

Nghiên cứu điều khiển ổn định tốc độ cho robot di động có tính tới yếu tố địa hình

■ TS. VŨ XUÂN HẬU

Trường Đại học Hàng hải Việt Nam

Email: hauvx@vimaru.edu.vn

TÓM TẮT: Robot di động là một lĩnh vực nghiên cứu tương đối mới thường được xem xét từ nhiều góc độ khác nhau, chủ yếu là trình độ kỹ thuật và khoa học máy tính. Bài báo đề cập đến những vấn đề kỹ thuật của nền tảng robot di động, bao gồm mô hình phần cứng và cơ điện tử của thiết bị di động. Trên cơ sở đó xây dựng được mô hình mô phỏng cho robot di động đã tính đến những hạn chế, lực ma sát và địa hình của môi trường. Mô hình có thể được sử dụng để mô phỏng và điều khiển các nền tảng khác nhau của robot di động.

TỪ KHÓA: Robot di động, động cơ một chiều, phần mềm Matlab & Simulink, biến đổi Laplace, cảm biến đo tốc độ.

ABSTRACT: Mobile robots are a relatively new research area that is normally considered from several different perspectives mainly, engineering and computer science levels. This paper deals with the engineering level of mobile platforms; i.e. the physical, hardware and mechatronic levels of mobile platforms and presents complete models for the main hardware components of mobile platforms. The presented models can be used for simulation and control of mobile platforms and they take into account the hardware limitations, friction force and the topography of the environment for outdoor navigation.

KEYWORDS: Mobile robot, DC motor, Matlab & Simulink software, Laplace transform, speed sensor.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Robot di động là một lĩnh vực nghiên cứu tương đối mới liên quan đến việc điều khiển các phương tiện tự động và bán tự động. Robot di động có thể được xem xét từ nhiều khía cạnh khác nhau. Thứ nhất là cấp độ vật lý, phần cứng và cơ điện tử, thứ hai là trình độ phần mềm [1]. Hầu hết các nghiên cứu được thực hiện trên robot di động tập trung vào cấp độ phần mềm và tập trung vào lập trình robot di động tự động để thực hiện các nhiệm vụ chẳng hạn như dò đường [2, 3], tránh chướng ngại vật [4], điều hướng trong môi trường đã biết hoặc chưa biết [5].

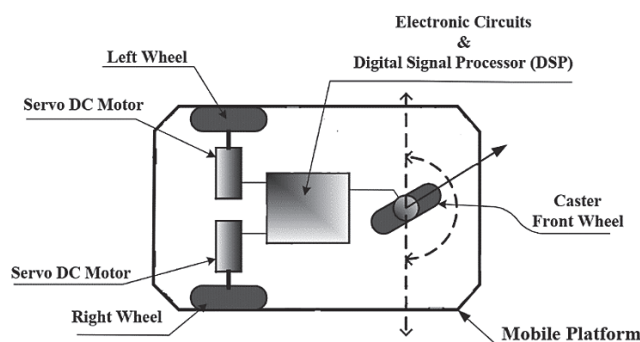
Hầu hết các nghiên cứu được thực hiện về robot di động đều xem xét quan điểm phần mềm và mô hình hình học của nền tảng di động và không xem xét những hạn chế của phần cứng, chẳng hạn như những hạn chế của động cơ một chiều thường điều khiển các robot di động (dòng điện, điện áp, mô-men xoắn và vận tốc), quán tính của robot, lực ma sát giữa các bề mặt và địa hình của môi trường cho việc điều hướng.

Bài báo này trình bày một mô hình vật lý hoàn chỉnh ở cấp độ cơ điện tử robot di động có bánh xe. Mô hình có thể được sử dụng để mô phỏng nền tảng robot di động có bánh xe khác nhau dựa trên sẵn có thông tin về các thành phần chính cấu tạo nên robot. Mô hình này có thể được sử dụng cho thiết kế và chế tạo robot di động. Mô hình này cũng giúp các nhà nghiên cứu xem xét quan điểm phần mềm của robot di động phải tính đến những hạn chế của phần cứng của robot di động, thay vì chỉ xem xét kích thước bên ngoài của robot hoặc mô hình hình học.

Bài báo bao gồm 5 phần. Phần 1 trình bày cấu tạo chung của robot di động ba bánh; Phần 2 trình bày mô hình của thiết bị truyền động cho robot di động; Phần 3 mô hình hóa một máy phát tốc để đo vận tốc của robot; Phần 4 nghiên cứu sự ảnh hưởng của địa hình tác động lên thiết bị truyền động của robot; Phần 5 mô phỏng điều khiển ổn định tốc độ của robot di động và kết thúc bài báo với một số bình luận.

