

THIẾT LẬP MÔ HÌNH TOÁN HỌC ĐIỀU KHIỂN CHUYỂN ĐỘNG MÔĐUN QUAY 2 BẬC TỰ DO KẾT NỐI NGOÀI NÂNG CAO KHẢ NĂNG CÔNG NGHỆ CHO RÔBÔT HÀN 6 BẬC TỰ DO

ESTABLISHING THE MATHEMATIC MODEL FOR MOTION CONTROL OF 2-DOF
ROTATIONAL MODULE TO ADVANCE THE ABILITIES OF 6-DOF WELDING ROBOT

Trịnh Thị Khánh Ly, Lê Quốc Dũng

Trường Đại học Điện lực

Ngày nhận bài: 01/01/2019, Ngày chấp nhận đăng: 28/03/2019, Phản biện: TS. Nguyễn Thùy Dương

Tóm tắt:

Với sự phát triển của khoa học và công nghệ, nền công nghiệp thế giới đang bước sang cuộc cách mạng lần thứ 4, khi mà con người được thay thế bằng các rôbôt có kết nối vạn vật (IOT) với thiết bị sản xuất thông qua hệ thống truyền thông không dây để trở thành một nhà máy sản xuất thông minh. Như vậy, để rôbôt kết nối được với các thiết bị khác và tác hợp nhịp nhàng theo một quy trình công nghệ thì cần phải có một mô hình toán học để điều khiển đồng bộ các thông số của rôbôt và thiết bị. Với mục đích như trên, trong bài báo này các tác giả trình bày phương pháp ước lượng các thông số động học trong mô hình toán cho một hệ dư dẫn động 8 bậc tự do, bao gồm một môđun quay 2 bậc tự do kết nối ngoài với một robot hàn 6 bậc tự do, nhằm nâng cao khả năng công nghệ của rôbôt. Trên cơ sở đó nhóm tác giả tiến hành lập trình viết môđun phần mềm mô phỏng để kiểm nghiệm tính đúng đắn của mô hình toán học đã được thiết lập cho hệ tích hợp bằng ngôn ngữ C++ khi hệ thống tích hợp môđun quay - rôbôt thực hiện quá trình hàn theo quỹ đạo đường hàn phức tạp được mô hình hóa bằng đường cong hữu tỷ NURBS.

Từ khóa:

Tay máy rôbôt, môđun quay 2 bậc tự do, đường cong NURBS, quỹ đạo đường hàn.

Abstract:

With the rapid development of the scientific and technology, the world industry is being transformed by a fourth industrial revolution, when human may be replaced by robotics in conjunction with the Internet of Things (IoT) connected to the production equipment via wireless communication systems to become a smart factory. Therefore, in order to robots connect to the other devices and operate smoothly according to the technological process, it is necessary to have a mathematical model to synchronize the parameters of robots and equipment. For the above purpose, we present a method to estimate the kinematic parameters in the mathematical model for an eight degrees of freedom (8 DOF) redundant manipulator including a 2 DOF rotational module connect to a 6 DOF welding robot, in order to enhance the robot's technological capabilities. On that basis, we programmed a simulation software module using C++ language to evaluate the accuracy of the obtained model that was set up for the integrated system while this system performed the welding process according to the complicated trajectory which was modeled by the Non-uniform rational B-spline (NURBS).

Keywords:

Manipulator, 2 DOF rotational module, the Non-uniform rational B-spline, the welding trajectory.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Nghiên cứu và ứng dụng rôbot trong tự động hóa quá trình hàn ngày càng được phát triển, nhất là trong ngành công nghiệp ô tô và đóng tàu. Trong vài thập kỷ qua, đã có rất nhiều nghiên cứu nhằm nỗ lực tự động hóa quá trình hàn. Đặc biệt trong ngành công nghiệp đóng tàu với chiều dài tổng đường hàn có thể lên tới hàng nghìn kilômét cho cả hàn phân đoạn và tổng đoạn khi đóng vỏ của một tàu chở hàng. Trong đó phải kể đến các hướng nghiên cứu: (i) Thiết kế tối ưu kết cấu rôbot phục vụ cho ngành hàn, trong hướng nghiên cứu này có Lee và cộng sự [1-4] đã đưa ra ý tưởng đặt một tay máy rôbot hàn 6 bậc tự do lên một rôbot tự hành để nâng cao khả năng công nghệ của rôbot hàn trong quá trình đóng tàu, chính vì vậy mà các tác giả đã cố gắng tìm cách tối ưu khối lượng rôbot và kết quả là đã đưa ra 1 thiết kế mới giảm 13% khối lượng so với các rôbot thông thường. Du [5] thì tìm cách tổng hợp, thiết kế các tay máy rôbot hàn 5 bậc tự do phục vụ chuyên hàn các ống nối chữ T; (ii) Thiết kế quỹ đạo đường hàn, theo hướng nghiên cứu này có Yan và các đồng nghiệp [6] đã thiết lập quỹ đạo đường hàn khi hàn ống chữ Y giao với hình cầu theo hướng điều khiển vận tốc ổn định dọc theo quỹ đạo đường hàn là giao của các mặt cong hay Chen [7] đã đưa ra giải pháp nội suy B- Spline để nội suy đường hàn cho các kết cấu hàn có

