

See discussions, stats, and author profiles for this publication at: <https://www.researchgate.net/publication/361731132>

Điều khiển bám quỹ đạo cho rôbot tự hành AGV bằng bộ điều khiển PID với tham số điều khiển biến đổi theo thời gian

Conference Paper · July 2022

CITATIONS

0

READS

3,057

14 authors, including:



Thai Nguyen Hong

43 PUBLICATIONS 133 CITATIONS

SEE PROFILE



Huong Trinh Thi Thu

Foreign Trade University

30 PUBLICATIONS 37 CITATIONS

SEE PROFILE



Khanh Ly

Ho Chi Minh City University of Technology and Education (HCMUT)

7 PUBLICATIONS 23 CITATIONS

SEE PROFILE



Thien Hoang

Hanoi University of Science and Technology

12 PUBLICATIONS 44 CITATIONS

SEE PROFILE

Điều khiển bám quỹ đạo cho rôbot tự hành AGV bằng bộ điều khiển PID với tham số điều khiển biến đổi theo thời gian

Nguyễn Hồng Thái^{1,*}, Trịnh Thị Khánh Ly², Hoàng Thiên¹, Đàm Khắc Nhân², Phùng Văn Thom¹

¹Trường Cơ khí, Đại học Bách khoa Hà Nội

²Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện Lực

E-mail: thai.nguyenhong@hust.edu.vn

Tóm tắt

Trong bài báo này, tác giả trình bày phương pháp thiết kế bộ điều khiển PID có tham số biến đổi theo thời gian để điều khiển rôbot tự hành AGV có cấu trúc kiểu ô tô cầu sau chuyển động bám theo quỹ đạo dẫn đường. Đầu tiên, mô hình sai số động học phi tuyến của rôbot được thiết lập, trên cơ sở đó sử dụng phép biến đổi Taylor bậc nhất để tuyến tính hóa xung quanh điểm cân bằng. Sau đó, các thông số biến đổi theo thời gian của bộ điều khiển PID được lựa chọn thông qua sai số trung bình nhỏ nhất để rôbot tự hành AGV bám theo quỹ đạo mong muốn với sai số nhỏ. Kết quả mô phỏng cho thấy tính hiệu quả của bộ điều khiển được thiết kế có cấu trúc đơn giản mà vẫn đáp ứng được sai số nhỏ khi rôbot di chuyển. Vì vậy, có thể ứng dụng để điều khiển động học các rôbot tự hành AGV có kết cấu kiểu ô tô cầu sau trong dịch vụ hậu cần của sản xuất công nghiệp.

Từ khóa: Bộ điều khiển PID, Rôbot tự hành AGV, Mô hình sai số động học, bám quỹ đạo.

1. Đặt vấn đề

Rôbot tự hành là một trong số các phần tử cốt lõi của hệ thống sản xuất công nghiệp 4.0 [1, 2]. Điều khiển rôbot là một trong những bài toán quan trọng quyết định độ chính xác và ổn định về vị trí và tư thế của rôbot trong quá trình chuyển động theo quỹ đạo mong muốn. Do đó, chủ đề này vẫn luôn là một chủ đề thu hút được sự quan tâm của các nhà nghiên cứu. Trong đó có thể kể đến Jin Shang và đồng nghiệp [3] đã thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái tham số biến đổi theo thời gian để rôbot AGV bám quỹ đạo mong muốn. Wang và đồng nghiệp [4] đã phát triển bộ điều khiển dự báo cho rôbot tự hành bánh xe đa hướng bám quỹ đạo. Trong khi đó Ahmadi và đồng nghiệp [5] đã cải tiến bộ điều khiển lan truyền ngược để điều khiển rôbot tự hành bám quỹ đạo cho trước. Thái và đồng nghiệp [6] đã thiết kế bộ điều khiển phản hồi trạng thái tuyến tính bám quỹ đạo đường cong NURBS cho rôbot tự hành vi sai. Mặc dù có nhiều bộ điều khiển tiên tiến đã được nghiên cứu và phát triển, nhưng bộ điều khiển PID truyền thống vẫn được lựa chọn sử dụng trong bài toán điều khiển rôbot tự hành bám quỹ đạo, bởi tính hiệu quả của bộ điều khiển này như đảm bảo tính ổn định và bám quỹ đạo. Tuy nhiên, độ chính xác đạt được không