2. MÔ HÌNH TRUYỀN ĐỘNG CHO ROBOT DI ĐỘNG

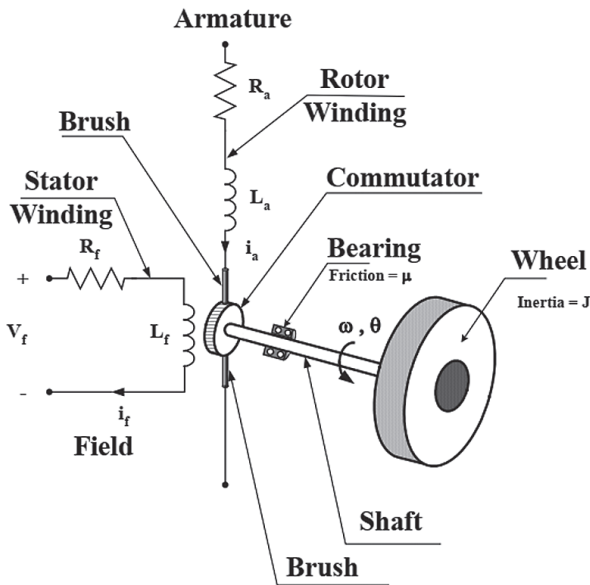
Thông thường, nền tảng di động được truyền động bởi hai bánh xe và sự ổn định được tăng cường bởi một hoặc hai bánh xe phía trước. Hình 2.1 mô tả các thành phần phần cứng chính.



Hình 2.1: Cấu trúc của robot di động 3 bánh

Như trên Hình 2.1, robot bao gồm 2 động cơ một chiều được ghép trực tiếp hoặc gián tiếp (thông qua các bánh răng giảm tốc) với các bánh dẫn động. Bánh xe còn lại là loại đa hướng.

Hình 2.2 thể hiện sơ đồ mạch của bộ truyền động điện dùng động cơ một chiều phổ biến. Một động cơ một chiều bao gồm hai thành phần chính: Dây quấn stato và dây quấn rô-to. Các thành phần này có chức năng chuyển đổi năng lượng điện thành năng lượng cơ học.



Hình 2.2: Mô hình động cơ một chiều

Động cơ một chiều có thể được phân thành hai loại: Thứ nhất, điều khiển bằng phần ứng động cơ, trong đó điện áp kích từ (V_f) được giữ không đổi (hoặc sử dụng nam châm vĩnh cửu). Tốc độ và mô-men được điều khiển bằng cách thay đổi điện áp phần ứng (V_a) hoặc dòng điện (i_a). Thứ hai, động cơ điều khiển bằng hiện trường, trong đó điện áp phần ứng (V_a) được giữ không đổi và được điều khiển bởi thay đổi điện áp trường (V_f) hoặc dòng điện (i_f). Trong bài báo sẽ sử dụng phương pháp điều khiển thứ nhất.

Trong mô hình động cơ một chiều và để thu được mô hình tuyến tính thì độ trễ và sụt áp trên chổi than động cơ được bỏ qua và do vậy điện áp đầu vào động cơ có thể đặt trực tiếp lên phần ứng [6]. Từ thông (ϕ) tỷ lệ với dòng điện kích từ (i_f) như sau:

$$\phi = K_f i_f \quad (1)$$

Trong đó: K_f - Hệ số từ thông. Mô-men sinh ra trên trục động cơ (T_m) sẽ tỷ lệ với dòng điện phần ứng và từ thông của động cơ:

$$T_m = K_t \phi i_a = K_t K_f i_f i_a \quad (2)$$

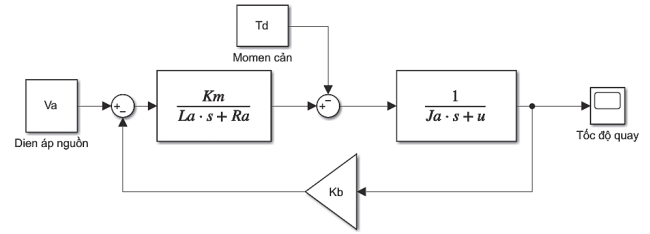
Dòng điện phần ứng sinh ra khi đặt điện áp lên 2 đầu phần ứng. Nếu bỏ qua tổn hao trên chổi than của động cơ ta có mối quan hệ điện áp và dòng điện sau:

