

THIẾT KẾ, CHẾ TẠO VÀ PHÁT TRIỂN HỆ ROBOT TỰ HÀNH CÓ GẮN TAY MÁY 6-DOF TRÊN NỀN TẢNG ROS

DESIGN, FABRICATE AND DEVELOP AN AUTONOMOUS ROBOT SYSTEM WITH 6-DOF ROBOT ARM ON THE ROS PLATFORM

Ngô Mạnh Tiến¹, Ngô Anh Vũ²,
Nguyễn Văn Hùng², Vũ Việt Anh^{3,*},
Đỗ Quang Hiệp⁴, Phạm Ngọc Sâm⁴, Bùi Đình Duy⁵

DOI: <http://doi.org/10.57001/huinh5804.2024.305>

TÓM TẮT

Robot tự hành cộng tác (AMMR) là một hệ thống có sự kết hợp về tính tự động của một robot di động và sự linh hoạt của cánh tay robot cộng tác Cobot sáu bậc tự do. Bài báo trình bày thiết kế, chế tạo cơ khí, mô hình hóa động học và xây dựng mô hình mô phỏng cho một robot tự hành AMMR gồm robot di chuyển đa hướng sử dụng bánh xe Mecanum kết hợp với tay máy Cobot 6 bậc tự do, từ đó có thể xây dựng hệ thống SLAM và điều hướng cho robot trên nền tảng ROS.

Từ khóa: Robot tự hành cộng tác - AMMR; robot Mecanum; Cobot 6-DOF; ROS; Gazebo; RVIZ.

ABSTRACT

Autonomous Mobile Manipulator Robot (AMMR or Mobile Cobots) is a system with the dual advantage of autonomous mobility of a mobile robot and the dexterity of a six-degree cobot collaborative robot arm. The paper presents the design, mechanical fabrication, kinematic modeling, dynamics and coordinate axis transformations to standardize the complex robot control problem for an AMMR self-propelled robot on the platform of multi-directional mobile robots using Mecanum wheels combined with 6-degree Cobot machines, building SLAM system and robot navigation on the operating system platform and programming for ROS robot

Từ khóa: Autonomous Mobile Manipulator Robot - AMMR; Mecanum robot; Cobot 6-DOF; ROS; Gazebo; RVIZ.

¹Viện Vật lý, Viện Hàn lâm Khoa học và Công nghệ Việt Nam

²Khoa Cơ khí, Trường Đại học Giao thông Vận tải

³Trường Điện - Điện tử, Đại học Bách khoa Hà Nội

⁴Trường Đại học Kinh tế - Kỹ thuật Công nghiệp

⁵Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: vietanh2982002@gmail.com

Ngày nhận bài: 25/4/2024

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 10/6/2024

Ngày chấp nhận đăng: 27/9/2024

CHỮ VIẾT TẮT

ROS	Robot Operating System
AMMR	Autonomous Mobile Manipulator Robot
AGV	Automated Guided Vehicle
6-DOF	Six degrees of freedom
URDF	Unified Robot Description Format

1. GIỚI THIỆU

Khả năng tự di chuyển linh hoạt và thực hiện các công việc được lập trình sẵn của robot có thể thay thế con người, mang lại lợi ích to lớn cho kinh tế, năng suất lao động và sức khỏe con người. Robot, khi được trang bị trí tuệ nhân tạo, có thể tự phân tích và xử lý các tình huống một cách độc lập. Khi hoạt động theo nhóm, các robot có

thể trao đổi thông tin và phối hợp các thao tác một cách hiệu quả. Đây là bước tiến quan trọng nâng cao khả năng thay thế con người trong những công việc có tính phức tạp, nguy hiểm....

Các hệ thống robot tự hành hoàn thiện được thiết kế dựa trên hệ điều hành lập trình robot Robot Operating System như trong [1-3]. ROS tối ưu cho việc xây dựng các mô hình robot hoàn chỉnh, đặc biệt là việc kết hợp, hiệu chỉnh, và truyền nhận thông tin từ các cảm biến với hệ thống vi xử lý trung tâm. Hệ thống điều khiển robot tự hành thống nhất được trình bày trong [1] sử dụng hoàn toàn nền tảng ROS để thiết kế. Đồng thời, mô hình robot AGV được thiết kế hoạt động trong nhà kho cũng được xây dựng bằng ROS [2]. Hệ thống AGV thực tế với các kết nối phần cứng và phần mềm được xây dựng hoàn chỉnh sử dụng ROS đã được nghiên cứu trong [3].

Với sự phát triển của thời đại 4.0, các công trình nghiên cứu công bố về hướng robot tự hành có gắn tay máy cộng tác thu hút sự quan tâm của nhiều nhà khoa học. Các nghiên cứu [4-8] về việc ứng dụng ROS và các thuật toán thông minh trong hoạt động tự động của hệ robot tự hành cộng tác. Đây là một lĩnh vực phát triển mới, hiện đại và đang được rất nhiều nhà khoa học, công nghệ tập trung.

Các loại Robot tự hành gắn tay máy cộng tác quan trắc môi trường phóng xạ (Autonomous Mobile Manipulator Radiation Mapping Robot) cũng được một số nhóm khoa học tập trung thực hiện. Trong công trình [9] nhóm tác giả đề xuất sử dụng nội suy sử dụng thuật toán hồi quy Gaussian để xây dựng bản đồ mức xạ của môi trường bất định, có năng lượng phóng xạ không biết trước.

Trong [10], nhóm các nhà khoa học, nghiên cứu thuộc Đại học Bristol và Đại học Manchester, Vương quốc Anh đã có các đánh giá và thử nghiệm robot trong môi trường có phóng xạ, nhằm đánh giá sự ảnh hưởng của phóng xạ lên các thiết bị điện, điện tử, hệ thống mạch truyền không dây, các sensor và vật liệu chế tạo robot. Các đánh giá cụ thể là xác định các thành phần dễ bị ảnh hưởng; ảnh hưởng đến độ chính xác và lặp lại của robot; đo độ tỷ lệ năng lượng tương ứng đến các bộ phận bị ảnh hưởng sự phá hủy và quan sát lỗi tổng thể đến hệ thống.

