

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG TỔNG HỢP μ CHO MÔ HÌNH RÔ BÓT HAI BÁNH TỰ CÂN BẰNG

DESIGNING ROBUST μ SYNTHESIS CONTROLLER OF TWO WHEELED SELF BALANCING ROBOT

Đặng Xuân Kiên, Trịnh Quang Nam

Trường Đại học Giao thông vận tải Tp. Hồ Chí Minh

Tóm tắt: Trong bài báo này, chúng tôi đề xuất bộ điều khiển bền vững tổng hợp μ cho hệ thống điều khiển mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng, đây là hệ thống có tính chất phi tuyến cao. Thực tế, vấn đề điều khiển hệ phi tuyến luôn gặp nhiều thách thức dưới ảnh hưởng của nhiễu và các sai số không xác định của hệ thống. So sánh kết quả với một số phương pháp điều khiển tuyến tính khác. Kết quả mô phỏng cho thấy phương pháp điều khiển bền vững tổng hợp μ có đáp ứng tốt hơn. Qua đó đã minh chứng cho ưu điểm của phương pháp được lựa chọn.

Từ khóa: Hệ phi tuyến, điều khiển bền vững, rô bốt 2 bánh tự cân bằng, tổng hợp μ .

Chỉ số phân loại: 2.2

Abstract: In this paper, we propose the robust μ -synthesis controller for two wheeled self balancing robot which is considered as a high nonlinear system. In fact, the designing controller of nonlinear system presents many challenges under the effect of disturbance and uncertainty factors. The simulation results, which compare the other linear controller, show the robust μ -synthesis method has the better responses. Thereby proving the effective of propose solution.

Keyword: Nonlinear system, robust control, two wheeled self balancing robot, μ -Synthesis.

Classification number: 2.2

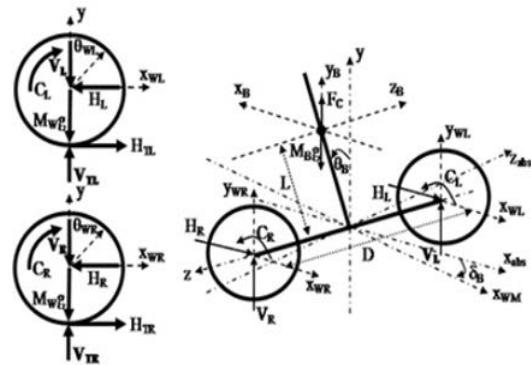
1. Giới thiệu

Mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng có tính phi tuyến cao và hiện nay có rất nhiều công trình nghiên cứu từ cổ điển đến hiện đại. Mô hình rô bốt phi tuyến này có nhiều ngõ vào và nhiều ngõ ra. Nhiều công trình chỉ dừng ở mức độ mô phỏng, tuy nhiên mỗi công trình đều có những ưu - nhược điểm khác nhau. Vấn đề thách thức với hệ thống điều khiển là giữ ổn định góc nghiêng thân rô bốt dưới tác động của các ngoại lực [1-3]. Trong một số công trình nghiên cứu gần đây đã áp dụng tiêu chuẩn bền vững trong điều khiển nhằm nâng cao chất lượng cho hệ thống, như ứng dụng bộ điều khiển H_2, H_∞, LQG [4-5], nhưng mỗi phương pháp đem lại những ưu nhược điểm khác nhau.

Trong quá trình làm việc mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng thường chịu ảnh hưởng của nhiễu ngoài làm cho các tham số bị thay đổi [5]. Mặt khác, khi thiết kế mô hình vật lý cũng có nhiều sai số so với lý thuyết, các tham số thay đổi có thể là mô men quán tính, khối lượng, các sai số này không đo lường được coi là không xác định [6]. Vì vậy, bài báo áp dụng phương pháp bền vững tổng hợp μ vào điều khiển mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng

nhằm điều khiển đạt đáp ứng đúng yêu cầu đặt ra với các thành phần nhiễu tác động [6-8].

2. Mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng



Hình 1. Lực tác động lên mô hình rô bốt hai bánh tự cân bằng.