cao [7]. Một vấn đề khác ảnh hưởng tới độ chính xác điều khiển bám quỹ đạo cho rôbot tự hành đó là tại các khúc cua đổi hướng cần có một đường cong phù hợp để tránh sai số ảnh hưởng bởi quán tính cũng như sự tăng tốc/giảm tốc đột ngột khi di chuyển. Một vài nghiên cứu trong lĩnh vực này như: Dubins [8] sử dụng cung tròn để uốn các đoạn rẽ gấp; Sử dụng đường B-spline để làm mượt quỹ đạo chuyển động [9]; Sử dụng các đường cong đa thức bậc cao [10]; Sử dụng đường cong NURBS thiết kế quỹ đạo cho rôbot tự hành AGV trong xưởng sản xuất [11 - 13]. Từ các lý do trên, bài báo đề xuất bộ điều khiển PID có các tham số biến đổi theo thời gian để điều khiển rôbot bám quỹ đạo với sai số nhỏ.

Đầu tiên, một mô hình sai số động học phi tuyến của rôbot được thiết lập và được tuyến tính hóa xung quanh các điểm làm việc trên quỹ đạo di chuyển mong muốn và vận tốc mong muốn, từ đó đưa ra mô hình sai số động học tuyến tính. Sau đó, bộ điều khiển PID với các thông số biến đổi theo thời gian phụ thuộc vào sai số dịch chuyển được thiết kế để điều khiển rôbot bám quỹ đạo và vận tốc biến đổi không vượt quá tốc độ giới hạn. Để làm mượt quỹ đạo chuyển động phép nội suy NURBS được sử dụng để thiết kế quỹ đạo chuyển động. Kết quả mô phỏng cho thấy tính hiệu quả của phương pháp thiết kế được đề xuất. Cuối cùng là tóm tắt những đóng góp của bài báo và bàn luận về khả năng ứng dụng trong thực tiễn.

2. Mô hình sai số động học của xe tự hành AGV

2.1. Mô hình động học

Xét một rôbot tự hành AGV di chuyển theo quỹ đạo ζ bất kỳ với giả thiết bánh xe lăn không trượt và không có trượt ngang. Trong mặt phẳng của môi trường chuyển động gắn hệ quy chiếu cố định $\mathcal{O}_{\{XY/Z\}}$ như mô tả trên Hình 1.

Trong đó hai bánh sau được điều khiển dẫn động với cùng tốc độ và được gắn cứng trên trục sau, còn trục càng xe bánh trước được điều khiển để đánh lái cho xe tự hành. Trong trường hợp này các bánh xe hàng trước là các bánh xe tự lực không có điều khiển.

hiển cho AGV:

$$\begin{cases} e_v = K_{px} e_{xr} + K_{ix} \int e_{xr} dt + K_{dx} \frac{de_{xr}}{dt} \\ e_\Omega = K_{py} e_{yr} + K_{iy} \int e_{yr} dt + K_{dy} \frac{de_{yr}}{dt} + B \end{cases} \quad (13)$$

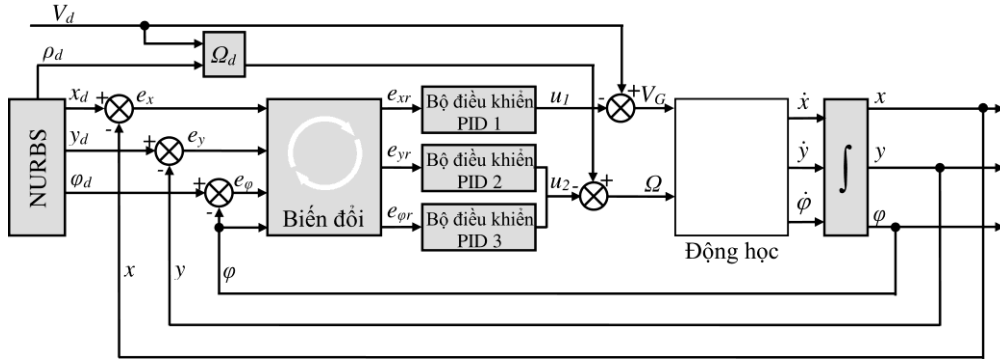
ở đây $B = K_{p\phi} e_{\phi r} + K_{i\phi} \int e_{\phi r} dt + K_{d\phi} \frac{de_{\phi r}}{dt}$.