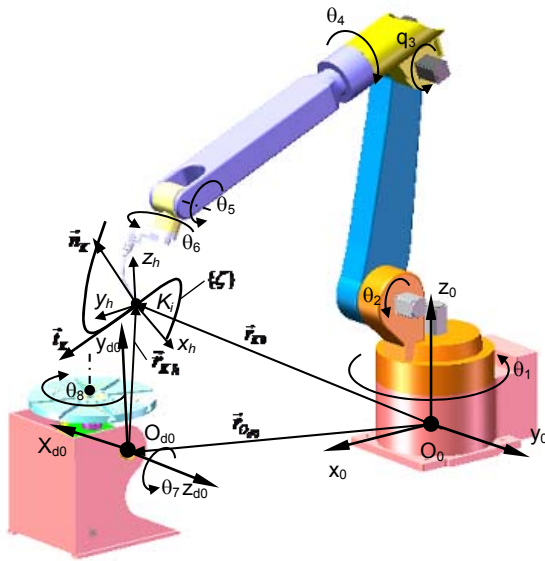
kích thước lớn và biên dạng phức tạp cho một tay máy rôbot hàn chuỗi động học hở hay Zhu [8] đã sử dụng công nghệ xử lý ảnh và thuật toán nội suy để nhận dạng đường hàn nhằm nâng cao khả năng hàn hồ quang chính xác; (iii) Kết nối rôbot hàn với các thiết bị khác nhằm nâng cao khả năng công nghệ của rôbot hàn, theo hướng nghiên cứu này có nhóm nghiên cứu của Song [9] họ đã tìm cách điều khiển thông số công nghệ của 3 rôbot Scara 4 bậc tự do đồng thời để hàn dầm chữ I trên nền tảng bộ điều khiển CNC để nâng cao hiệu suất quá trình hàn, hay Shen [10] đã ứng dụng bộ điều khiển mờ và xử lý ảnh để kết nối một rôbot hàn 6 bậc tự do với môđun bàn quay 2 bậc tự do trong hàn các bể bơi hình cầu cỡ lớn, cũng trong hướng nghiên cứu này nhưng ứng dụng trong ngành sản xuất vật liệu tổng hợp Martineca [11] đã đưa ra thuật toán kết nối một rôbot 6 bậc tự do với môđun quay 1 bậc tự do trong quá trình sản xuất vật liệu tổng hợp có hình dạng phức tạp.

2. THIẾT LẬP PHƯƠNG TRÌNH ĐỘNG HỌC MÔĐUN QUAY 2 BẬC TỰ DO KẾT NỐI NGOÀI VỚI RÔBOT HÀN 6 BẬC TỰ DO

2.1. Mô tả hệ thống tích hợp

Nếu gọi: $\mathcal{O}_0\{x_0, y_0, z_0\}$ là hệ quy chiếu cố định gắn trên tay máy rôbot Almaga AX 6 bậc tự do; $\mathcal{O}_q\{x_q, y_q, z_q\}$ là hệ quy chiếu gắn tại gốc môđun quay 2 bậc tự do; $\{\zeta\}$ là quỹ

đạo đường hàn, thông thường $\{\zeta\}$ được xác định trong hệ quy chiếu \mathcal{G}_q . Như vậy, để phối hợp các chuyển động tương đối của tay máy rôbot và đồ gá để thực hiện hàn tại một điểm $K_i \in \{\zeta\}$. Tại K_i ta có: $\mathbf{r}_K = [x_K \ y_K \ z_K]^T$ vectơ xác định vị trí điểm K và $\mathbf{n}_K = [n_{xK} \ n_{yK} \ z_{zK}]^T$ vectơ xác định hướng hàn.