Có nhiều phương pháp khác nhau để xác định mô hình động học của mô hình như định luật Newton, Lagrange. Trong bài báo này nhóm tác giả đề xuất sử dụng mô hình Euler - Lagrange cho đối tượng rô bốt hai bánh cân bằng, với hai giá trị ngõ vào là hai giá trị điện áp điều khiển hai động cơ của bánh xe trái (v_l) và bánh xe phải (v_r). Sáu giá trị của ngõ ra là giá trị góc trung bình bánh trái và bánh phải (θ), vận tốc góc đi tới của rô bốt ($\dot{\theta}$), giá trị góc nghiêng thân xe (ψ), giá trị vận tốc góc

ngiêng ($\dot{\psi}$), giá trị góc xoay của xe (ϕ), giá trị vận tốc góc xoay ($\dot{\phi}$). Phương trình động lực học mô tả chuyển động của rô bốt như sau [10]:

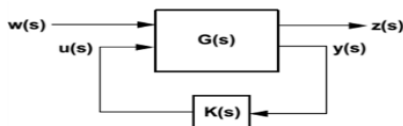
$$(MLR\cos\psi - 2n^2J_m)\ddot{\theta} + (ML^2 + J_\psi + 2n^2J_m)\ddot{\psi} - MgL\sin\psi - ML^2\dot{\phi}^2\sin\psi\cos\psi = -(v_l + v_r) + 2\beta\dot{\theta} - 2\beta\dot{\psi} \quad (1)$$

$$\left[\frac{1}{2}mW^2 + J_\phi + W^2/2R^2(J_\psi + n^2J_m) + ML^2\sin^2\psi\right]\ddot{\phi} + 2ML^2\dot{\psi}\dot{\phi}\sin\psi\cos\psi = \frac{W}{2R}\alpha(v_r - v_l) - \frac{W^2}{2R^2}(\beta + f_\psi)\dot{\phi} \quad (2)$$

Trong đó:

- M : Khối lượng rô bốt;
- m : Khối lượng bánh xe;
- ψ : Góc nghiêng của phần thân rô bốt;
- ϕ : Góc xoay của rô bốt;
- L : Khoảng cách từ trọng tâm rô bốt đến trục bánh xe;
- H : Chiều cao rô bốt;
- W : Chiều rộng rô bốt;
- D : Chiều sâu rô bốt;
- g : Gia tốc trọng trường;
- R : Bán kính của bánh xe;
- f_w : Hệ số ma sát giữa bánh xe và mặt phẳng di chuyển;
- f_m : Hệ số ma sát giữa rô bốt và động cơ;
- n : Tỷ số giảm tốc;
- v_l : Điện áp động cơ bánh trái;
- v_r : Điện áp động cơ bánh phải;
- i_l : Dòng điện động cơ bánh trái;
- i_r : Dòng điện động cơ bánh phải;

3. Thiết kế bộ điều khiển tổng hợp μ



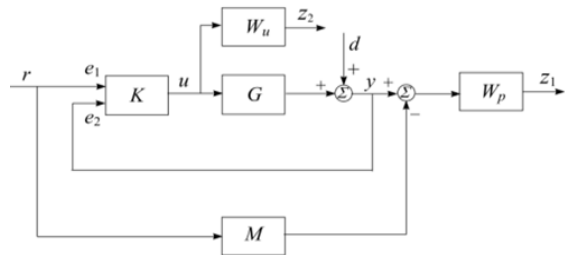
Hình 2. Mô hình đối tượng và bộ điều khiển.

Trong đó G là đối tượng điều khiển, K là bộ điều khiển, u là tín hiệu điều khiển và y là ngõ ra đo được, z là sai số cần phải tối thiểu.

4. Mô phỏng

Nói chung, bộ điều khiển K được thiết kế để ổn định hệ kín dựa vào mô hình đối tượng G . Tuy nhiên luôn tồn tại sai số giữa mô hình đối tượng G và mô hình thực tế nên hệ kín có khả năng mất ổn định. Sai số mô hình có thể biểu diễn như là nhiễu w phát sinh bởi ánh xạ Δ của ngõ ra z , khai báo trên Matlab như sau:

- $fp = ureal('fp, 0.0022, 'Mode', 'Range', 'Percentage', 20);$
- $fw = ureal('fw, 0.0001, 'Mode', 'Range', 'Percentage', 100);$



Hình 3. Sơ đồ khối bộ điều khiển tổng hợp μ .