Việc nghiên cứu phát hiện phóng xạ tự động bằng robot hoặc tìm kiếm nguồn phóng xạ đóng một vai trò quan trọng trong việc giám sát và xử lý an toàn hạt nhân và an toàn sinh học. Trong [11], nhóm tác giả đã phát triển chế tạo và để xuất dùng robot cho việc tìm kiếm nguồn phóng xạ, nhóm tác giả sử dụng các công nghệ robot hiện đại như tự động điều hướng thông minh, tự định vị và xây dựng bản đồ khu vực hoạt động cho robot và kết

hợp với thiết bị đo bức xạ và thuật toán sử dụng quy trình quyết định Markov để xác định và định vị vị trí các nguồn phát trong khu vực hoạt động, toàn bộ hệ thống được xây dựng trên nền hệ điều hành ROS.

Công trình [12] do nhóm tác giả của Manchester, Lancastervà Oxford Robotics Institute, University of Oxford sử dụng hệ điều hành ROS mô phỏng việc bản đồ hóa các khu vực có nhiều mức phóng xạ khác nhau. Mô phỏng bức xạ ion hóa cho phép thử nghiệm và phát triển các mô hình robot, một cách an toàn và có thể lặp lại. Công việc này cung cấp các công cụ để phát triển nhanh chóng nhiều loại môi trường và mô hình hóa hành vi thực tế của bức xạ gamma và sự ảnh hưởng của nó với các đối tượng môi trường trong thời gian thực, bên trong Gazebo giả lập vật lý tương thích ROS phổ biến.

Trong [13], nhóm nghiên cứu đã xây dựng một robot tự hành để quan trắc các nguồn phóng xạ ở môi trường chưa biết trước, chẳng hạn như có thể được tìm thấy trong một khu vực xảy ra thảm họa hạt nhân hoặc một cơ sở hạt nhân cũ. Trong quá trình quan trắc môi trường, robot có khả năng tự động tránh các điểm nóng bức xạ để giảm thiểu sự cố. Nhóm đã đưa ra một phương pháp trực tuyến để tạo một bản đồ bức xạ có giá trị thay đổi từ các phép đo bức xạ điểm không đồng nhất và tích hợp bản đồ này vào một ngăn xếp điều hướng dựa trên bản đồ hiện có, bằng cách sử dụng hệ thống dựa trên ROS và điều hướng thông minh cho robot, cũng như kết hợp việc lấy bản đồ 2D, 3D cùng định vị mức phóng xạ. Mức độ tự chủ của robot ngày càng tăng này có khả năng mang lại lợi ích thực sự cho lĩnh vực hạt nhân.

Trong [14] xây dựng một robot quan trắc nguồn phóng xạ tự động, robot được thử nghiệm tại địa điểm hạt nhân Sellafield của Vương quốc Anh. Tự động hóa việc thu thập tỷ lệ liều hoặc phép đo phổ dữ liệu sẽ cho phép nhân viên Vật lý Y tế hoàn thành các nhiệm vụ khác, chẳng hạn như khảo sát phức tạp hơn, giải thích dữ liệu và bảo trì hệ thống. CARMA đã được thiết kế để khảo sát không gian sàn trong môi trường tương đối đơn giản, chẳng hạn như hành lang và không gian mở với sự lộn xộn hạn chế, hay các phòng thí nghiệm. Các thuật toán điều hướng tránh bức xạ được phát triển cho CARMA cho phép robot xác định các khu vực ô nhiễm phóng xạ đồng thời giảm thiểu nguy cơ xâm nhập vào khu vực và khả năng vận chuyển vật liệu phóng xạ đến các vị trí khác trong môi trường.

Qua các phân tích các nghiên cứu trên, có thể thấy, để làm chủ công nghệ từ thiết kế, chế tạo đến điều khiển chính xác các hoạt động của robot tự hành có gắn tay

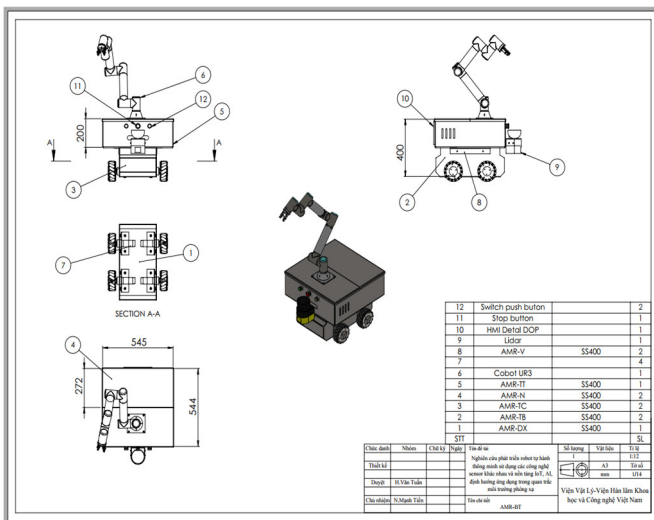
máy 6 trục tự do ngoài về lý thuyết cơ hệ, cơ học và động lực học robot chúng ta cần có các công cụ phần mềm CAD, SlidWork, Matlab và Gazebo của ROS cũng là công cụ mạnh để có thể mô phỏng, mô hình hóa trực quan hệ thống thiết kế.

Để nắm bắt được công nghệ về thiết kế, chế tạo và điều khiển, bước đầu tiên cần thực hiện là việc thiết kế cơ khí cho mô hình AMMR, cùng với việc xây dựng phương trình động học cho cánh tay robot hợp tác 6 bậc tự do và Mecanum Mobile Robot. Tiếp theo, từ mô hình cơ khí và những phương trình đó, ta xây dựng hệ thống, mô phỏng mô hình và chuyển động của AMMR trên phần mềm Gazebo thuộc hệ điều hành robot ROS.

Bài báo có tổ chức như sau: phần đầu trình bày thiết kế cơ khí mô hình AMMR bao gồm 2 phần chính là nền tảng di động 4 bánh Mecanum và cánh tay robot cộng tác 6 bậc tự do, tiếp theo tính toán và giải quyết bài toán động học, sau đó là xây dựng mô hình AMMR trong ROS và Gazebo để mô phỏng và điều khiển robot.