Trong đó các tham số của bộ điều khiển PID sẽ được chọn biến thiên theo thời gian, phụ thuộc vào quỹ đạo chuyển động mong muốn ξ_d và sai số e_s thông qua hệ thức sau [14, 15]:

$$\begin{cases} K_P = a_1 + a_2 e_s \\ K_I = b_1 - b_2 e_s \\ K_D = c_1 + c_2 e_s \end{cases} \quad (14)$$

Với $e_s = \sqrt{e_x^2 + e_y^2}$ là sai số chuyển động của AGV khi bám theo ξ_d . Còn a_i, b_i và c_i ($i = 1, 2$) là các hằng số thực dương phụ thuộc vào e_s .

Với mô hình sai số và luật điều khiển đã được lựa chọn như trên, ta có Hình 2 dưới đây sơ đồ khối của hệ thống điều khiển AGV bám quỹ đạo được thiết kế.



H. 2 Sơ đồ khối bộ điều khiển PID để AGV bám quỹ đạo mong muốn

Trong sơ đồ khối ở Hình 2, khối biến đổi được định nghĩa bởi phương trình (9), bộ điều khiển PID tham số biến thiên có các luật điều khiển cho bởi phương trình (13) và khối động học xác định bởi phương trình (7).

3. Thiết lập các thông số cho bài toán mô phỏng

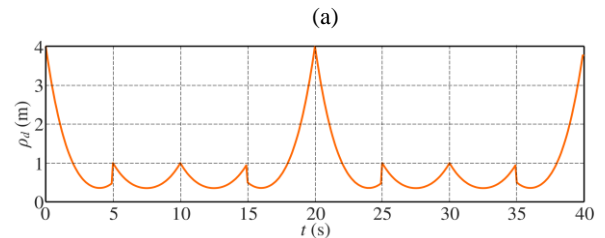
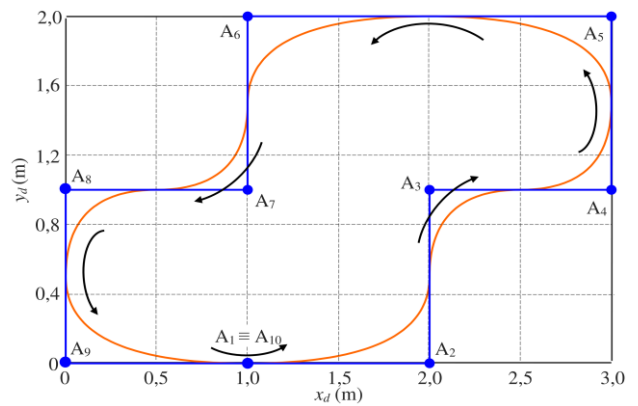
3.1. Thiết kế quỹ đạo chuyển động mong muốn

Trong thực tế có nhiều giải pháp khác nhau để thiết kế quỹ đạo chuyển động của AGV như đã được trình bày ở mục 1. Trong nội dung này để tổng quát hóa và với mục đích làm trơn quỹ đạo chuyển động để tránh cho AGV phải thay đổi vận tốc đột ngột, chúng tôi lựa chọn phép nội suy hữu tỷ NURBS để thiết kế quỹ đạo chuyển động mong muốn của AGV [6, 11, 12]. Bảng 1 dưới đây dữ liệu nút lưới nội suy, còn Hình 3 là quỹ đạo di chuyển mong muốn của AGV sau khi thực hiện nội suy trên Matlab.

Bảng. 1. Dữ liệu nút lưới nội suy NURBS để thiết kế ξ_d mong muốn của AGV

A_1	A_2	A_3	A_4	A_5
$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 2 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 3 \\ 2 \end{bmatrix}$
A_6	A_7	A_8	A_9	A_{10}

$\begin{bmatrix} 1 \\ 2 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 1 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 0 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 1 \\ 0 \end{bmatrix}$
--	--	--	--	--



H. 3 Quỹ đạo chuyển động mong muốn của AGV với (a) Đường cong trơn NURBS và (b) Bán kính cong của quỹ đạo chuyển động

3.2. Cài đặt các thông số chuyển động

Từ quỹ đạo chuyển động mong muốn ξ NURBS đã được xác định ở trên vận tốc $V_d(t)$ biến đổi theo thời gian được xác định:

$$V_d(t) = \frac{\Delta S}{\Delta t} = \frac{\sqrt{(x_i - x_{i-1})^2 + (y_i - y_{i-1})^2}}{t_i - t_{i-1}} \quad (15)$$

trong đó $V_d(t)$ được giới hạn lớn nhất là $V_{d\max} = 0,4$ m/s. Còn vận tốc góc mong muốn Ω_d của AGV khi quay quanh tâm vận tốc tức thời P được xác định bởi:

$$\Omega_d(t) = \frac{V_d(t)}{\rho(t)} \quad (16)$$

trong đó $\rho_i(t) \in [\rho_{\min}, \rho_{\max}]$ là bán kính cong của quỹ đạo ξ_d di chuyển với $i = 1, 2 \dots n$ và được định nghĩa:

$$\rho_i = \frac{(\dot{x}_i^2 + \dot{y}_i^2)^{3/2}}{|\dot{x}_i \ddot{y}_i - \dot{y}_i \ddot{x}_i|} \quad (17)$$

