

Điều khiển dựa vào tính thụ động cho Robot xe đạp

Huyền Minh Ngọc^{1,2}, Dương Hoài Nghĩa^{3,*}, Nguyễn Vĩnh Hảo¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất hệ thống điều khiển robot xe đạp dùng phương pháp dựa trên tính thụ động. Robot xe đạp là hệ phi tuyến, đa biến (multi input - multi output - MIMO). Robot xe đạp có tín hiệu vào thứ nhất là momen điều khiển bánh lái và tín hiệu vào thứ hai có mối liên hệ với động năng.

Hai tín hiệu ra là vận tốc góc bánh lái $\dot{\alpha}$ và vận tốc góc nghiêng của xe $\dot{\beta}$. Robot xe đạp được chứng minh là hệ thụ động. Xét bài toán điều khiển để làm góc bánh lái α bám giá trị 0 và góc nghiêng của xe β bám giá trị 0 để xe cân bằng thẳng đứng. Chúng ta đặt biến điều khiển mới η để hệ là thụ động với ngõ vào η và ngõ ra $y = [\alpha; \beta]$, tức là vận tốc góc bánh lái và vận tốc góc nghiêng

của xe. Ổn định hóa điểm cân bằng ở gốc tọa độ dùng điều khiển PI (proportional integral-PI) dựa trên tính thụ động. Kết quả mô phỏng được thực hiện bằng Simulink trong MATLAB và có kết quả khá tốt, như là thời gian quá độ nhỏ và độ vọt lố bé. Sai lệch góc bánh lái tiến về 0.01 sau 2 giây và sai lệch góc nghiêng của xe tiến về 0.01 sau 2 giây. Phân tích ổn định dùng lý thuyết thụ động chứng minh rằng điểm cân bằng ở gốc tọa độ là ổn định tiệm cận trong trường hợp điều khiển PI dựa trên tính thụ động vì hệ có hàm tích trữ V_b xác định dương, \dot{V}_b bán xác định âm và hệ quan sát được trạng thái 0.

Từ khoá: Robot xe đạp, điều khiển dựa vào tính thụ động, điều khiển PI

GIỚI THIỆU

Điều khiển dựa vào tính thụ động đã được nghiên cứu nhiều bởi các nhà nghiên cứu. Robot xe đạp là hệ phi tuyến, đa biến (MIMO) và việc điều khiển có nhiều thách thức.

Các tác giả Tanaka Y, Murakami T¹ dùng góc bánh lái để giữ cân bằng xe. Robot xe đạp có góc bánh lái là tín hiệu điều khiển và góc nghiêng của xe là tín hiệu ra. Tác giả Astrom² đã mô hình hóa xe đạp và tuyến tính hóa hệ quanh điểm cân bằng và áp dụng điều khiển hồi tiếp. Các tác giả Guo L *et al.*³ mô hình hóa xe đạp là hệ phi tuyến, MIMO. Hai ngõ vào của xe đạp là momen bánh lái và động năng. Hai ngõ ra là góc bánh lái và góc nghiêng của xe. Các tác giả áp dụng tuyến tính hóa vào-ra cho robot xe đạp và dùng điều khiển hồi tiếp trạng thái dùng phân bố cực. Các tác giả điều khiển góc điều khiển bánh lái và vận tốc xe để giữ thẳng bằng xe.

Tác giả Dương Hoài Nghĩa⁴ trình bày các phương pháp điều khiển hệ đa biến tuyến tính, điều khiển trượt hệ phi tuyến và tính thụ động. Tác giả Khalil⁵ trình bày ổn định hệ phi tuyến dùng lý thuyết Lyapunov, tính thụ động và điều khiển dựa vào tính thụ động với áp dụng cho robot hai bậc tự do. Điều khiển dựa vào tính thụ động (PBC)⁶ cho hệ con lắc ngược được trình bày. Các tác giả Dương Hoài Nghĩa và

Huyền Minh Ngọc⁷ đã trình bày điều khiển tuyến tính hóa vào-ra cho hệ robot xe đạp có hai ngõ vào và hai ngõ ra. Hai tín hiệu vào là momen bánh lái và động năng. Hai tín hiệu ra là góc bánh lái và góc nghiêng của xe. Luật điều khiển tuyến tính sẽ tuyến tính và phân tách hệ thành các hệ SISO. Sau đó bộ điều khiển tỉ lệ vi phân và khâu bổ chính bậc một được sử dụng để ổn định hóa các hệ một đầu vào một đầu ra này.