$$V_a = R_a i_a + L \frac{di_a}{dt} + V_b \quad (3)$$

Trong đó: V_b - Sức điện động phần ứng; V_b sinh ra khi phần ứng động cơ quay trong từ trường. Sức điện động phần ứng được tính theo công thức:

$$V_b = K_b \omega \quad (4)$$

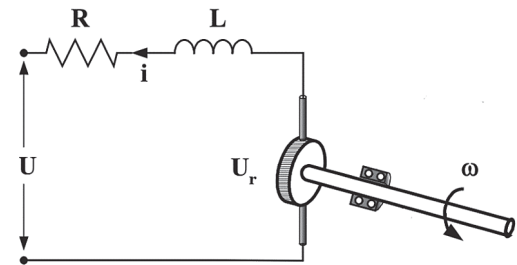
Với: K_b - Hệ số sức điện động và ω là tốc độ quay của động cơ. Biến đổi các phương trình (1), (2), (3) và (4) sang Laplace ta có được mô hình tốc độ quay của động cơ một chiều trên Simulink như sau:



Hình 2.3: Mô hình động cơ một chiều trên Simulink

3. MÔ HÌNH KHẤU ĐO TỐC ĐỘ QUAY

Hình 3.1 trình bày sơ đồ mạch thường được sử dụng để đo tốc độ sử dụng một máy phát tốc một chiều. Hệ đo tốc độ quay bao gồm máy phát điện một chiều nam châm vĩnh cửu được ghép trực tiếp đến trục của động cơ dẫn động. Khi động cơ truyền động quay, ở đầu ra của máy phát sẽ xuất hiện sức điện động tỉ lệ với tốc độ quay của động cơ truyền động.



Hình 3.1: Sơ đồ tương đương của khâu đo tốc độ quay

Điện áp tạo ra bên trong (U_r) trong máy đo tốc độ là được cho bởi:

$$U_r = K \omega \quad (5)$$

Trong đó: U_r - Điện áp tạo ra bên trong của một máy phát tốc (vôn); K - Hằng số tỷ lệ ($V.s / rad$) và ω là tốc độ góc đầu vào (rad/s).

Áp dụng định luật Kirchhoff về điện áp cho rô-to (phần ứng) của máy phát điện tốc.

$$U_r = L \frac{di}{dt} + Ri + U \quad (6)$$

Nếu đầu ra máy phát tốc được nối tới bộ so sánh có trở kháng rất lớn và lớn hơn nhiều so với trở kháng của máy phát tốc thì dòng điện đầu ra của máy phát tốc sẽ bằng 0, điều đó cho mang lại cho chúng ta mối quan hệ sau:

$$U = U_r = K \omega \quad (7)$$

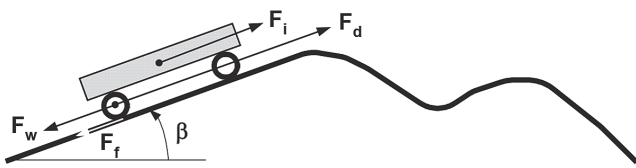
Và hàm truyền của máy phát tốc trở thành:

$$G_s(s) = \frac{U(s)}{\omega(s)} = K \quad (8)$$

Trong đó: K - Hệ số biến đổi đặc trưng cho mối quan hệ giữa tốc độ quay và điện áp ra của máy phát tốc.

4. MÔ HÌNH ĐỊA HÌNH

Bề mặt địa hình (Hình 4.1) tác động đến robot di động như cách các nhiễu loạn bên ngoài trên các bộ truyền động của bánh xe robot di động.



Hình 4.1: Các thành phần lực khi robot chuyển động

Thứ nhất, sự thay đổi về góc nghiêng (β) của địa hình ảnh hưởng gây ra một lực F_w (âm hoặc dương). Thứ hai, ma sát (F_f) giữa bánh xe và bánh xe bề mặt địa hình tiếp xúc có tác dụng tiêu cực tới chuyển động của robot. Hai yếu tố trên ảnh hưởng trực tiếp tới lực truyền động F_d của động cơ làm cho tốc độ của robot thay đổi. Như trên Hình 4.1 và tổng hợp các lực ta có:

$$F_d = F_i + F_w + F_f \quad (9)$$

$$F_d = M_r \ddot{x} + M_r g \sin(\beta) + F_f \quad (10)$$

Trong đó: F_d - Tổng động lực do hai lực tác dụng bộ truyền động; F_i - Tổng lực quán tính của robot; F_w - Thành phần tổng trọng lượng của robot và F_f - Lực ma sát tổng cộng giữa bánh xe và bề mặt địa hình. M_r - Khối lượng robot; g - Gia tốc trọng trường (9.81 m/s^2) và $\ddot{x}$ là gia tốc chuyển động.