2. THIẾT KẾ, CHẾ TẠO PHẦN CỨNG ROBOT TỰ HÀNH GẮN TAY MÁY CÔNG TÁC

2.1. Thiết kế cơ khí robot tự hành có gắn tay máy công tác



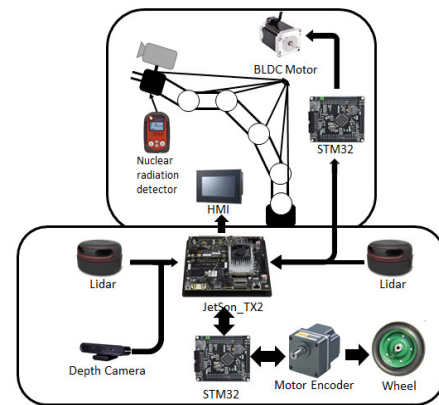
Hình 1. Bản vẽ thiết kế cơ khí tổng thể của robot AMMR

Quá trình thiết kế, chế tạo và xây dựng các mạch điện tử, phần mềm điều khiển robot là chu trình khép kín và là chuỗi các ngành công nghệ khác nhau như cơ khí, điện, điện tử và điều khiển tự động, công nghệ thông tin... đặc biệt nó là chuỗi liên kết và có quan hệ chặt chẽ với nhau. Công việc đầu tiên và quan trọng là thiết kế cơ khí cho robot từ các yêu cầu: tính năng, tải trọng, kiểu chuyển động, chức năng và đặc biệt là các mạch điện tử, công suất, phần cứng điều khiển, các cảm biến sử dụng, nguồn

cấp và màn hình HMI... là những yêu cầu đầu vào quan trọng và là cơ sở cho các thiết kế cơ khí. Thiết kế cơ khí bao gồm: thiết kế hệ truyền động, tính toán tải trọng và công suất, hình dáng và kích thước, các bố trí mạch điện, sensor.

Chúng tôi đã thực hiện việc thiết kế một robot tự hành dạng holonomic, có khả năng di chuyển đa hướng nhờ sử dụng 4 bánh Mecanum và được trang bị tay máy cộng tác 6 bậc tự do. Robot còn được tích hợp thêm các phụ kiện và linh kiện khác như hệ thống điều khiển, cảm biến, màn hình và nút bấm để đảm bảo rằng mỗi thành phần hoạt động một cách hài hòa và hiệu quả trong hệ thống tổng thể của robot. Các chi tiết về thiết kế và thông số của robot được mô tả trong hình 1.

2.2. Thiết kế hệ thống điện tử điều khiển robot tự hành có gắn tay máy công tác



Hình 2. Cấu trúc hệ thống phần cứng của robot

Cấu trúc tổng thể của một robot AMMR được biểu diễn trên hình 2, bao gồm những cụm chức năng chính sau:

1. Hệ thu nhận tín hiệu hình ảnh: bao gồm các camera 2D, Camera 3D nhằm mục đích xử lý Poin Cloud mô hình hóa 3D vật thể (các hệ camera tích hợp này thường được gọi là 3D camera).
2. Hệ IMU/GPS: hỗ trợ xác định vị trí, tư thế robot khi hoạt động trong nhà, và ngoài trời.
3. Lidar, Radar, GPS: Cảm biến LIDAR sử dụng cơ chế quét laser scan, Lidar cung cấp dữ liệu 3D chính xác của môi trường, được tính toán từ mỗi tín hiệu laser nhận được. Ứng dụng chính của LIDAR trong robot là lập bản đồ môi trường từ dữ liệu 3D, tránh chướng ngại vật, phát hiện đối tượng, v.v. GPS hỗ trợ xác định vị trí của robot khi hoạt động ngoài trời
4. Mạch điều khiển: Với ứng dụng robot này chúng tôi sử dụng mạch điều khiển sử dụng lõi ARM phân quyền (nghiên cứu sử dụng dòng STM32).

5. Hệ thống nhúng xử lý trung tâm: ở đây yêu cầu hệ tính toán đủ mạnh, các hệ vi xử lý hiệu năng cao có tích hợp GPU chuyên dụng để xử lý các pre-trained model trong mô hình AI, các thuật toán xử lý, nhận dạng ảnh, âm thanh, cũng như chạy tích hợp hệ thống với hệ điều hành ROS (robot operating system), hệ thống này chạy trên nền Ubuntu, Linux. Chúng tôi sử dụng những bộ xử lý nhúng như Jetson TX2 hoặc ROScube của ADlink.

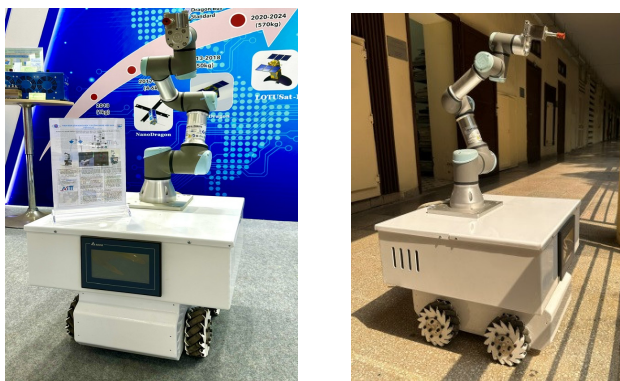
6. Máy tính màn hình TouchScreen: dùng để hiển thị các thông tin cần thiết cho người sử dụng, giao tiếp, cũng như nhận các tín hiệu lệnh của người sử dụng, giao tiếp truyền về bộ xử lý trung tâm.

7. Máy tính điều khiển trung tâm: Giao tiếp với Robot qua Wifi hoặc RF không dây.

8. Hệ sensor hỗ trợ khác: sensor đo liều tia phóng xạ (gamma, X), sensor đo xa laser (YAG-Neodym hoặc laser diode), Gyro sensor, la bàn số, cảm biến từ trường, các sensor sonar hỗ trợ tránh va chạm ...vv.

9. Hệ thống truyền động (các động cơ): các động cơ BLDC, động cơ Servo, động cơ harmonic, động cơ BLDC, động cơ bước cho các khớp tay máy, chuyển động của robot tự hành.

10. Hệ thống cung cấp điện: ổn áp và dòng cung cấp cho toàn bộ hệ thống, sử dụng nguồn sạc AC220V, Pin Lithium hoặc ắc quy.