Các tác giả Zare Sh, Tavakolpour-Saleh AR, và Binazadeh T⁸ trình bày kỹ thuật điều khiển dựa trên tính thụ động có tích hợp giải thuật di truyền. Các tác giả Hayakawa T, Haddad WM, Bailey JM, và Hovakimyan N⁹ trình bày điều khiển hồi tiếp ngõ ra thích nghi nonon dựa vào tính thụ động cho hệ thống động không âm phi tuyến. Các tác giả Li M, Chesli G, và Hong Y¹⁰ đã trình bày tối ưu hóa phân bố dựa trên thụ động truyền thẳng ngõ vào trên hai sơ đồ được cân bằng kết nối nhau. Các tác giả Gokdere LU, Simaan MA¹¹ đã trình bày điều khiển dựa vào tính thụ động cho động cơ không đồng bộ, và đề nghị giải thuật điều khiển mà buộc động cơ không đồng bộ bám theo tốc độ thay đổi theo thời gian, vị trí và quỹ đạo từ thông mà không cần biết tri thức về các biến trạng thái điện phản ứng.

Bài báo này đề nghị điều khiển PI dựa trên tính thụ động cho robot xe đạp. Phân tích ổn định dùng lý

¹Trường Đại học Bách khoa – ĐHQG-HCM

²Trường Đại học Công nghiệp TP. HCM

³Trường Đại học Quốc tế Miền Đông

Liên hệ

Dương Hoài Nghĩa, Trường Đại học Quốc tế Miền Đông

Email: nghia.duong@eiu.edu.vn

Lịch sử

- Ngày nhận: 06-01-2022
- Ngày chấp nhận: 11-7-2022
- Ngày đăng: 20-8-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.954



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Trích dẫn bài báo này: Ngọc H M, Nghĩa D H, Hảo N V. **Điều khiển dựa vào tính thụ động cho Robot xe đạp.** *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.*; 5(2):1520-1527.

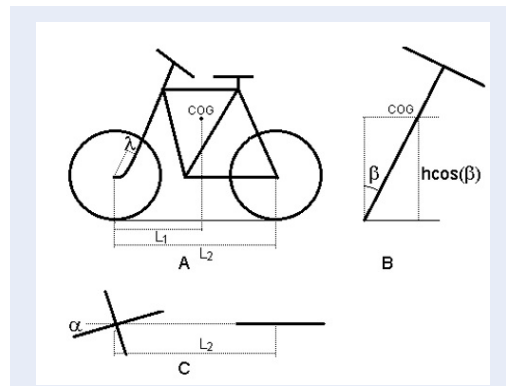
thuyết thụ động để cho thấy điểm cân bằng ở góc tọa độ là ổn định tiệm cận. Kết quả mô phỏng dùng MATLAB/Simulink.

Bài báo được bố cục như sau. Giới thiệu được trình bày trong phần 1, Phương pháp nghiên cứu bao gồm mô hình robot xe đạp, phương pháp dựa vào tính thụ động và tính thụ động của robot xe đạp được trình bày trong phần 2. Thiết kế bộ điều khiển dựa vào tính thụ động được trình bày trong phần 3. Kết quả mô phỏng và thảo luận được trình bày trong phần 4. Phần 5 kết luận bài báo.

ĐIỀU CƠ BẢN VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Mô hình robot xe đạp

Các thông số của robot xe đạp được trình bày ở Hình 1 và Bảng 1³. Robot được truyền động bởi 2 động cơ. Động cơ 1 được bố trí ở trục bánh sau giúp robot di chuyển với vận tốc V. Động cơ 2 được bố trí trên trục của phuộc để điều khiển góc bánh lái a.



Hình 1: Các thông số của robot xe đạp (A nhìn ngang, B: nhìn từ trước, C: nhìn từ trên)

Bỏ qua chuyển động trượt của các bánh xe, phương trình động học của robot xe đạp³ là:

$$M(q) \cdot \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \cdot \dot{q} + G(q) = u \quad (1)$$

Trong đó:

$$q = \begin{bmatrix} \alpha \\ \beta \end{bmatrix}$$

$$M(q) = \begin{bmatrix} m_1 \lambda^2 + 0.5 m_1 r^2 + m_2 \lambda^2 p^2 & m_2 h p \lambda \cos \beta + m_1 r \lambda \cos \beta \\ m_2 h p \lambda \cos \beta + m_1 r \lambda \cos \beta & 3 m_1 r^2 + 2 m_2 h^2 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$C(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & -\dot{\beta} (m_1 r \lambda \sin \beta + m_2 h p \lambda \sin \beta) \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$G(q) = \begin{bmatrix} 0 \\ -(2 m_1 r + m_2 h) g \sin \beta \end{bmatrix} \quad (4)$$

$$u = \begin{bmatrix} u_1 \\ u_2 \end{bmatrix} \quad (5)$$

Các tín hiệu vào điều khiển gồm có u_1 là momen của động cơ quay bánh lái và u_2 . u_2 có liên quan động năng W_d .