Vì có hai bánh dẫn động và áp dụng lý thuyết xếp chồng trên mọi lực nhiễu (F_d) của phương trình (10). Đối với một bánh xe, lực dẫn động được cho bởi:

$$f_d = f_i + f_w + f_f \quad (11)$$

$$\text{Với: } f_i = \frac{M_r}{2} \ddot{x}, f_w = \frac{M_r}{2} g \sin(\beta)$$

Trong đó: $\ddot{x}$ - Gia tốc tuyến tính của một bánh xe. Mô-men dẫn động của một bộ truyền động là:

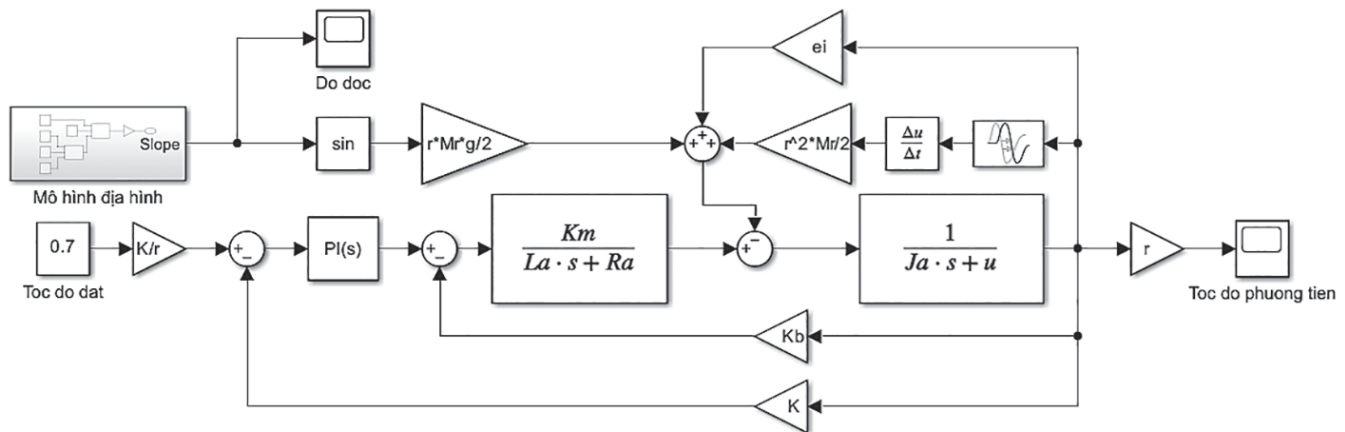
$$T_d = T_i + T_w + T_f = r f_i + r f_w + T_f \quad (12)$$

Thay thế f_i , f_w và T_f trong phương trình (12) mang lại:

$$T_d = r^2 \frac{M_r}{2} \ddot{\theta} + r \frac{M_r}{2} g \sin(\beta) + \zeta \dot{\theta} \quad (13)$$

Trong đó: T_d - Mô-men xoắn nhiễu của một bánh dẫn động; r - Bán kính bánh xe; ζ - Ma sát lăn giữa bánh xe và bề mặt địa hình và ($\dot{\theta} = \omega$); $\ddot{\theta}$ - Vận tốc góc và góc gia tốc của bánh xe tương ứng.

Hình 4.2 trình bày mô hình hoàn chỉnh ở dạng khối của bộ truyền động công suất được điều khiển bằng phản ứng của một robot di động khi chịu ảnh hưởng của nhiễu loạn và địa hình.



Hình 4.2: Mô hình cho động cơ truyền động của robot đã tính tới mô hình địa hình

Mô hình cho thấy những thay đổi trong góc nghiêng địa hình (β) là sự nhiễu loạn được đưa vào hệ thống. Bộ điều khiển cần thiết phải mạnh mẽ, tức là nó nên có một sự từ chối nhiễu loạn.

5. KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ KẾT LUẬN

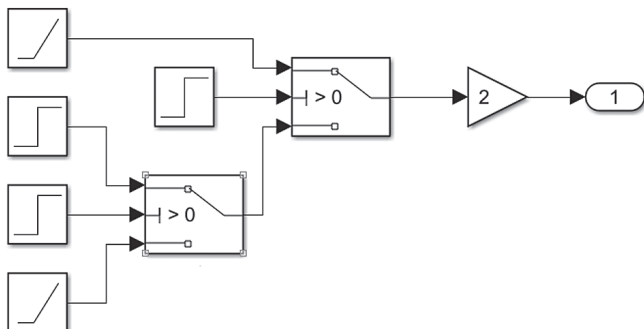
Với mục đích mô phỏng điều khiển phản ứng thực tế bộ truyền động điện của một robot di động có bánh xe, một mô hình mô phỏng đã được xây dựng trên Matlab& Simulink như Hình 4.2 trình bày và Bảng 5.1 trình bày các thông số vật lý được sử dụng của thiết bị di động được mô phỏng.