Hình 3. Ảnh robot AMMR do nhóm chế tạo

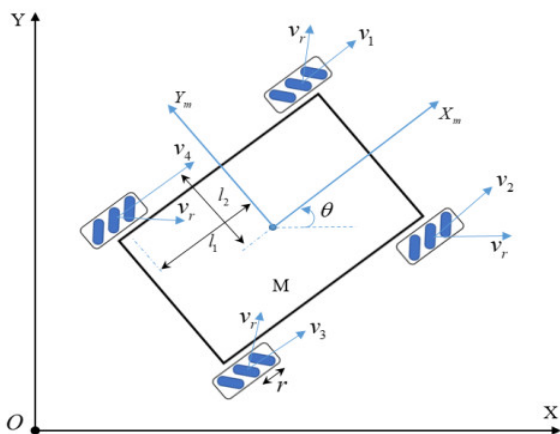
3. MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CỦA HỆ THỐNG ROBOT AMMR

3.1. Mô hình động học của Mecanum Mobile Robot

Nền tảng robot di động sử dụng 4 bánh xe Mecanum [15], mỗi bánh được điều khiển độc lập bởi một động cơ riêng biệt. Vị trí của từng bánh xe được sắp xếp và được đặt trong hệ tham chiếu cố định, có liên quan đến tọa độ chuyển động [16, 17] như hình 4.

3.2. Phương trình động học của Mecanum Robot

Từ mô hình robot trong hình 4 ta có thể xây dựng phương trình động học [18].



Hình 4. Mô hình robot bốn bánh Mecanum

Vận tốc của mỗi bánh xe theo hướng X_m và Y_m trong khung tọa độ robot như sau:

$$\begin{aligned} v_1 &= v_{m1x} - v_{m1y} \\ v_2 &= v_{m2x} + v_{m2y} \\ v_3 &= v_{m3x} - v_{m3y} \\ v_4 &= v_{m4x} + v_{m4y} \end{aligned} \tag{1}$$

Vận tốc của bánh xe biểu diễn thành hai thành phần gồm vận tốc tịnh tiến và vận tốc góc như sau:

$$\begin{aligned} v_{m1x} &= \dot{x}_m - \dot{\theta}_m * l_2 & v_{m1y} &= \dot{y}_m + \dot{\theta}_m * l_1 \\ v_{m2x} &= \dot{x}_m + \dot{\theta}_m * l_2 & v_{m2y} &= \dot{y}_m + \dot{\theta}_m * l_1 \\ v_{m3x} &= \dot{x}_m + \dot{\theta}_m * l_2 & v_{m3y} &= \dot{y}_m - \dot{\theta}_m * l_1 \\ v_{m4x} &= \dot{x}_m - \dot{\theta}_m * l_2 & v_{m4y} &= \dot{y}_m - \dot{\theta}_m * l_1 \end{aligned} \tag{2}$$

Theo [18], ta có được phương trình động học:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\theta}_m \end{bmatrix} = \frac{r}{4} \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 & 1 \\ -1 & 1 & -1 & 1 \\ -1 & 1 & 1 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \omega_1 \\ \omega_2 \\ \omega_3 \\ \omega_4 \end{bmatrix} \tag{3}$$

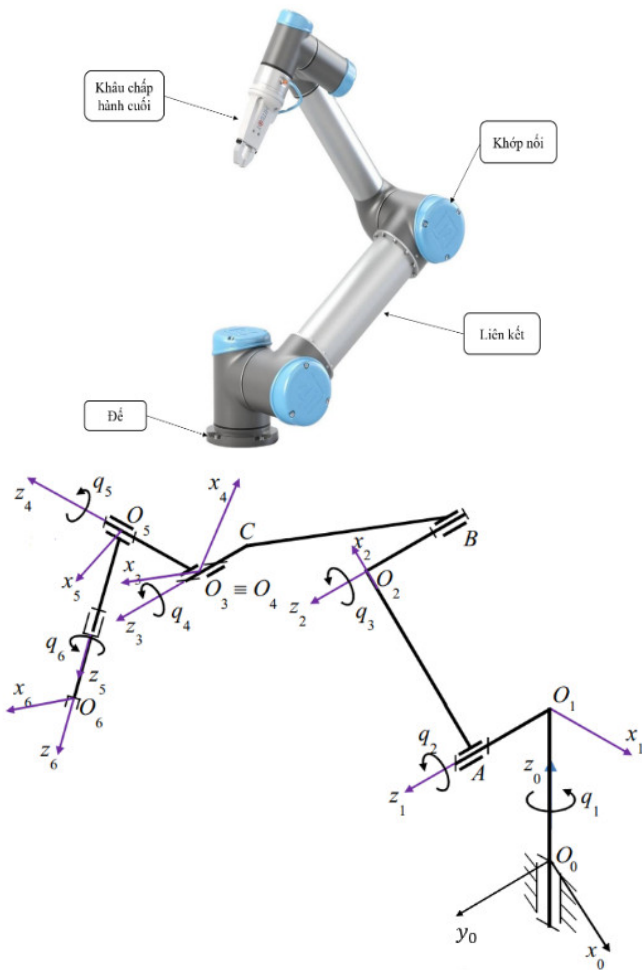
Để thực hiện tính toán động học ngược trong hệ tọa độ toàn cục:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \text{Rot}(z, \theta) \begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\theta}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta & 0 \\ \sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\theta}_m \end{bmatrix} \tag{4}$$

Do đó ta có được:

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_m \\ \dot{y}_m \\ \dot{\theta}_m \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta & \sin\theta & 0 \\ -\sin\theta & \cos\theta & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} \tag{5}$$

3.3. Xây dựng mô hình động học cho cánh tay Cobot UR 6-DOF



Hình 5. Mobile Manipulator Robot

Dựa trên cấu tạo thực tế, chúng ta mô hình hóa cấu trúc chuyển động của cánh tay robot như hình 5, với các kích thước trên hình và các tham số như sau:

$$O_0O_1 = d_1, O_1A = d_2, AO_2 = a_2, O_2B = d_3, BC = a_3, CO_3 = d_4, O_4O_5 = d_5, O_5O_6 = d_6$$

Dựa vào phương pháp ma trận D-H đã đề cập đến trong nhiều công trình nghiên cứu [19], chúng tôi đã đưa ra được các hệ trục tọa độ và các tham số ở bảng 1.

Bảng 1. Bảng tham số D-H của cánh tay robot

Hệ trục	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	q_1	d_1	0	90°
2	q_2	d_2	a_2	0°
3	q_3	$d_4 - d_3$	a_3	0°
4	q_4	0	0	-90°
5	q_5	d_5	0	90°
6	q_6	d_6	0	0°

3.4. Động học của cánh tay robot 6 bậc tự do

Ta cần thiết lập mối quan hệ giữa các hệ tọa độ nối tiếp nhau (n-1) và (n) thông qua các phép quay và tịnh tiến, được gọi là ma trận D-H cục bộ [20] như sau:

$$A_i = Rot(z, \theta) Trans(0, 0, d) Trans(a, 0, 0) Rot(x, \alpha) \quad (6)$$

Trong đó: $Rot(z, \theta)$ và $Rot(x, \alpha)$ là các ma trận đặc trưng cho phép quay quanh trục tọa độ.