Từ phương trình (1), mô hình trạng thái của robot xe đạp³ được xác định như công thức (6) (Hình):

Mô hình toán học có thể được viết lại với tín hiệu điều khiển u_1 và u_2 như (7) (Hình)

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{c_2 \sin(x_3) x_4^2 + c_3 u_1 + d_2 d_3 \tan(x_1) \cos^2(x_3) W_d}{1 - d_1 c_1 \cos^2(x_3)} \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{0.5 d_1 c_2 \sin(2 x_3) x_4^2 + d_1 c_3 \cos(x_3) u_1 + d_2 d_3 \tan(x_1) \cos(x_3) W_d}{1 - d_1 c_1 \cos^2(x_3)} \end{cases} \quad (6)$$

$$\begin{cases} \dot{x}_1 = x_2 \\ \dot{x}_2 = \frac{c_2 \sin(x_3) x_4^2 + 0.5 d_1 c_1 g \sin(2 x_3) + c_3 u_1 + d_3 c_1 \cos(x_3) u_2}{1 - d_1 c_1 \cos^2(x_3)} \\ \dot{x}_3 = x_4 \\ \dot{x}_4 = \frac{d_4 g \sin(x_3) + 0.5 d_1 c_2 \sin(x_3) x_4^2 + d_1 c_3 \cos(x_3) u_1 + d_3 u_2}{1 - d_1 c_1 \cos^2(x_3)} \end{cases} \quad (7)$$

Trong đó: $x_1 = \alpha$, $x_2 = \dot{\alpha}$, $x_3 = \beta$, $x_4 = \dot{\beta}$ là các biến trạng thái. x_1 là góc bánh lái. x_2 là vận tốc góc bánh lái. x_3 là góc nghiêng của xe so với phương thẳng đứng. x_4 là vận tốc góc nghiêng của xe.

Các tín hiệu ra y gồm có vận tốc góc bánh lái $y_1 = \dot{\alpha}$ và vận tốc góc nghiêng của xe $y_2 = \dot{\beta}$. u_2 có quan hệ với động năng W_d như sau:

$$u_2 = d_2 t g(\alpha) \cos(\beta) W_d - (2 m_1 r + m_2 h) g \sin(\beta) \quad (8)$$

$$\text{hay } W_d = \frac{u_2 + (2 m_1 r + m_2 h) \sin(\beta)}{d_2 t g(\alpha) \cos(\beta)}$$

$$W_d = \frac{(2 m_1 + m_2) V^2}{2} \quad (9)$$

W_d là động năng của chuyển động tịnh tiến của xe.

Trong đó:

$$\begin{aligned} c_1 &= \frac{-(m_1 r + m_2 h p \lambda)}{m_1 r^2 / 2 + m_1 \lambda^2 + m_2 p^2 \lambda^2} \\ c_2 &= \frac{(m_1 r + m_2 h p) \lambda}{m_1 r^2 / 2 + m_1 \lambda^2 + m_2 p^2 \lambda^2} \\ c_3 &= \frac{1}{m_1 r^2 / 2 + m_1 \lambda^2 + m_2 p^2 \lambda^2} \\ d_1 &= \frac{-(m_1 r + m_2 h p) \lambda}{3 m_1 r^2 + 2 m_2 h^2} \\ d_2 &= \frac{2(2 m_1 r + m_2 h)}{(2 m_1 + m_2) L_2} \\ d_3 &= \frac{1}{3 m_1 r^2 + 2 m_2 h^2} \\ d_4 &= \frac{2 m_1 r^2 + m_2 h^2}{3 m_1 r^2 + 2 m_2 h^2} \end{aligned} \quad (10)$$

Bảng 1: Các thông số của robot xe đạp

Tên	Ý nghĩa vật lý	Giá trị
COG	Trọng tâm của xe (center of gravity)	
m_1	Khối lượng của mỗi bánh xe	2.5 kg
m_2	Khối lượng khung xe	18 kg
r	Bán kính của mỗi bánh xe	0.33 m
λ	Khoảng cách giữa trục của phuộc và trục của bánh trước	0.04 m
h	Chiều cao của trọng tâm (COG) khi xe đứng thẳng (= 0)	0,92 m
L_1	Khoảng cách giữa hình chiếu lên mặt phẳng ngang của trục bánh trước và trọng tâm xe	0.7 m
L_2	Khoảng cách giữa trục bánh trước và trục bánh sau	1.1 m
p	$(L_2 - L_1)/L_2$	0.36
α	Góc của bánh trước so với phương chuyển động	
β	Góc nghiêng của xe so với phương thẳng đứng	
V	Vận tốc chuyển động thẳng của xe	

Phương pháp dựa vào tính thụ động

Định nghĩa: Cho hệ thống động sau:

$$\dot{x} = f(x, u)$$

$$\dot{y} = h(x, u)$$

Trong đó hàm f là Lipschitz cục bộ, h là liên tục, $f(0,0)=0$ và $h(0,0)=0$

Hệ thống là thụ động nếu tồn tại hàm $V(x)$ bán xác định dương liên tục có đạo hàm thỏa mãn điều kiện: $u^T y \geq \dot{V}(x, u)$.