Hệ thống vòng kín được mô tả:

$$z = T_{z\omega}\omega \quad (3)$$

Để hệ thống vòng kín bền vững đạt hiệu suất cao:

$$\mu_{\Delta p}(T_{z\omega}(j\omega)) < 1 \quad (4)$$

Từ phương trình (4) ta có:

$$\|T_{zw}\|_{\infty} < 1 \quad (5)$$

Điều này, lần lượt, đảm bảo thực hiện các điều kiện:

$$\|W_p S_o\|_{\infty} < 1, \quad \|W_u K S_o\|_{\infty} < 1 \quad (6)$$

Các bước tính toán như sau:

Bước 1: Xây dựng mô hình không chắc chắn của hệ thống;

Bước 2: Tách K ra khỏi sơ đồ hệ thống (hình 4), sử dụng matlab khai báo các tham số ngõ vào và ngõ ra các hàm truyền, các bộ tổng;

Bước 3: Sử dụng Matlab để tìm bộ điều khiển K theo phương pháp μ -Synthesis của hệ thống điều khiển bền vững đảm bảo (6);

Bước 4: Nghiệm lại hệ thống, dựa trên Matlab ta có γ nhỏ hơn 1, μ nhỏ hơn 1 và như vậy bộ điều khiển vừa tìm là bộ điều khiển của hệ thống.

4.1. Thông số bộ điều khiển bền vững tổng hợp μ

Một số thông số để mô phỏng hệ: $M = 0.5$ (kg); $m = 0.1$ (kg); $L = 0.1$ (m); $D = 0.07$ (m); $H = 0.2$ (m). Thông số điều khiển K dùng tổng hợp μ tính toán trên Matlab:

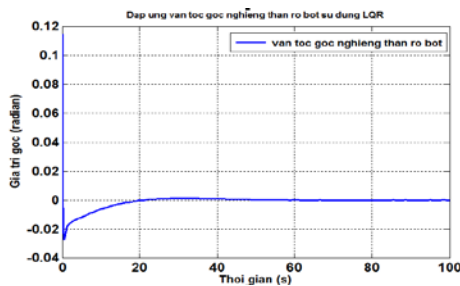
$$A_d = \begin{bmatrix} 0.947 & 0.003 & 0.003 & \dots & 3.28e-07 & 3.2e-05 & 0.035 \\ 0.001 & 0.960 & 5.07e-09 & \dots & -8.94e-03 & -8.9e-09 & 1.2e-04 \\ -0.211 & 1.204 & 0.911 & \dots & 0.154 & 0.1584 & -0.06 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ 0.15 & 3.172 & 0.155 & \dots & 0.937 & -0.06 & -0.15 \\ 0.151 & 3.171 & 0.155 & \dots & -0.06 & 0.937 & -0.15 \\ 1.87e-05 & 7.37e-06 & -7.74e-05 & \dots & -4.46e-03 & -4.4e-05 & 0.99 \end{bmatrix}$$

$$B_d = \begin{bmatrix} -9.32e-07 & 3.35e-11 & -3.354e-07 & \dots & -4.04e-06 & 1.43e-04 & -0.15 \\ 2.53e-05 & -1.21e-08 & 8.10e-08 & \dots & 1.12e-05 & -2.79e-05 & -0.002 \\ -0.004 & -2.71e-07 & -1.82e-05 & \dots & -2.53e-08 & -5.13e-06 & -0.044 \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots \\ -0.009 & -3.79e-04 & -8.06e-03 & \dots & -1.28e-09 & -1.17e-05 & 0.063 \\ -0.009 & -3.79e-04 & -8.06e-03 & \dots & -1.28e-09 & -8.72e-04 & -0.04 \\ 0.1274 & 2.42e-03 & 1.86e-04 & \dots & 2.18e-05 & 5.321e-03 & -0.179 \end{bmatrix}$$

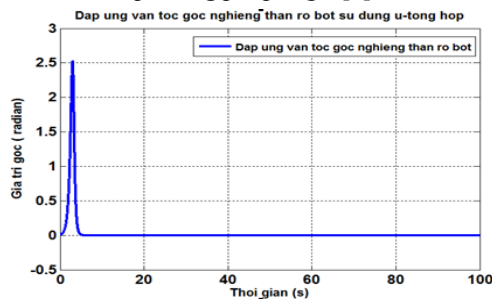
$$C_d = \begin{bmatrix} 0.0382 & 0.7989 & 0.0392 & \dots & 0.188 & -0.0153 & -0.0381 \\ 0.0382 & 0.7989 & 0.0392 & \dots & -0.015 & 0.1886 & -0.0381 \end{bmatrix}$$

$$D_d = \begin{bmatrix} -0.002 & -9.56e-07 & -2.03e-11 & \dots & -3.23e-12 & -2.19e-08 & -0.01 \\ -0.002 & -9.56e-07 & -2.03e-11 & \dots & -3.23e-12 & -2.19e-08 & -0.01 \end{bmatrix}$$

4.2. Kết quả mô phỏng so sánh với điều khiển LQR



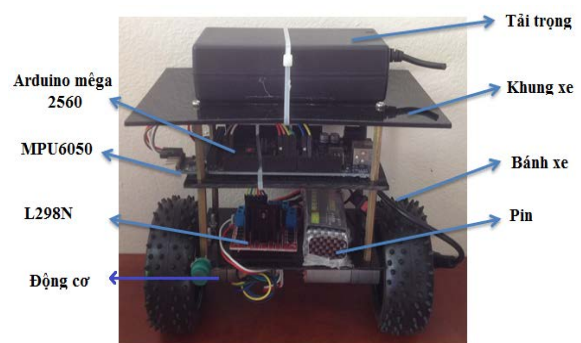
Hình 4. Đáp ứng góc nghiêng thân rô bốt sử dụng phương pháp LQR [4].