$Trans(0, 0, d)$ và $Trans(a, 0, 0)$ là các ma trận đặc trưng cho phép biến đổi tịnh tiến.

$$A_i = \begin{bmatrix} \cos\theta & -\sin\theta\cos\alpha & \sin\theta\cos\alpha & a\cos\theta \\ \sin\theta & \cos\theta\cos\alpha & -\cos\theta\sin\alpha & a\sin\theta \\ 0 & \sin\alpha & \cos\alpha & d \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (7)$$

Từ các tham số ở bảng 1 áp dụng vào công thức (6) để tính được các ma trận D-H cục bộ từ A_1 đến A_6 . Với các ma trận D-H cục bộ, chúng ta xác định được ma trận D-H toàn cục bởi công thức:

$$T_6 = A_1A_2A_3A_4A_5A_6 \quad (8)$$

$$T_6 = \begin{bmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (9)$$

Trong đó:

$$n_x = -c_6(s_1s_5 - c_1c_{234}c_5) - c_1s_{234}s_6;$$

$$n_y = c_6(c_1s_5 + s_1c_{234}c_5) - s_1s_{234}s_6;$$

$$n_z = c_{234}s_6 + s_{234}c_5c_6$$

$$o_x = s_6(s_1s_5 - c_1c_{234}c_5) - c_1s_{234}c_6;$$

$$o_y = -s_6(c_1s_5 + s_1c_{234}c_5) - s_1s_{234}c_6;$$

$$o_z = c_{234}c_6 - s_{234}c_5s_6$$

$$a_x = s_1c_5 + c_1s_5c_{234}; a_y = -c_1c_5 + s_1s_5c_{234}; a_z = s_{234}s_5$$

$$p_x = d_6(c_1c_{234}s_5 + s_1c_5) + (d_2 - d_3 + d_4)s_1 + a_2c_1c_2 - d_5c_1s_{234} + a_3c_1c_{23}$$

$$p_y = d_6(s_1c_{234}s_5 - c_1c_5) - (d_2 - d_3 + d_4)c_1 + a_2s_1c_2 - d_5s_1s_{234} + a_3s_1c_{23}$$

$$p_z = d_1 + a_2s_2 + a_3s_{23} + d_5c_{234} + d_6s_5s_{234}$$

Với các ký hiệu $s_i = \sin\theta_i$, $c_i = \cos\theta_i$, $s_{ij} = \sin(\theta_i + \theta_j)$, $c_{ij} = \cos(\theta_i + \theta_j)$, ...

Để giải quyết bài toán động học nghịch [21], từ hệ phương trình động học với các thành phần về hướng và

vị trí trong ma trận T cùng các kích thước động học của robot, ta cần đi tìm chuyển động của các khớp, tức là tìm vectơ: $[q_1 \ q_2 \ q_3 \ q_4 \ q_5 \ q_6]^T$

Theo [20, 21], giải quyết bài toán động học nghịch, tìm nghiệm bằng phương pháp giải tích ta sẽ tìm được 8 bộ nghiệm đối với các biến khớp $q_1, q_2, q_3, q_4, q_5, q_6$

Bảng 2. Các bộ nghiệm của bài toán động học nghịch

Nghiệm	q_1	q_2	q_3	q_4	q_5	q_6
1	$q_1^{(1)}$	$q_5^{(1)}$	$q_3^{(1)}$	$q_2^{(1)}$	$q_4^{(1)}$	$q_6^{(1)}$
2	$q_1^{(1)}$	$q_5^{(1)}$	$q_3^{(2)}$	$q_2^{(2)}$	$q_4^{(2)}$	$q_6^{(2)}$
3	$q_1^{(1)}$	$q_5^{(2)}$	$q_3^{(3)}$	$q_2^{(3)}$	$q_4^{(3)}$	$q_6^{(3)}$
4	$q_1^{(1)}$	$q_5^{(2)}$	$q_3^{(4)}$	$q_2^{(4)}$	$q_4^{(4)}$	$q_6^{(4)}$
5	$q_1^{(2)}$	$q_5^{(3)}$	$q_3^{(5)}$	$q_2^{(5)}$	$q_4^{(5)}$	$q_6^{(5)}$
6	$q_1^{(2)}$	$q_5^{(3)}$	$q_3^{(6)}$	$q_2^{(6)}$	$q_4^{(6)}$	$q_6^{(6)}$
7	$q_1^{(2)}$	$q_5^{(4)}$	$q_3^{(7)}$	$q_2^{(7)}$	$q_4^{(7)}$	$q_6^{(7)}$
8	$q_1^{(2)}$	$q_5^{(4)}$	$q_3^{(8)}$	$q_2^{(8)}$	$q_4^{(8)}$	$q_6^{(8)}$

Như vậy có 8 bộ nghiệm cho bài toán động học ngược. Để chọn ra bộ nghiệm hợp lý nhất ta cần biết 2 giá trị nghiệm được chọn ở 2 thời điểm liền trước nó. Giả sử nghiệm cần tìm tại thời điểm t là q, nghiệm ở thời điểm (t - Δt) và (t - 2Δt) là q_1 và q_2 .

Ta lập hàm đánh giá:

$$W = k_1(q - q_1)^2 + k_2[q - (q_1 + \Delta t(q_1 - q_2))]^2 \tag{10}$$

Trong đó, k_1 là hệ số trọng lượng sai lệch của nghiệm cần tìm so với nghiệm tại thời điểm liền trước nó, k_2 là hệ số trọng lượng sai lệch của nghiệm cần tìm so với nghiệm ngoại suy từ 2 giá trị nghiệm chọn được liền trước, với:

$$k_1 + k_2 = 1 \tag{11}$$

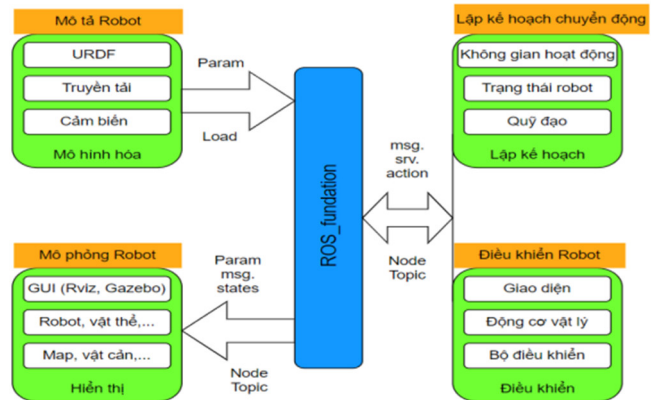
Nghiệm phù hợp nhất là nghiệm làm cho hàm đánh giá (10) có giá trị nhỏ nhất

