vận tốc góc của bánh xe bên trái ω_L .

$$\omega_L = \frac{V - \omega b / 2}{r} \quad (9)$$

Trên cơ sở các phương trình (7), (8), (9), sơ đồ cấu trúc mô phỏng động học cho robot di động với hệ truyền động vi sai được xây dựng như trên Hình 2.3.



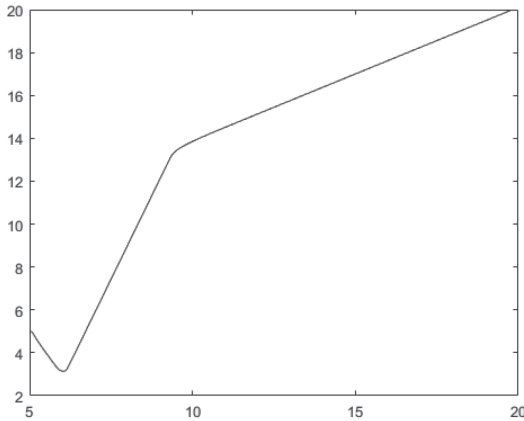
Hình 2.3: Sơ đồ mô phỏng động học robot có hệ truyền động vi sai

3. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC ROBOT DI ĐỘNG 2 BÁNH VI SAI

Với mục đích mô phỏng động học của robot, một mô hình mô phỏng đã được xây dựng trên Matlab & Simulink như Hình 2.3 trình bày các thông số vật lý được sử dụng của thiết bị di động được mô phỏng là $b=0,2(m)$, $r=0,05(m)$.

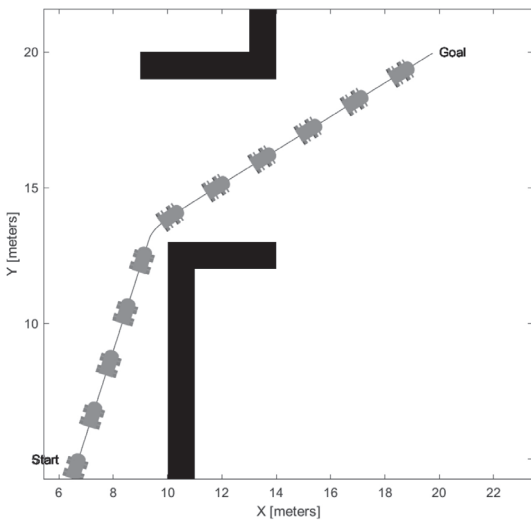
Quỹ đạo di chuyển cho robot được thiết lập giả định như trong Hình 3.1. Quỹ đạo di chuyển được thiết lập có

những đoạn chuyển động thẳng, rẽ trái, rẽ phải và đổi hướng để đánh giá khả năng đáp ứng của mô hình động học đã thiết kế.



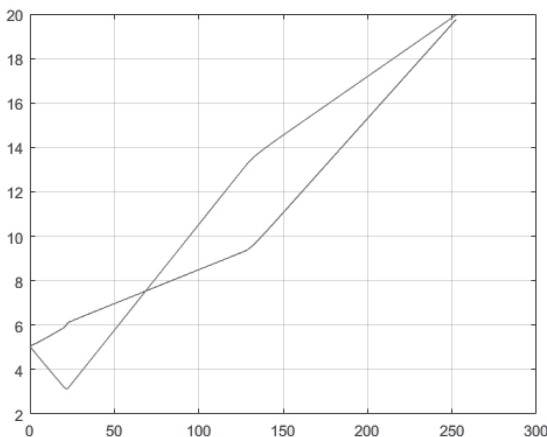
Hình 3.1: Quỹ đạo và phạm vi dịch chuyển của robot

Chạy kết quả mô phỏng cho thấy robot đã chuyển động bám quỹ đạo với độ chính xác cao, kết quả được mô tả trên Hình 3.2.

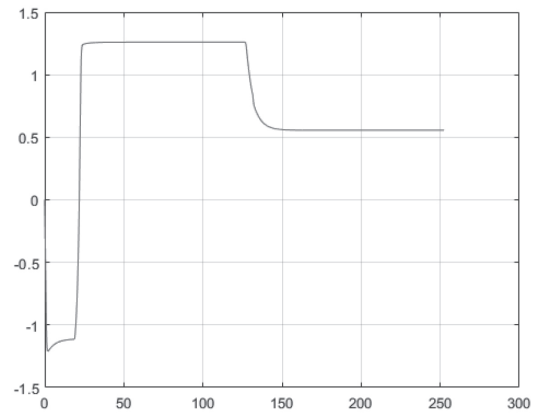


Hình 3.2: Kết quả mô phỏng robot chạy theo quỹ đạo giả định

Đáp ứng tốc độ của bánh trái, bánh phải và gia tốc góc của robot được thể hiện như trong Hình 3.3 và Hình 3.4.



Hình 3.3: Đáp ứng tốc độ bánh trái và bánh phải của robot



Hình 3.4: Gia tốc góc của robot trong quá trình chuyển động

Kết quả cho thấy tốc độ của robot đáp ứng rất sát với giá trị đặt với sai lệch nhỏ hơn 1%. Bộ điều khiển PI được thiết kế với bộ lọc trước là hoạt động tin. Mô hình mô phỏng được thiết kế có thể được sử dụng để mô phỏng nhiệm vụ của robot di động như chuyển động điểm-điểm điều khiển, đi theo đường đi và tránh chướng ngại vật.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày những nghiên cứu để xây dựng mô hình động học cho robot di động truyền động vi sai bằng cách sử dụng phương trình không gian trạng thái. Một bộ điều khiển động học và động đơn giản cũng đã được thực hiện. Mô hình với các sơ đồ điều khiển đã có thể theo dõi quỹ đạo đã cho một cách chính xác. Các thuật toán điều khiển mạnh mẽ hơn sẽ được nghiên cứu trong tương lai.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Trường Đại học Hàng hải Việt Nam trong Đề tài mã số DT23-24.24.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Egerstedt, M. (2013), *Control of mobile robots*.
- [2]. Ahmad A. Mahfouz, Ayman A. Aly, Farhan A. Salem (2008), *Mechatronics Design of a Mobile Robot System*, IJISA, vol.5, no.3, pp.23, 3, 2013.
- [3]. Nwe, A. A., Aung, W. P. and Myint, Y. M., *Software implementation of obstacle detection and for wheeled mobile robot avoidance system*, World Academy of Science, Engineering and Technology, 42, 572-577.
- [4]. F. Correa. J. Gallardo. N. Muñoz. R. Perez (Jan., 2016), *Estudio comparativo basado en métricas para diferentes arquitecturas de navegación reactiva*, Ingeniare, vol.24, no.1, pp.46-54.

Ngày nhận bài: 20/3/2024

Ngày nhận bài sửa: 04/4/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2024