Hình 1. Tích hợp môđun quay 2 bậc tự do với robot 6 bậc tự do trong hàn quỹ đạo phức tạp

Như vậy, hệ tay máy rôbot-môđun quay có 8 bậc tự do như mô tả trên hình 1. Đây là một hệ dư dẫn động và có vô số nghiệm tương ứng với một điểm hàn xác định. Để thiết lập mô hình toán học điều khiển hệ thống, nếu gọi $\{\mathcal{M}\}$ miền không gian hoạt động của rôbot, $\{\mathcal{A}\}$ là miền không gian hoạt động của môđun quay. Khi đó, miền không gian hoạt động của hệ thống $\{\mathcal{S}\}$ được cho bởi:

$$\{\mathcal{S}\} = \{\mathcal{A}\} \cap \{\mathcal{M}\} \quad (1)$$

Việc xác định $\{\mathcal{S}\}$ thông qua vectơ $\vec{r}_{O_0O_{do}}$.

Như vậy, với giả thiết $\{\zeta\} \in \{\mathcal{S}\}$ và $\mathcal{G}_h\{x_h, y_h, z_h\}$ là hệ quy chiếu động gắn tại các điểm $K_i \in \{\zeta\}$ khi đó ta có $\mathbf{r}_K, \mathbf{n}_K$ trong hệ quy chiếu $\mathcal{G}_0\{x_0, y_0, z_0\}$ và $\mathcal{G}_q\{x_q, y_q, z_q\}$ được cho bởi:

$$\begin{cases} {}^0\mathbf{r}_{Ki} = {}^0\mathbf{r}_{Ki} \\ {}^0\mathbf{n}_{Ki} = {}^0\mathbf{R}_h {}^h\mathbf{n}_{Ki} \\ {}^q\mathbf{r}_{Ki} = {}^0\mathbf{r}_{Ki} - {}^0\mathbf{r}_{Oq} \\ {}^q\mathbf{n}_{Ki} = {}^q\mathbf{R}_h {}^h\mathbf{n}_{Ki} \end{cases} \quad (2)$$

Trong đó: ${}^0\mathbf{R}_h, {}^q\mathbf{R}_h$ lần lượt là ma trận cosin chỉ hướng của $\mathcal{G}_h\{x_h, y_h, z_h\}$ so với $\mathcal{G}_0\{x_0, y_0, z_0\}, \mathcal{G}_q\{x_q, y_q, z_q\}$.

Nếu gọi $\vec{i}, \vec{j}, \vec{k}$ là vectơ đơn vị của các trục tọa độ của $\mathcal{G}_h\{x_h, y_h, z_h\}$ thì:

$$\begin{cases} \vec{i} = \frac{d(\zeta)}{dt} \\ \vec{j} = \frac{d^2(\zeta)}{dt^2} \\ \vec{k} = \vec{i} \wedge \vec{j} \end{cases} \quad (3)$$

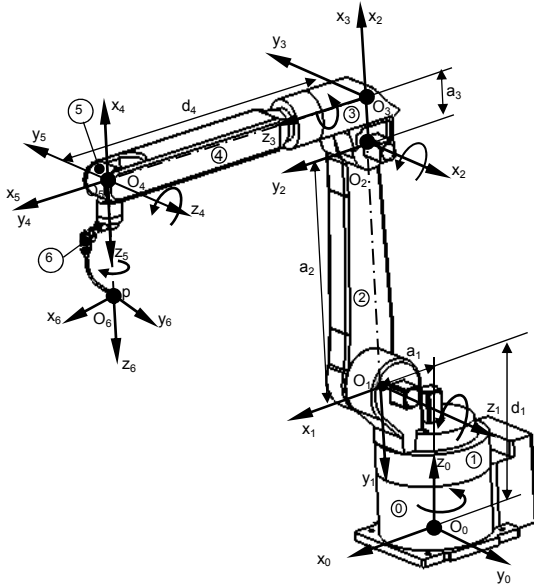
Từ hình 1, ta cũng nhận thấy khi vectơ \mathbf{n}_K tiệm cận với $\mathbf{n}_K = [0 \ 1 \ 0]^T$ thì không thể xác định được nghiệm θ_7, θ_8 của môđun quay theo $K_i \in \{\zeta\}$. Do đó, sẽ được xác định trong hệ quy chiếu của rôbot, đây chính là điều kiện biên để giải hệ phức tạp này.