Giả sử hệ thống có $u(u=0) : \begin{cases} \dot{x} = f(x) \\ y = h(x) \end{cases}$

Nếu $y \equiv 0$ thì $x \equiv 0$. Hệ thống này được gọi là quan sát được trạng thái 0.

Tính chất⁴:

Cho hệ thống:

Nếu hệ thống trên thỏa mãn:

i) Thụ động với hàm tích trữ $V(x)$ xác định dương.

ii) Hệ quan sát được trạng thái 0.

iii) $V(x) \rightarrow \infty$ khi $x \rightarrow \infty$.

thì có thể ổn định hóa toàn cục điểm cân bằng ở gốc tọa độ bằng luật điều khiển $u = -\varphi(y)$ với $\varphi(y)$ thỏa $\varphi(0) = 0; y^T \varphi(y) = 0 \forall y \neq 0..$

Tính chất thụ động của robot xe đạp

Trong phương trình (1), ta lưu ý $M(q)$ là đối xứng và định thức $\det(M(q))$:

$$\begin{aligned} \det(M(q)) &= (3m_1r^2 + 2m_2h^2) \\ &\times (m_1\lambda^2 + 0.5m_1r^2 + m_2\lambda^2p^2) \\ &- (m_1r\lambda + m_2h\lambda^2p^2 \cos^2\beta) \\ &= (3m_1r^2 + 2m_2h^2) (m_1\lambda^2 + 0.5m_1r^2 + m_2\lambda^2p^2) \\ &- (m_1r\lambda + m_2\lambda^2p^2) (1 - \sin^2\beta) \\ &= 2m_1r^2p^2 + 1.5m_1r^4 + 3m_1m_2r^2\lambda^2p^2 \\ &+ 2m_1m_2h^2\lambda^2 + m_1m_2r^2h^2 + m_2^2h^2\lambda^2p^2 \\ &- 2m_1m_2r\lambda^2hp + (m_1r\lambda + m_2h\lambda\lambda p^2 \sin^2\beta) > 0 \end{aligned} \quad (11)$$

vì

$$\begin{aligned} &m_1m_2\lambda^2(3r^2p^2 + 2h^2 - 2rph) \\ &= m_1m_2\lambda^2(2r^2p^2 + h^2 + (rp - h)) > 0 \end{aligned} \quad (12)$$

Vì vậy $M(q)$ là xác định dương với mọi q .

Từ các phương trình (2), (3), ta suy ra:

$$\dot{M} - 2C = \begin{bmatrix} 0 & (m_1r\lambda + m_2hp\lambda) \dot{\beta} \cdot \sin\beta \\ -(m_1r\lambda + m_2hp\lambda) \dot{\beta} \cdot \sin\beta & 0 \end{bmatrix} \quad (12)$$

Ta suy ra tính chất sau:

$$z^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})) z = 0, \forall z \in R^2 \quad (13)$$

Tính chất thụ động của robot xe đạp:

Chọn hàm tích trữ E :

$$E = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} + (2m_1r + m_2h) g \cos\beta$$

$$E = 0 \text{ khi } \dot{q} = 0; \beta = \pm\pi/2.$$

$$E > 0 \text{ khi } \dot{q} \neq 0; \beta \in (-\pi/2, \pi/2)$$

Do đó E xác định dương.

Thể năng:

$$U = (2m_1r + m_2h)g \cos \beta$$

Lưu ý rằng:

$$G(q) = \frac{\partial U(q)^T}{\partial q} = \begin{bmatrix} 0 \\ -(2m_1r + m_2h)g \sin \beta \end{bmatrix} \quad (14)$$

Tính đạo hàm \dot{E} :

$$\begin{aligned} \dot{E} &= \dot{q}^T M(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \dot{q}^T G(q) \\ &= \dot{q}^T (-C(q, \dot{q}) \dot{q} + G(q) + u) \\ &\quad + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \dot{q}^T G(q) \\ &= \frac{1}{2} \dot{q}^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})) \dot{q} - \dot{q}^T G(q) \\ &\quad + \dot{q}^T u + \dot{q}^T G(q) = \dot{q}^T u \end{aligned} \quad (15)$$

vì theo phương trình (1):

$$M(q) \cdot \ddot{q} = -C(q, \dot{q}) \dot{q} - G(q) + u$$

và theo tính chất (13):

$$z^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})) z = 0, \forall z \in R^2$$

Hệ thống là thụ động với ngõ vào u và ngõ ra \dot{q} vì $\dot{q}^T u \geq \dot{E}, \forall u$. Hàm tích trữ E xác định dương.

THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN DỰA VÀO TÍNH THỤ ĐỘNG

Ta vận dụng ổn định hóa và điều khiển dựa vào tính thụ động⁵ vào thiết kế bộ điều khiển PI dựa vào điều khiển thụ động cho hệ robot xe đạp.