4. THIẾT KẾ MÔ HÌNH ROBOT AMMR TRONG ROS VÀ GAZEBO

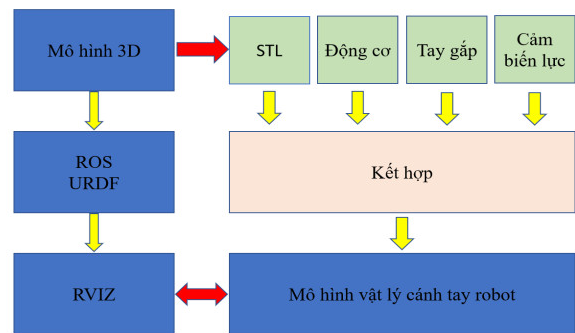
Kiến trúc mô hình mô phỏng robot được phân chia thành 4 khối chức năng chính: khối mô hình hoá, khối mô phỏng cho robot, khối lập kế hoạch chuyển động, và khối điều khiển, hiển thị. Mối quan hệ giữa chúng được minh họa như hình 6.

Trong ROS, mô hình nền tảng di động 4 bánh Mecanum và cánh tay 6 bậc tự do đã được thiết kế bằng SolidWorks. Các tệp đầu ra từ SolidWorks được sử dụng

để chuyển sang ROS để tạo tệp Định dạng Mô tả Robot Hợp nhất (Unified Robot Description Format - URDF) để trực quan hóa.



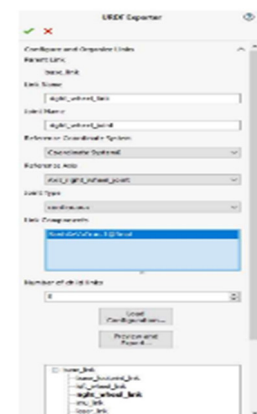
Hình 6. Kiến trúc mô tả robot và mối quan hệ giữa các module

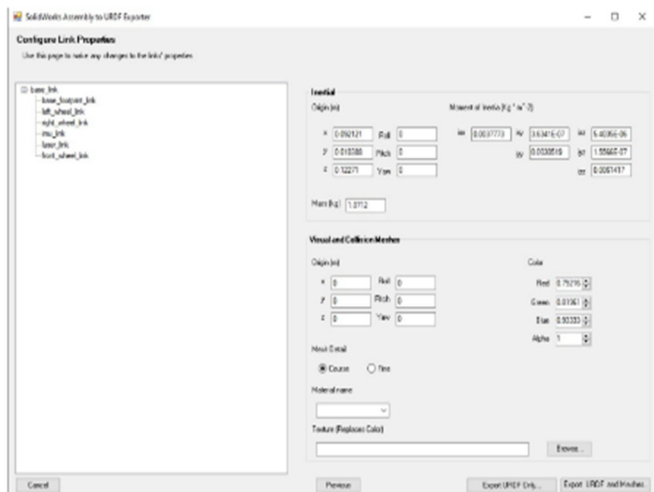


Hình 7. Tổng quan về mối quan hệ giữa các thành phần với ROS

Sự kết hợp giữa nền tảng di động 4 bánh và cánh tay robot của mô hình robot AMMR có thể theo dõi một cách trực quan bằng công cụ hiển thị Rviz trong ROS như ở hình 10.

Sau khi thiết kế hoàn tất mô hình cơ khí của robot trong Solidworks, sẽ sử dụng tiện ích trong Solidworks là Export to URDF có giao diện như hình 8 để chuyển đổi bản thiết kế sang hệ thống tệp URDF, miêu tả hình dáng robot và vị trí các khớp cũng như trục tọa độ trong môi trường ROS và Gazebo.





Hình 8. Giao diện Export to URDF của SolidWorks

Tệp URDF được chuyển đổi từ Solidworks chỉ mang thông tin về mô hình robot 3D. Tệp URDF bao gồm 2 thành phần chính là liên kết (Links) và khớp nối (Joints). Để có thể điều khiển robot trong ROS và Gazebo, dựa trên mô hình động học và động lực học, chúng tôi xây dựng các bộ truyền động và bộ điều khiển kết nối với các khớp để có thể giúp di chuyển robot trong mô phỏng. Bên cạnh đó là cài đặt thêm các cảm biến như camera và lidar tương tự như robot vật lý được chế tạo.

Để điều khiển mô hình 3D của robot và xác định vị trí hiện tại của các liên kết và khớp nối, ROS cung cấp hai gói cơ bản:

- Gói joint state publisher: xuất bản các giá trị chung cho phép điều khiển các khớp nối bất định bằng việc sử dụng thanh trượt GUI như minh họa trong hình 10.
- Gói robot state publisher: đọc trạng thái tổng quát hiện tại của robot và công bố các tư thế 3D của từng liên kết trong mô hình robot. Nhờ đó hướng và vị trí 3D của robot được biểu diễn thông qua mối liên hệ giữa các khung tọa độ của robot, được biểu diễn bởi TF(transform).

5. MÔ PHỎNG VÀ KẾT QUẢ

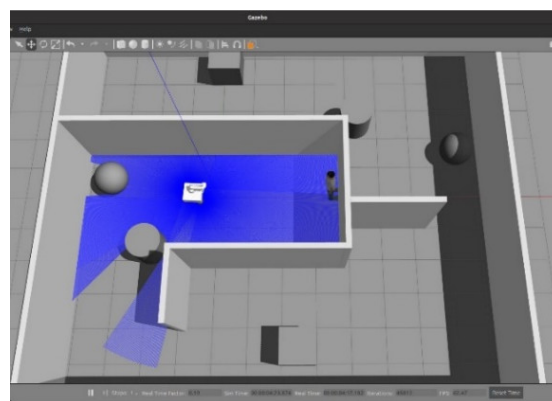
Khi khởi chạy các tệp mô phỏng, kết quả là trình mô phỏng Gazebo khởi động và cửa sổ chứa môi trường đã tạo. Mô hình ảo của robot được mô tả trong tệp URDF trên hình 9a. Khi mô phỏng URDF, còn có thể tùy chỉnh tạo ra môi trường ảo để có thể mô phỏng thử nghiệm các chức năng của robot. Kết quả mô phỏng môi trường ảo được thể hiện như hình 9b. Vùng màu xanh hiển thị phạm vi lidar quét được để thu dữ liệu.