2.2. Thiết lập phương trình động học tay máy rôbot

Để thiết lập phương trình động học của tay máy rôbot 6 bậc tự do Almega AX, đặt hệ quy chiếu theo phương pháp D-H [12] được mô tả trên hình 3. Từ hình 3 ta có bảng thông số D-H được cho trong bảng 1.

Bảng 1. Bộ thông số D-H của rôbot Almega AX

Khâu	Thông số động học			Biến khớp θ_i [0]
	α_i [rad]	a_i [mm]	d_i [mm]	
1	$-\pi/2$	a_1	d_1	θ_1
2	0	a_2	0	θ_2
3	$-\pi/2$	a_3	0	θ_3
4	$\pi/2$	0	d_4	θ_4
5	$-\pi/2$	0	0	θ_5
6	0	0	d_6	θ_6



Hình 2. Thiết lập hệ quy chiếu xác định phương trình động học của rôbot Almega AX

Như vậy, ma trận biến đổi tọa độ và hướng từ mô hàn $\mathcal{G}_6\{x_6, y_6, z_6\}$ về hệ qui chiếu gốc $\mathcal{G}_0\{x_0, y_0, z_0\}$ được cho bởi:

$${}^0\mathbf{M}_6 = {}^0\mathbf{M}_1 {}^1\mathbf{M}_2 {}^2\mathbf{M}_3 {}^3\mathbf{M}_4 {}^4\mathbf{M}_5 {}^5\mathbf{M}_6 \quad (4)$$

Trong đó:

$${}^0\mathbf{M}_1 = \begin{bmatrix} \cos\theta_1 & 0 & -\sin\theta_1 & a_1 \cos\theta_1 \\ \sin\theta_1 & 0 & \cos\theta_1 & a_1 \sin\theta_1 \\ 0 & -1 & 0 & d_1 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^1\mathbf{M}_2 = \begin{bmatrix} \cos\theta_2 & -\sin\theta_2 & 0 & a_2 \cos\theta_2 \\ \sin\theta_2 & \cos\theta_2 & 0 & a_2 \sin\theta_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^2\mathbf{M}_3 = \begin{bmatrix} \cos\theta_3 & 0 & -\sin\theta_3 & a_3 \cos\theta_3 \\ \sin\theta_3 & 0 & \cos\theta_3 & a_3 \sin\theta_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^3\mathbf{M}_4 = \begin{bmatrix} \cos\theta_4 & 0 & \sin\theta_4 & 0 \\ \sin\theta_4 & 0 & -\cos\theta_4 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & d_4 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$${}^4\mathbf{M}_5 = \begin{bmatrix} \cos\theta_5 & 0 & -\sin\theta_5 & 0 \\ \sin\theta_5 & 0 & \cos\theta_5 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad {}^5\mathbf{M}_6 = \begin{bmatrix} \cos\theta_6 & -\sin\theta_6 & 0 & 0 \\ \sin\theta_6 & \cos\theta_6 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_6 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

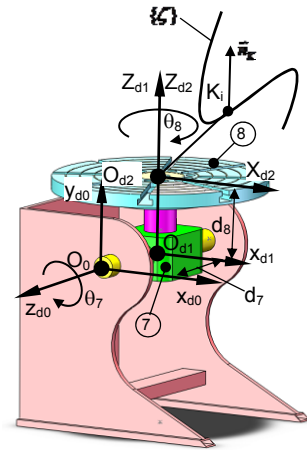
Như vậy, với một điểm $K_i \in \{\zeta\}$ thuộc $\{\mathcal{S}\}$ và vectơ \vec{n}_{K_i} ở trên phôi, ta có thể đưa về hệ quy chiếu gốc phôi $\mathcal{G}_0\{x_0, y_0, z_0\}$:

$$\begin{cases} {}^0\mathbf{n}_{K_i} = {}^0\mathbf{M}_6 \mathbf{n}_{K_i} \\ {}^0\mathbf{r}_{K_i} = {}^0\mathbf{M}_6 \mathbf{r}_{K_i} \end{cases} \quad (5)$$

Cân bằng các phần tử ${}^0\mathbf{n}_{K_i}, {}^0\mathbf{r}_{K_i}$ ở phương trình (5) với phương trình (2) ta xác định được phương trình động học của tay máy rôbot Almega AX, sau khi giải tìm được nghiệm $\theta_1 \div \theta_6$ của rôbot Almega AX theo $K_i \in \{\zeta\}$.