ở đây:

$$\begin{cases} \dot{x}_i = \frac{\Delta x}{\Delta t} = \frac{x_i - x_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \\ \dot{y}_i = \frac{\Delta y}{\Delta t} = \frac{y_i - y_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \end{cases} \quad \begin{cases} \ddot{x}_i = \frac{\Delta \dot{x}}{\Delta t} = \frac{\dot{x}_i - \dot{x}_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \\ \ddot{y}_i = \frac{\Delta \dot{y}}{\Delta t} = \frac{\dot{y}_i - \dot{y}_{i-1}}{t_i - t_{i-1}} \end{cases}$$

Và đặt $\Delta t = 1$ (s).

3.3. Xác định các hệ số của tham số điều khiển

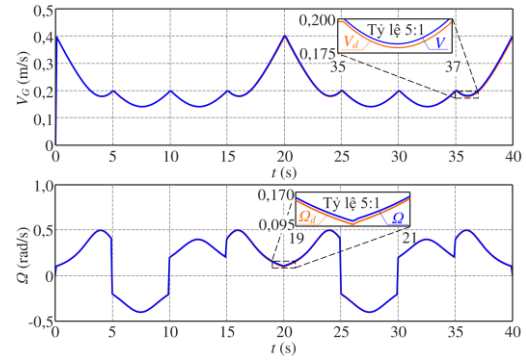
Với các thông số kích thước của rôbốt: (i) Khoảng cách giữa 2 bánh xe $L = 400$ mm; (ii) Khoảng cách giữa 2 hàng bánh xe $d = 600$ mm và (iii) Bán kính bánh xe $r = 50$ mm thì các hằng số a_i , b_i và c_i của các tham số điều khiển trong hệ phương trình (14) được xác định bằng cách khảo sát các tham số điều khiển PID K_P , K_I và K_D sao cho sai số trung bình e_s là nhỏ nhất khi AGV chuyển động theo quỹ đạo mong muốn ξ_d . Bảng 2 dưới đây là kết quả lựa chọn các hệ số a_i , b_i , c_i của các tham số điều khiển K_P , K_I , K_D cho bởi phương trình (14) để bộ điều khiển PID có sai số trung bình e_s nhỏ nhất.

Bảng 2. Các hệ số trong các tham số điều khiển

a_1	a_2	b_1	b_2	c_1	c_2
0,001	0,001	0,001	0,310	0,001	0,001

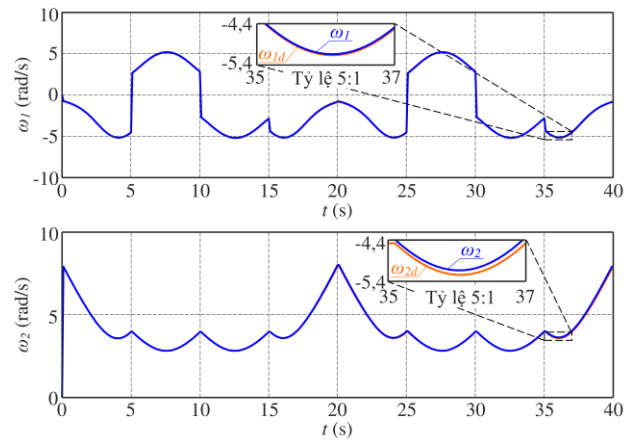
4. Kết quả mô phỏng và thảo luận

Với các dữ liệu đã được thiết lập ở mục 3 và bộ điều khiển PID đã được thiết kế trong mục 2, dưới đây là các kết quả mô phỏng trên Matlab đã được thực hiện bởi nghiên cứu này. Hình 4 là vận tốc và vận tốc góc của AGV khi di chuyển theo quỹ đạo chuyển động trong đó đường màu cam là vận tốc và vận tốc góc mong muốn còn đường màu xanh là giá trị được điều khiển.