Xét bài toán điều khiển để làm q bám giá trị hằng số q_r .

Ổn định hóa tại điểm $q = q_r = [0, 0]^T$. Đặt biến sai số e :

$$e = q - q_r$$

$$\dot{e} = \dot{q}$$

Phương trình động học của robot xe đạp được cho ở phương trình (1):

$$M(q) \cdot \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \cdot \dot{q} + G(q) = u$$

Do muốn xe cân bằng thẳng đứng nên ta chọn $q_r = [0, 0]^T$. Do đó $e = q, \dot{e} = \dot{q}, \ddot{e} = \ddot{q}$. Điểm cân bằng $[q = 0, \dot{q} = 0]$ (là $[e = 0, \dot{e} = 0]$) không là điểm cân bằng vòng hở.

Đặt

$$u = G(q) - \varphi_I(q) + \eta \quad (16)$$

Với $\varphi_I(q)$ thỏa $\varphi_I(0) = 0, q^T \varphi_I(q) > 0 \forall q \neq 0$

Chọn: $\varphi_I(q) = K_I q$. K_I là ma trận đối xứng xác định dương, $K_I = K_I^T > 0$.

Từ phương trình (1) và (16), ta viết lại:

$$M(q) \ddot{q} + C(q, \dot{q}) \dot{q} + \varphi_I(q) = \eta \quad (17)$$

Chọn hàm tích trữ V_b :

$$V_b(q, \dot{q}) = \frac{1}{2} \dot{q}^T M(q) \dot{q} + \int_0^q \varphi_I^T(\sigma) d\sigma \quad (18)$$

$V_b > 0 \forall \dot{q} \neq 0, q \neq 0$

$V_b = 0$ khi $\dot{q} = 0, \varphi_I(0) = 0$.

Vậy V_b xác định dương.

Tính đạo hàm \dot{V}_b :

$$\begin{aligned} \dot{V}_b &= \dot{q}^T M(q) \ddot{q} + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \varphi_I^T(q) \dot{q} \\ &= \dot{q}^T (\eta - C(q, \dot{q}) \dot{q} - \varphi_I(q)) \\ &\quad + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \varphi_I^T(q) \dot{q} \\ &= \dot{q}^T \eta - \dot{q}^T C(q, \dot{q}) \dot{q} - \dot{q}^T \varphi_I(q) \\ &\quad + \frac{1}{2} \dot{q}^T \dot{M}(q) \dot{q} + \varphi_I^T(q) \dot{q} \\ &= \frac{1}{2} \dot{q}^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})) \dot{q} \\ &\quad - \dot{q}^T \varphi_I(q) + \dot{q}^T \eta + \varphi_I^T(q) \dot{q} \\ &= \frac{1}{2} \dot{q}^T (\dot{M}(q) - 2C(q, \dot{q})) \dot{q} \\ &\quad - \dot{q}^T \varphi_I(q) + \dot{q}^T \eta + \varphi_I^T(q) \dot{q} \\ &= \dot{q}^T \eta. \end{aligned} \quad (19)$$

Vì $\dot{q}^T \varphi_I(q) = \varphi_I^T(q) \dot{q}$ và theo (17) $M(q) \ddot{q} = \eta - C(q, \dot{q}) \dot{q} - \varphi_I(q)$ và theo tính chất (13).

Hệ thống (17) là thụ động với ngõ vào η và ngõ ra $y = \dot{q}$ vì có $\dot{q}^T \eta \geq \dot{V}_b$. V_b là hàm tích trữ xác định dương.

Hệ này quan sát được trạng thái 0. Cho $\eta = 0$

$$y = \dot{q} \equiv 0 \rightarrow \ddot{q} \equiv 0 \rightarrow \varphi_I(q) \equiv 0 \Rightarrow q \equiv 0$$

vì theo phương trình (17) và $\varphi_I(q) = K_I q$. Chọn luật điều khiển thụ động:

$$\eta = -\varphi_P(\dot{q}) \quad (20)$$

với $\varphi_P(0) = 0, \dot{q}^T \varphi_P(\dot{q}) > 0 \forall \dot{q} \neq 0$.

Suy ra luật điều khiển:

$$u = G(q) - \varphi_I(q) - \varphi_P(\dot{q})$$

Ta chọn:

$$\varphi_P(\dot{q}) = K_P \dot{q}$$

với K_P là ma trận đối xứng xác định dương, $K_P = K_P^T > 0$.

Do đó ta có luật điều khiển u :

$$u = G(q) - K_P \dot{q} - K_I q \quad (21)$$

Với $G(q)$ cho bởi (4).

Phân tích ổn định:

Xét hệ kín (17) có $\eta = -\varphi_P(\dot{q})$.