Bảng 5.1. Thông số vật lý của robot di động được mô phỏng

Tên	Giá trị	Giá trị
Hằng số mô-men (K_m)	0,0041 Nm/A	0,0041 Nm/A
Hằng số sức điện động (K_b)	0,041 V.sec/rad	0,041 V.sec/rad
Điện trở phần ứng (R_a)	1,9 Ω	1,9 Ω
Điện cảm phần ứng (L_a)	0,001 H	0,001 H
Mô-men quán tính của động cơ (J_a)	0,0000214 kg/m ²	0,0000214 kg/m ²
Bán kính bánh xe (r)	0,04 m	0,04 m
Độ dày bánh xe (t)	0,032 m	0,032 m
Mô-men quán tính của bánh xe (J_w)	0,0038486 kg/m ²	0,0038486 kg/m ²
Mô-men quán tính của rô-to và bánh xe (J)	0,00387 kg/m ²	0,00387 kg/m ²
Hệ số ma sát của vòng bi (μ)	0,16 Nmsec	0,16 Nmsec

Tên	Giá trị	Giá trị
Hệ số ma sát của bánh xe mà mặt đất (ξ)	0,08 Nmsec	0,08 Nmsec
Hằng số điện áp của máy đo tốc độ (K)	0,031 V/rad	0,031 V/rad
Khối lượng của phương tiện (M_r)	3 kg	3 kg

Mô hình địa hình được tạo ra để thử nghiệm mô phỏng có cấu trúc như trên Hình 5.1 và dạng địa hình được tạo ra như trên Hình 5.2. Kết quả có thể lặp lại cho góc nghiêng địa hình bề mặt khác nhau chứng tỏ tính bền vững của thiết kế.



Hình 5.1: Sơ đồ khối mô hình địa hình chuyển động của robot



Hình 5.2: Mô hình địa hình được tạo ra để thử nghiệm

Hình 5.3 trình bày các đáp ứng tốc độ của bộ truyền động điều khiển robot di động với các giá trị đặt lần lượt là 0,1 m/s, 0,3 m/s, 0,5 m/s và 0,7 m/s.



Hình 5.3: Kết quả mô phỏng đáp ứng vận tốc đặt của robot

Kết quả cho thấy tốc độ của robot đáp ứng rất sát với giá trị đặt với sai lệch nhỏ hơn 1%, độ quá điều chỉnh nhỏ hơn 11,4%. Bộ điều khiển PI được thiết kế với bộ lọc trước là hoạt động tin cậy loại bỏ được yếu tố địa hình tác động tới robot. Điều đó làm cho bộ điều khiển phù hợp để điều khiển bất kỳ phản ứng nào điều khiển truyền động của nền tảng di động. 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.

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]. Dudek Gregory and Michael Jenkin (2000), *Computational principles of mobile robotics*, Cambridge university press.
- [2]. Egerstedt, M., X. Hu and A. Stotsky (2001), *Control of mobile platforms using a virtual vehicle approach*, IEEE Trans, On automatic control, vol.46, pp.1777-1782.
- [3]. Doh-Hyum Kim and Jun-Ho Oh. (1-4, September,

1998), *Globally asymptotically stable tracking control of mobile robots*, Proceedings of the IEEE International conference on control applications, 1297-1301, Trieste, Italy.

[4]. Zavlangas, Panagiotis G., Spyros G. Tzafestas and K. Althoefer (Sep., 2000), *Fuzzy obstacle avoidance and navigation for omni directional mobile robots*, ESIT 2000, 375-382, Aachen, Germany, 14-15.

[5]. Amirouche, Farid (2004), *Principles of Computer-Aided Design and Manufacturing, Second Edition*, Pearson Prentice Hall, New Jersey.

[6]. Richard C. Dorf and Robert H. Bishop (2001), *Modern Control Systems, Ninth Edition*, Prentice-Hall Inc., New Jersey.

[7]. Bentley, John P. (1995), *Principles of Measurement Systems, Third Edition*, Prentice Hall, United Kingdom.

Ngày nhận bài: 23/01/2024

Ngày nhận bài sửa: 05/02/2024

Ngày chấp nhận đăng: 16/02/2024