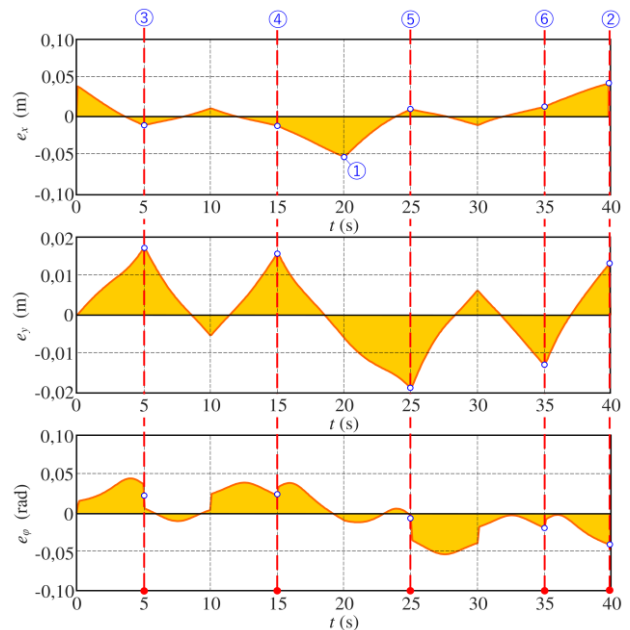


H. 4 Vận tốc V_G và vận tốc góc Ω của AGV

Hình 5 dưới đây là vận tốc góc của bánh xe dẫn động phía sau và vận tốc góc đánh lái trực bánh xe chủ động phía trước, còn Hình 6 là sai số giữa giá trị được điều khiển và giá trị mong muốn của vị trí điểm G và góc tư thế của AGV.



H. 5 Vận tốc góc đánh lái bánh trước $\omega_1 = \dot{\alpha}$ và vận tốc góc dẫn động bánh sau $\omega_2 = \dot{\varphi}_2$



H. 6 Sai số vị trí và tư thế của AGV khi di chuyển theo quỹ đạo ξ

Bảng 3 dưới đây là giá trị sai số tương ứng với các điểm được đánh số trên Hình 6 tại những điểm đặc biệt (những điểm rôbốt đổi hướng để bám quỹ đạo tại những điểm uốn). Từ đó, sai số vị trí lớn nhất $\cong 5,2$ cm tại vị trí bắt đầu khởi động để bám theo quỹ đạo, trong khi sai số tư thế lớn nhất $\cong 2^\circ$ tại vị trí điểm uốn của nửa chu kỳ.

Bảng 3. Sai số vị trí và tư thế của rôbốt tại các điểm đặc biệt

Điểm	1	2	3
e_x (mm)	-50,883	43,679	-10,401
e_y (mm)	-5,578	13,459	17,211
e_φ ($^\circ$)	-0,541	-2,964	0,333
e_s (mm)	51,187	45,705	20,110
Điểm	4	5	6
e_x (mm)	-11,478	9,696	12,937
e_y (mm)	15,703	-18,569	-12,624
e_φ ($^\circ$)	1,898	-0,208	-1,099
e_s (mm)	19,45	20,948	18,076
Ghi chú: $e_s = (e_x^2 + e_y^2)^{0.5}$			

5. Kết luận

Từ những kết quả mô phỏng và thảo luận trên đây bài báo này đạt được một số kết quả đối với AGV có cấu trúc kiểu ô tô cầu sau:

- Thiết kế được bộ điều khiển PID có tham số biến đổi để điều khiển AGV bám quỹ đạo chuyển động với sai số tương đối nhỏ.
- Đề xuất phương pháp xác định các hằng số của các tham số điều khiển biến thiên theo thời gian đối với bộ điều khiển PID sao cho sai số dịch chuyển trung bình là nhỏ nhất. Phương pháp này có thể thực hiện với các quỹ đạo chuyển động khác nhau tương tự với quỹ đạo NURBS đã được trình bày trong nghiên cứu này.

Các kết quả nghiên cứu này có ý nghĩa trong việc thiết kế bộ điều khiển cài đặt lên phần cứng của các rôbốt tự hành AGV kiểu ô tô cầu sau phục vụ trong hậu cần vận chuyển trong các nhà máy thông minh.

Ngoài ra, các vấn đề về động lực học, điều khiển động lực học tương tác cơ điện với môi trường chuyển động như ma sát cu-lông, tải trọng làm việc, tránh vật cản tĩnh và động v.v... đối với cấu trúc AGV kiểu ô tô cầu sau sẽ là những vấn đề nghiên cứu trong tương lai của chúng tôi.