Đạo hàm \dot{V}_b :

$\dot{V}_b \leq \dot{q}^T \eta \Rightarrow \dot{V}_b \leq -\dot{q}^T \varphi_P(\dot{q}) \leq 0$ vì hệ (17) là thụ động và theo (23): $\eta = -\varphi_P(\dot{q})$

$\varphi_P(0) = 0; \dot{q}^T \varphi_P(\dot{q}) > 0 \forall \dot{q} \neq 0$.

$\dot{V}_b = 0$ khi $\dot{q} = 0$. Vậy \dot{V}_b là bán xác định âm. Vậy điểm cân bằng ở gốc tọa độ là ổn định tiệm cận vì hệ có hàm tích trữ V_b xác định dương, \dot{V}_b bán xác định âm và hệ quan sát được trạng thái 0.

KẾT QUẢ MÔ PHỎNG VÀ THẢO LUẬN

Hệ được mô tả bởi phương trình (6) và (8).

Thay số từ Bảng 1 ta được: $c_1 = -1.90$, $c_2 = 1.90$, $c_3 = 6.95$, $d_1 = -0.0088$, $d_2 = 1.44$, $d_3 = 0.032$, $d_4 = 0,582$.

Điều kiện đầu:

$x_{10} = 0.01$; $x_{20} = -0.01$; $x_{30} = 0.01$; $x_{40} = -0.02$
 $k_{p1} = 100$, $k_{p2} = 100$, $k_{i1} = 150$, $k_{i2} = 150$.

Tín hiệu đầu ra gồm có y_1 và y_2 và tín hiệu điều khiển gồm có u_1 và u_2 và góc α , β được minh họa ở Hình 2. Hình 2 cho thấy tín hiệu y_1 tiến về giá trị 0 sau 0.5s và y_2 tiến về giá trị 0 sau 2.4 s. Tín hiệu u_1 bằng 0 sau 0.8s. Tín hiệu u_2 tiến về -1.8 sau 4 s. Góc α tiến về 0,01 và góc nghiêng β tiến về 0.01. Tín hiệu u_2 bằng $-(2m_1r + m_2h)g \sin \beta = -1.8$.

Từ Bảng 2, ta nhận thấy PI-PBC tốt : có độ vọt lố bé và thời gian quá độ nhỏ.

Tín hiệu sai lệch $e = q - q_r$ với $q_r = [0, 0]^T$ được minh họa ở Hình 3.

Hình 3 cho thấy sai lệch $e = q - q_r$ với $q_r = [0; 0]$ và sai lệch góc α tiến về 0.01 sau 2 giây và sai lệch góc β tiến về 0.01 sau 2 giây. Sai lệch góc α chính là góc bánh lái α và sai lệch góc β chính là góc nghiêng của xe β .

KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất điều khiển PI dựa vào tính thụ động cho robot xe đạp. Kết quả mô phỏng là khá tốt và thời gian quá độ nhỏ và độ vọt lố bé. Phân tích ổn định dùng lý thuyết thụ động chứng tỏ điểm cân bằng ở gốc tọa độ là ổn định tiệm cận trong trường hợp điều khiển PI dựa trên tính thụ động.

DANH MỤC TỪ VIẾT TẮT

SISO single input – single output
 MIMO multi input – multi output
 PBC passivity-based control
 PI proportional integral
 PI-PBC proportional integral - PBC

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Bản thảo bài báo không có xung đột lợi ích với các tác giả khác và chưa được gửi bài ở các tạp chí khác.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

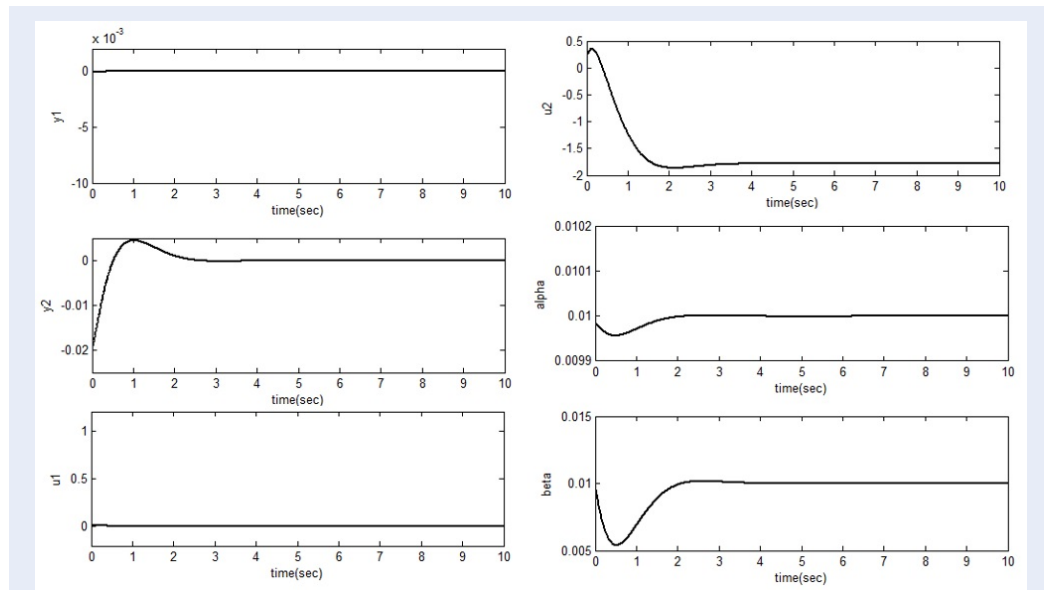
Tác giả Dương Hoài Nghĩa: là người hướng dẫn, đưa ra ý tưởng nghiên cứu đề tài; đóng góp ý kiến nhiều để tác giả Huỳnh Minh Ngọc viết và chỉnh lại bài báo. Là tác giả chịu trách nhiệm (main contact author) bài báo, duyệt cho nộp bài báo.