Ngoài Gazebo để mô phỏng, thì môi trường Rviz kết nối với hệ thống vật lý thực của robot để tiến hành các

thử nghiệm. Rviz giúp có thể quan sát đồng thời dữ liệu từ các cảm biến của robot cũng như sự hoạt động của cánh tay robot công tác. Kết quả mô phỏng vị trí của các khớp cánh tay robot mà chúng tôi đạt được mô tả ở hình 10. Trong đó hình 10a ứng với trạng thái là vị trí ban đầu các khớp của cánh tay robot, với giá trị góc ban đầu của các khớp cánh tay là 0 rad, hình 10b cho thấy kết quả của cánh tay khi điều chỉnh giá trị góc của các khớp cánh tay.

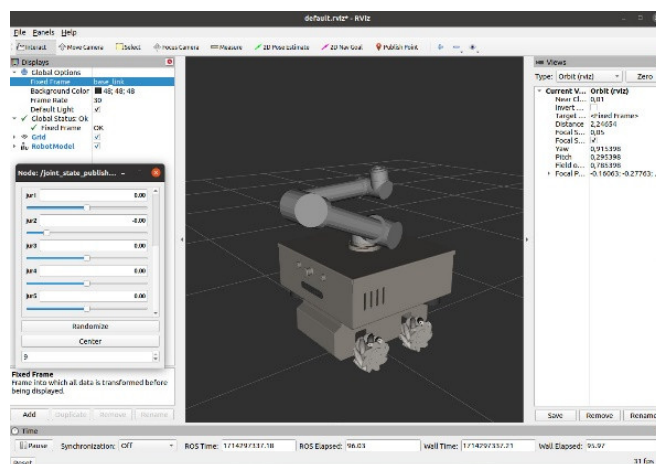


a) Mô hình mô phỏng robot

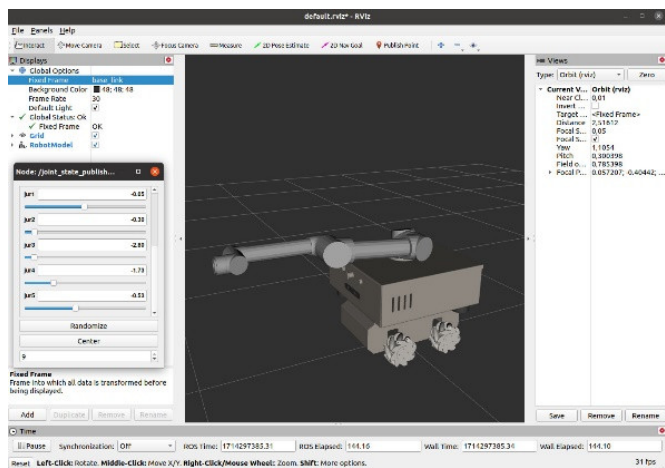


b) Mô phỏng robot trong môi trường ảo

Hình 9. Mô hình mô phỏng 3D robot trong Gazebo

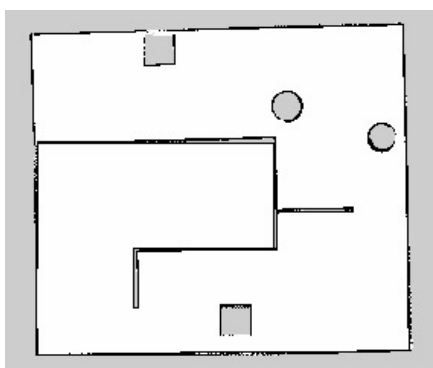


a) Vị trí ban đầu

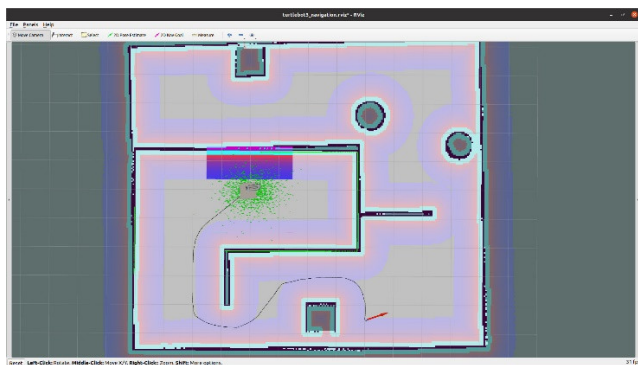


b) Vị trí cánh tay sau điều chỉnh

Hình 10. Mô phỏng điều khiển cánh tay robot trong Rviz



a) Bản đồ được quét bởi SLAM



b) Quỹ đạo đường tạo cho robot

Hình 11. Lập bản đồ và quỹ đạo cho robot

Bản đồ được quét từ SLAM ở hình 11a sẽ là dữ liệu đầu vào để có thể giúp robot điều hướng và lập quỹ đạo. Hình 11b cho thấy quỹ đạo tự tạo của robot để có thể đi tới vị trí đích đồng thời có thể tránh vật cản.

6. KẾT LUẬN

Bài báo đã mô tả quá trình mô hình hóa hệ thống AMMR để phục vụ cho việc điều khiển gồm phương trình động học của cánh tay cộng tác 6 bậc tự do và nền tảng

robot di động mecanum. Đồng thời đã trình bày toàn bộ quá trình từ việc thiết kế, xây dựng mô hình robot trong Solidworks, chế tạo robot, đến việc mô hình hóa robot từ bản vẽ cơ khí sang trình mô phỏng Gazebo và ROS. Cuối cùng, bài báo kết thúc bằng việc thiết lập cảm biến, tích hợp điều khiển để phục vụ cho việc xây dựng hệ thống SLAM và điều hướng thông minh cho robot. Kết quả mô phỏng cho thấy mô hình robot được mô phỏng chính xác trong môi trường Gazebo và ROS. Đây là nền tảng để lập trình mô phỏng và phát triển các thuật toán điều hướng, điều khiển hệ thống robot trên Gazebo, Rviz và ROS trong quá trình xây dựng và phát triển robot thông minh.