Lời cảm ơn

Nghiên cứu được tài trợ bởi Bộ Công Thương, trong đề tài nghiên cứu Khoa học và Công nghệ cấp Bộ, thực hiện từ năm 2020 với Mã số: ĐTKHCN.076 / 20.

Tài liệu tham khảo

- [1] Mahmood Reza Azizi, Alireza Rastegarpanah, Rustam Stolkin (2021). Motion Planning and Control of an Omnidirectional Mobile Robot in Dynamic Environments. Robotics, 10(1), 48.
- [2] Nguyen Hong Thai, Trinh Thi Khanh Ly, Le Quoc Dung (2021). Roadmap, routing and obstacle avoidance of AGV robot in the static environment of the flexible manufacturing system with matrix devices layout. Science and Technology Development Journal. 24(3), 2091-2099.
- [3] Jin Shang, Jian Zhang, Chengchun Li (2021). Trajectory tracking control of AGV based on time-varying state feedback. EURASIP Journal on Wireless Communications and Networking, 162, 1-12.
- [4] Dongliang Wang, Wu Wei, Yao Yeboah, Yanjie Li, Yong Gao (2020). A robust model predictive control strategy for trajectory tracking of omni-directional mobile robots. Journal of Intelligent & Robotic Systems, 98, 439-453.
- [5] Seyed Mohammad Ahmadi, Mojtaba Behnam Taghadosi, AmirReza Haqshenas M. (2021). A state augmented adaptive backstepping control of wheeled mobile robots. Transactions of the Institute of Measurement and Control, 43(2), 434-450.
- [6] Nguyen Hong Thai, Trinh Thi Khanh Ly (2022). NURBS curve trajectory tracking control for Differential-Drive Mobile Robot by a linear state feedback controller. Advances in Engineering Research and Application. ICERA 2021. Lecture Notes in Networks and Systems, Vol 366, 685-696.
- [7] D.K Tiep, K. Lee, D-Y Im, B. Kwak, Y- J Ryoo (2018). Design of Fuzzy-PID Controller for Path Tracking of Mobile Robot with Differential Drive. International Journal of Fuzzy Logic and Intelligent Systems, 18(3), 220-228.
- [8] Gerald Cook (2011). Mobile Robots Navigation Control and Remote Sensing. Wiley, Hoboken.
- [9] Sun, Y., Zhang, C., Liu, C., (2021). Collision-free and dynamically feasible trajectory planning for omnidirectional mobile robots using a novel B-spline based rapidly exploring random tree. Int. J. Adv. Robot. Syst, 18(3), 1-16.
- [10] Rahee Walambe, Nipun Agarwal, Swagatu Kale, Vrunda Joshi (2016). Optimal trajectory generation for car-type mobile robot using spline interpolation. IFAC-PapersOnLine, 49(1), 601-606.
- [11] Trinh Thi Khanh Ly, Nguyen Hong Thai, Le Quoc Dung, Nguyen Thi Thanh (2020). Determination of Kinematic Control Parameters of Omnidirectional AGV Robot with Mecanum Wheels Track the Reference Trajectory and Velocity, Advances in Engineering Research and Application. 319-328.
- [12] Nguyen Hong Thai, Trinh Thi Khanh Ly, Nguyen Thanh Long, Le Quoc Dung (2022). Trajectory tracking using linear state feedback controller for a mecanum wheel omnidirectional. Advances in Asian Mechanism and Machine Science. ASIAN MMS 2021. Mechanisms and Machine Science, vol 113, 411-421.

- [13] Nguyen Hong Thai, Hoang Thien, Trinh Thi Khanh Ly (2022). NURBS Curve Trajectory Tracking control for Differential-Drive Mobile Robot by a Linear State Feedback Dynamic controller. The AUN/SEED-Net Joint Regional Conference in Transportation, Energy, and Mechanical Manufacturing Engineering. RCTEMME 2021. Lecture Notes in Mechanical Engineering, 610-623.
- [14] Omer Aydogdu, Mehmet Korkmaz (2011). A simple approach to design of variable parameter nonlinear pid controller. International Conference on Electrical Engineering and Applications.
- [15] Mehmet Korkmaz, Ömer Aydoğdu, Hüseyin Doğan (2012). Design and performance comparison of variable parameter nonlinear PID controller and genetic algorithm based PID controller. International Symposium on Innovations in Intelligent Systems and Applications, 1-5.