Tác giả Nguyễn Vĩnh Hào: là người hướng dẫn, đưa ra ý tưởng nghiên cứu đề tài; góp ý cho bài báo, tham gia.

Tác giả Huỳnh Minh Ngọc, là tác giả đầu (first author), người viết bản thảo bài báo, thực hiện mô phỏng và viết chỉnh sửa theo góp ý phản biện và theo các góp ý của tác giả Dương Hoài Nghĩa và Nguyễn Vĩnh Hào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

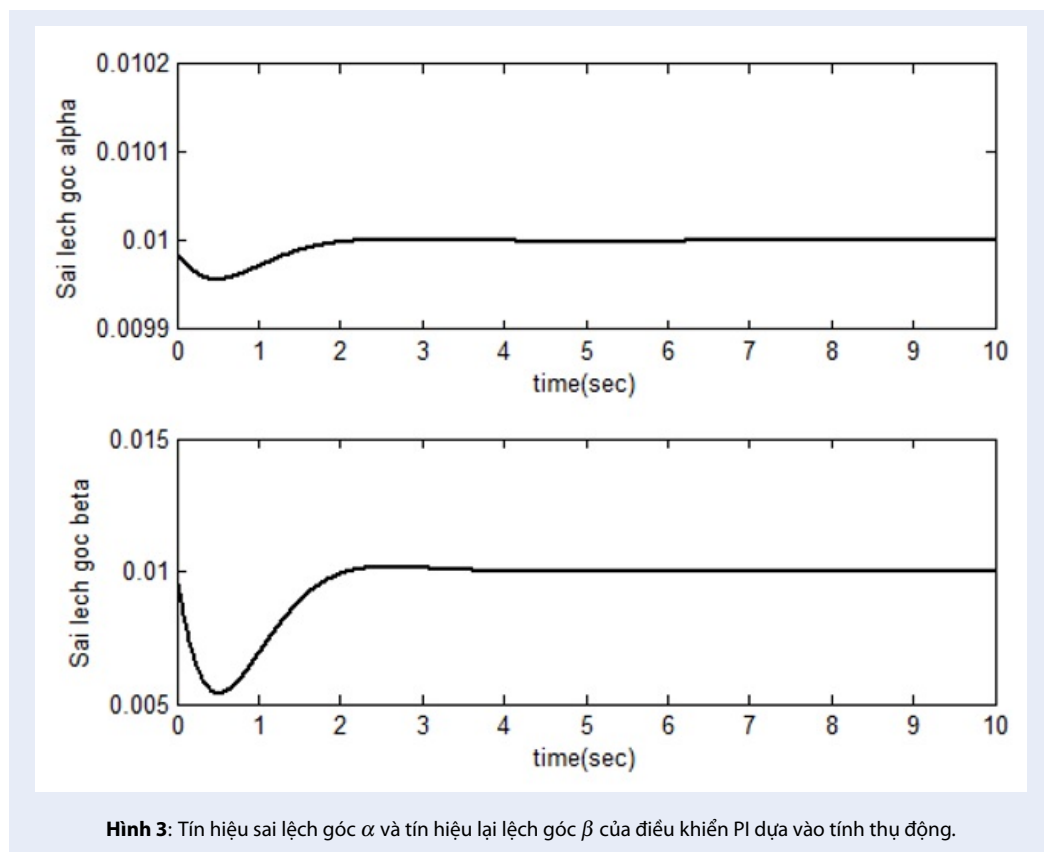
1. Tanaka Y, Murakami T. Self sustaining bicycle robot with steering controller. The 8th IEEE International workshop on Advanced motion control. Kawasaki, Japan, 2004: 193-197.
2. Astrom KJ. Bicycle dynamics and control. LTH, Lund University, Sweden, 2005. 66 p.
3. Guo L, Liao Q, Wei S, Huang Y. A kind of bicycle robot dynamic modeling and nonlinear control. The 2010 IEEE International Conference on Information and Automation. Harbin, China, 2010 June: 1613-1617; Available from: <https://doi.org/10.1109/ICINFA.2010.5512251>.
4. Nghĩa DH. Điều khiển hệ thống đa biến. TP. HCM: NXB ĐHQG, 2013. 199 trang.
5. Khalil HK. Nonlinear systems. New Jersey: Prentice-Hall 3rd edition, 2002. 768 p.
6. Rogelio, Fantoni I. Passivity based control of the inverted pendulum. IFAC Nonlinear control systems design. The Netherlands, 1998: 143-148; Available from: [https://doi.org/10.1016/S1474-6670\(17\)40325-9](https://doi.org/10.1016/S1474-6670(17)40325-9).
7. Nghĩa DH, Ngọc HM. Điều khiển tuyến tính hóa vào-ra robot xe đạp. Tạp chí khoa học giáo dục kỹ thuật 2020; 61: 33-39.
8. Zare Sh, Tavakolpour-Saleh AR, Binazadeh T. Passivity-based control technique incorporating genetic algorithm for design of a free piston Stirling engine. Renewable Energy Focus 2019; 28(00): 66; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.ref.2018.11.003>.
9. Hayakawa T, Haddad WM, Bailey JM, Hovakimyan N. Passivity-based neural network adaptive output feedback control for nonlinear nonnegative dynamical systems. The 42nd IEEE International Conference on Decision and control. Maui, HI, USA, 2003 December 9; Available from: <https://doi.org/10.1109/CDC.2003.1271912>.
10. Li M, Chesli G, Hong Y. Input-Feedforward-passivity-based distributed optimization over jointly connected balanced digraphs. IEEE Transaction on Automatic control 2021 September; 66(9): 4117-4131; Available from: <https://doi.org/10.1109/TAC.2020.3028838>.
11. Gokdere LU, Simaan MA. A passivity-based method for induction motor. IEEE Transactions on Industrial electronics 1997 October; 44(5): 688-695; Available from: <https://doi.org/10.1109/41.633472>.