LỜI CẢM ƠN

Bài báo được thực hiện dưới sự hỗ trợ nghiên cứu của Đề tài cấp Quốc gia Việt Nam: “Nghiên cứu phát triển robot tự hành thông minh sử dụng các công nghệ sensor khác nhau và nền tảng IoT, AI, định hướng ứng dụng trong quan trắc môi trường phóng xạ”, mã số: DTDLN.19/23 thuộc chương trình phát triển Vật lý CT1187 trong giai đoạn 2021- 2025.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. M. Köseöglu, O. M. Çelik, Ö. Pektaş, “Design of an autonomous mobile robot based on ROS,” *IDAP 2017 - Int. Artif. Intell. Data Process. Symp.*, no. September, 2017.
- [2]. R. Walenta, T. Schellekens, A. Ferrein, S. Schiffer, “A decentralised system approach for controlling AGVs with ROS,” in *2017 IEEE AFRICON Sci. Technol. Innov. Africa*, AFRICON 2017, 1436–1441, 2017.
- [3]. H. Zhang, K. Watanabe, Kazuhiro Motegi, Yoichi Shiraishi “ROS Based Framework for Autonomous Driving of AGVs,” in *Proceedings of International Conference on Mechanical, Electrical and Medical Intelligent System*, 2019.
- [4]. Cong Wang, Qifeng Zhang, Qiyang Tian, Shuo Li, Xiaohui Wang, David Lane, Yvan Petillot, Sen Wang, “Learning Mobile Manipulation through Deep Reinforcement Learning,” *Sensors Journal*, 2020.
- [5]. Tengting Zhang, Hongwei Mo, “Reinforcement learning for robot research: A comprehensive review,” *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 2021.
- [6]. Heiko Engemann, Shengzhi Du, Stephan Kallweit, Patrick Cönen, Harshal Dawar, “OMNIVIL - An Autonomous Mobile Manipulator for Flexible Production,” *Sensors Journal*, 2020.
- [7]. Yamamoto T., Terada K., Ochiai A., Saito F., Asahara Y., Murase K., “Development of the Research Platform of a Domestic Mobile Manipulator Utilized for International Competition and Field Test,” In *Proceedings of the 2018 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS)*, Madrid, Spain, 1-5 October 2018.

- [8]. Minniti M.V., Farshidian F., Grandia R., Hutter M., "Whole-Body MPC for a Dynamically Stable Mobile Manipulator," *IEEE Rob. Autom. Lett.*, 4, 3687-3694, 2019.
- [9]. Andrew West, Ioannis Tsitsimpelis, Mauro Licat, Anžë Jazbec, Luka Snoj, Malcolm J. Joyce, Barry Lennox, "Use of Gaussian process regression for radiation mapping of a nuclear reactor with a mobile robot," *Scientific Reports Journal*, 7-2021.
- [10]. Kaiqiang Zhang, Chris Hutson, James Knighton, Guido Herrmann, Tom Scott, "Radiation Tolerance Testing Methodology of Robotic Manipulator Prior to Nuclear Waste Handling," *Frontiers in Robotics and AI Journal*, 3-2020.
- [11]. Jianwen Huo, Manlu Liu, Konstantin A. Neusypin, Haojie Liu, Mingming Guo, Yufeng Xiao, "Autonomous Search of Radioactive Sources through Mobile Robots," *Sensors Journal*, 6-2020.
- [12]. Thomas Wright, Andrew West, Mauro Licata, Nick Hawes, Barry Lennox, "Simulating Ionising Radiation in Gazebo for Robotic Nuclear Inspection Challenges," *Robotics Journal*, 5-2021.
- [13]. Keir Groves, Emili Hernandez, Andrew West, Thomas Wright, Barry Lennox, "Robotic Exploration of an Unknown Nuclear Environment Using Radiation Informed Autonomous Navigation," *Robotics Journal*, 2021.
- [14]. Benjamin Bird, Arron Griffiths, Horatio Martin, Eduardo Codres, Jennifer Jones, Alexandru Stancu, Barry Lennox, Simon Watson, Xavier Poteau, "Using Autonomous Radiation-Monitoring Assistance to Reduce Risk and Cost," *IEEE Robotics & Automation Magazine*, 3-2019.
- [15]. Hendzel Z., "A Description of the Motion of a Mobile Robot with Mecanum Wheels-Kinematics," in *Proceedings of the Conference on Automation*, Warsaw, Poland, 346-35527, 29 March 2019.
- [16]. Hamid Taheri, Bing Qiao, Nurallah Ghaeminezhad, "Kinematic Model of a Four Mecanum Wheeled Mobile Robot," *International Journal of Computer Applications*, 113, 3, 2015.
- [17]. Li Y., Dai S., Zheng Y., Tian F., Yan X., "Modeling and kinematics simulation of a Mecanum wheel platform in RecurDyn," *Journal of Robotics*, 2018.
- [18]. Z. Hendzel, L. Rykała, "Modelling of dynamics of a wheeled mobile robot with mecanum wheels with the use of lagrange equations of the second kind," *Int. J. of Applied Mechanics and Engineering*, 22, 1, 81-99, 2017.
- [19]. Liu Q., Yang D., Hao W., Wei Y., "Research on Kinematic Modeling and Analysis Methods of UR Robot," in *2018 IEEE 4th Information Technology and Mechatronics Engineering Conference (ITOEC)*, 2018.
- [20]. Liang B., Cheng Y., Zhu X., Liu H., Wang X., "Calibration of UR5 manipulator based on kinematic models," in *2018 Chinese Control And Decision Conference (CCDC)*, 2018.
- [21]. Kebria P. M., Al-wais Saba, Abdi H., Nahavandi S., "Kinematic and dynamic modelling of UR5 manipulator," in *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, 2016.

AUTHORS INFORMATION

Ngo Manh Tien¹, Ngo Anh Vu², Nguyen Van Hung², Vu Viet Anh³, Do Quang Hiep⁴, Pham Ngoc Sam⁴, Bui Dinh Duy⁵

¹Institute of Physics, Vietnam Academy of Science and Technology, Vietnam

²Faculty of Mechanical Engineering, University of Transport and Communications, Vietnam

³School of Electrical and Electronic Engineering, Hanoi University of Science and Technology, Vietnam

⁴University of Economics - Technology for Industries, Vietnam

⁵Hanoi University of Industry, Vietnam