Hình 5. Đáp ứng vận tốc góc nghiêng thân rô bốt sử dụng phương pháp tổng hợp μ .

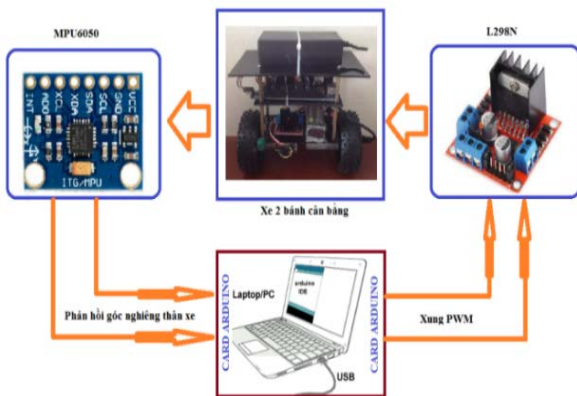
Nhận xét: Từ kết quả mô phỏng của phương pháp điều khiển tổng hợp μ ta thấy, về mặt đáp ứng bộ điều khiển tổng hợp μ cho đáp ứng nhanh hơn bộ điều khiển LQR nhưng biên độ dao động cực đại lớn hơn. Điểm đáp ứng của đối tượng với bộ điều khiển LQR (hình 4) dao động quanh vị trí cân bằng theo thời gian do ảnh hưởng của thông số không chắc chắn, còn (hình 4) bộ điều khiển bền vững cho thấy ít chịu ảnh hưởng của thông số không chắc chắn và bám điểm cân bằng hơn.

5. Thực nghiệm trên mô hình vật lý



Hình 6. Mô hình xe hai bánh tự cân bằng.

5.1. Mô hình vật lý



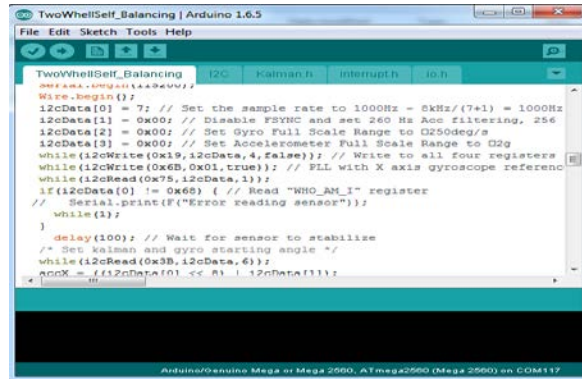
Hình 7. Sơ đồ kết nối hệ thống điều khiển.

Trong đó khối máy tính có nhiệm vụ thu thập dữ liệu của cảm biến góc nghiêng thân xe từ Card Arduino Mega 2560 để xuất dữ liệu ra màn hình. Card Arduino Mega 2560 có nhiệm vụ đọc dữ liệu từ cảm biến góc nghiêng trên mô hình xe hai bánh rồi so sánh với giá trị đặt từ đó xuất tín hiệu điều khiển đến các động cơ thông qua mạch công suất (L298). Khối công suất có nhiệm vụ điều khiển chiều và tốc độ hai động cơ một chiều có gắn bánh xe.

Thông số kỹ thuật:

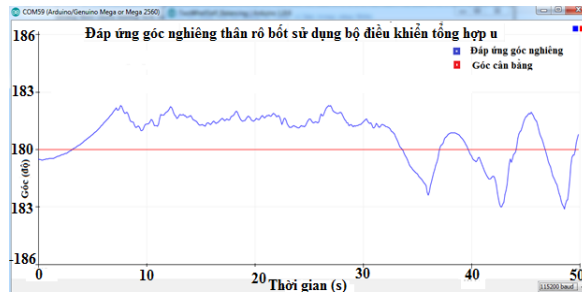
- Điện áp cấp cho động cơ: 3 - 12VDC;
- Điện áp cấp cho Encoder hoạt động: 3.3VDC;
- Đĩa Encoder 11 xung, hai kênh A - B;
- Tỷ số truyền khi qua hộp giảm tốc: 1:34;
- Số xung khi qua hộp giảm tốc: 374 xung;
- Đường kính động cơ: 25mm;
- Đường kính động cơ: 25mm;
- Tốc độ không tải: 320 rpm;
- Tốc độ có tải: 284 rpm;
- Dòng khi có tải: 600mA;
- Công suất định mức: 13.2W;
- Dòng khi động cơ bị giữ: 2.29A.