Hình 2: Tín hiệu đầu ra gồm có y_1 và y_2 và tín hiệu điều khiển gồm có u_1 và u_2 và góc α , β của điều khiển PI dựa vào tính thụ động.

Bảng 2: Điều khiển PI-PBC

Độ vọt lố cực đại POT	Thời gian quá độ t_M
y_1 có vọt lố là 0.0001	y_1 có $t_M = 0.5s$
y_2 có vọt lố là 0.004 nhưng y_2 tiến về 0 là tốt.	y_2 có $t_M = 2.4s$



Hình 3: Tín hiệu sai lệch góc α và tín hiệu lại lệch góc β của điều khiển PI dựa vào tính thụ động.

Passivity-based control of bicycle robot

Huynh Minh Ngoc^{1,2}, Duong Hoai Nghia^{3,*}, Nguyen Vinh Hao¹



Use your smartphone to scan this QR code and download this article

ABSTRACT

The paper proposes a control system for bicycle robot based on a passivity-based method. Bicycle robot is a nonlinear, MIMO (multi input - multi output) system. The first input of bicycle robot is the steering torque and the second input has a relation with the kinetic energy. Its two outputs are the velocity of the steering angle $\dot{\alpha}$ and the velocity of the rolling angle $\dot{\beta}$. Bicycle robot is shown to be a passivity system. Consider a control problem which the steering angle α tracks a value of zero and the rolling angle β tracks a value of zero in order that bicycle robot keeps its vertical balance.

We use a new control signal η so that the system is passivity with input η và output $y = [\dot{\alpha}, \dot{\beta}]$,

which are the velocity of the steering angle $\dot{\alpha}$ and the velocity of the rolling angle $\dot{\beta}$. Stabilization of the equilibrium point at origin uses a PI (proportional integral) passivity-based control. Simulation results are done with Simulink in MATLAB and have good results such as short settling time and small percentage of overshoot. The error of the steering angle comes to 0.01 after two seconds and the error of the rolling angle comes to 0.01 after two seconds. Stability analyses using the passivity theory show that the equilibrium point at origin is asymptotically stable in the case of PI passivity-based control because the system has a positive definite storage function V_b and the derivative of V_b is semi-negative definite and the system is zero-state observable.

Key words: Bicycle robot, passivity-based control, PI control

¹Ho Chi Minh City University of Technology – VNU-HCM

²Industrial University of Ho Chi Minh City

³Eastern International University

Correspondence

Duong Hoai Nghia, Eastern International University

Email: nghia.duong@eiu.edu.vn

History

- Received: 06-01-2022
- Accepted: 11-7-2022
- Published: 20-8-2022

DOI : 10.32508/stdjet.v5i2.954



Copyright

© VNUHCM Press. This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



Cite this article : Ngoc H M, Nghia D H, Hao N V. **Passivity-based control of bicycle robot.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology*; 2022, 5(2):1520-1527.