5.2. Kết quả thực nghiệm



Hình 8. Chương trình điều khiển xe hai bánh cân bằng (tổng hợp μ).

Với hệ số K tìm được của phương pháp điều khiển bền vững tổng hợp μ ở trên và kết hợp với việc lập trình điều khiển bằng phần mềm IDE, chương trình trình viết cho Arduino 1.6.5 (hình 8).



Hình 9. Đáp ứng góc nghiêng thân xe sử dụng phương pháp (tổng hợp μ).

Kết quả đáp ứng góc nghiêng thân rô bốt của hệ thống như trên hình 9 cho thấy bộ điều khiển bền vững thiết kế tuy đảm bảo điều khiển được dưới ảnh hưởng của sai số nhưng chất lượng chưa thực sự tốt, đó cũng chính là nhược điểm của phương pháp này.

6. Kết luận

Trong bài báo này tác giả sử dụng phương pháp tổng hợp μ để điều khiển hệ thống rô bốt hai bánh tự cân bằng nhằm mục đích giữ cân bằng và ổn định góc dưới ảnh hưởng của nhiễu và sai số mô hình. Đáp ứng của hệ thống tốt trong vùng khảo sát, hệ số $\Gamma = 0,846 < 1$ và $\mu = 0,237 < 1$, thỏa mãn tiêu chuẩn bền vững. Qua mô phỏng bằng Matlab, kết quả so sánh với công trình nghiên cứu khác, bài báo đã chứng minh được chất lượng, sự ổn định và đảm bảo các chỉ tiêu bền vững khi sử dụng bộ điều khiển đề xuất. Nhược điểm của phương pháp chưa có khả năng thích nghi, chỉ xét trong vùng khảo sát có giới hạn, trong miền có tính chất phi tuyến cao thì chưa đáp ứng được.

Kết quả thực nghiệm được là cơ sở để nhóm tác giả tiến hành cải tiến chất lượng của bộ điều khiển trong các nghiên cứu sau □

Tài liệu tham khảo

- [1] Keerthi Prakash, Koshy Thomas, “A Comparative Study of Controllers for a Two Wheeled Self-balancing Robot”, IJAREEIE Vol. 5, Issue 6, 2016.
- [2] Junfeng Wu, Xiaohan Wang, Haiying Wang, “Research on Two Wheeled Self Balancing Robot Control Strategy Based on LQR Fuzzy Alogorithm”, International Journal of and Automation, vol .9 No.2 (2016).
- [3] M. Arvidsson, J. Karlsson, “Design, construction and verification of a self-balancing vehicle”, Chalmers University of Tech, Sweden, 2012.
- [4] Wei An, Yangmin Li, “Simulation and Control of a Two-wheeled Self-balancing Robot” ROBIO, Shenzhen, China, December 2013.
- [5] Junfeng Wu, Yuxin Liang, Zhe Wang, “A robust control method of two-wheeled self-balancing robot”, IEEE, 15 September 2011.
- [6] Djulil Amri, Bhakti Yudho Suprpto, Suci Dawijayanti, “Comparison of Control Methods PD, PI, and PID on Two Wheeled Self Balancing Robot”, EECSI, Indonesia, 20-21 August 2014.
- [7] Qingqing Zhang, “Research on Double Cascade Control Algorithm for Self-Balancing Two-Wheeled Vehicle”, Chengdu, China, April 2016.
- [8] Uhardi Azliy Bin Junoh, “Two Wheeled balancing Robot Controller Designed using PID”, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, 2015.
- [9] Nguyen Trung Phi, Dang Xuan Kien, “Design and analysis of two degrees of freedom helicopter model based on robust H_{∞} control synthesis method”, Tạp chí KHCN hàng hải, Aug 2016.
- [10] Gia Thi Dinh, Nguyen Duy Cuong, “Robust adaptive control for two-wheeled mobile robot” Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hóa, VCCA-2015.

Ngày nhận bài: 30/11/2018

Ngày chuyển phản biện: 5/12/2018

Ngày hoàn thành sửa bài: 26/12/2018

Ngày chấp nhận đăng: 2/1/2019