2.3. Thiết lập phương trình động học môđun quay 2 bậc tự do

Tương tự như trên xét với môđun quay hai bậc tự do, đặt hệ quy chiếu theo phương pháp D - H được mô tả trên hình 3. Từ hình 3 ta có bảng thông số D - H được cho trong bảng 2.



Hình 3. Thiết lập hệ quy chiếu trên mô đun quay 2 bậc tự do

Bảng 2. Bộ thông số D-H của môđun quay 2 bậc tự do

Khâu	Thông số động học			Biến khớp θ_i [°]
	α_i [rad]	a_i [mm]	d_i [mm]	
1	$-\pi/2$	0	$-d_7$	θ_7
2	0	0	d_8	θ_8

Như vậy, ma trận biến đổi tọa độ $\mathbf{r}_{K_i} = [x_{K_i} \ y_{K_i} \ z_{K_i}]^T$ và vectơ $\mathbf{n}_{K_i} = [n_{x_{K_i}} \ n_{y_{K_i}} \ n_{z_{K_i}}]^T$ với $(n_{x_{K_i}})^2 + (n_{y_{K_i}})^2 + (n_{z_{K_i}})^2 = 1$ từ bản kẹp về hệ quy chiếu gốc $\mathcal{G}_q \{x_q, y_q, z_q\}$ môđun quay được cho bởi:

$${}^q \mathbf{M}_8 = {}^q \mathbf{M}_7 {}^7 \mathbf{M}_8 \quad (6)$$

Trong đó:

$${}^q \mathbf{M}_7 = \begin{bmatrix} \cos \theta_7 & 0 & -\sin \theta_7 & 0 \\ \sin \theta_7 & 0 & \cos \theta_7 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & -d_7 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}; {}^7 \mathbf{M}_8 = \begin{bmatrix} \cos \theta_8 & -\sin \theta_8 & 0 & 0 \\ \sin \theta_8 & \cos \theta_8 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_8 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

Tương tự như trên, vectơ $\mathbf{r}_{K_i} \in \{\zeta\}$, $\mathbf{n}_{K_i} \in \mathcal{G}_h \{x_h, y_h, z_h\}$ ở trên phiôi, ta có thể đưa về hệ quy chiếu gốc phiôi $\mathcal{G}_q \{x_q, y_q, z_q\}$:

$$\begin{cases} {}^q \mathbf{n}_{K_i} = {}^q \mathbf{M}_8 \mathbf{n}_{K_i} \\ {}^q \mathbf{r}_{K_i} = {}^q \mathbf{M}_8 \mathbf{r}_{K_i} \end{cases} \quad (7)$$

Cân bằng các phần tử ${}^q \mathbf{n}_{K_i}$, ${}^q \mathbf{r}_{K_i}$ ở phương trình (7) với phương trình (2) ta xác định được phương trình động học của môđun quay, sau khi giải tìm được nghiệm θ_7, θ_8 của môđun quay theo $K_i \in \{\zeta\}$.

Nhận xét: hệ phương trình (5) và (7) xác định hệ phương trình động học của hệ tích hợp môđun quay 2 bậc tự do - rôbốt 6 bậc tự do. Để giải hệ phương trình này trong bài báo sử dụng phương pháp số hồi quy.

3. MÔ PHỎNG VÀ PHÂN TÍCH QUÁ TRÌNH HÀNH THEO ĐƯỜNG CONG PHỨC TẠP CỦA HỆ THỐNG

Để xác định thông số quỹ đạo đường hàn trong trường hợp tổng quát, chúng tôi sử dụng thuật toán nội suy hữu tỷ NURBS để nội suy quỹ đạo qua một số điểm hữu hạn (được thu thập bằng phương pháp dạy học cho rôbốt). Để tạo ra đường hàn ta cần phải nội suy để xác định được bộ

thông số ${}^0 \mathbf{n}_{K_i}, {}^0 \mathbf{r}_{K_i}$ tại từng điểm $K_i \in \{\zeta\}$. Dưới đây, là hai trường hợp cụ thể được trình bày trong mục 3.1 và 3.2.

3.1. Cơ sở lý thuyết nội suy đường cong hữu tỷ NURBS

Theo tài liệu [13] đường cong hữu tỷ là đường cong B-Spline xác định trong không gian 4 chiều (4D) về không gian 3 chiều (3D) và được cho bởi:

$$P(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i R_{i,k}(t) \quad (8)$$

Với B_i là các đỉnh của đa giác điểm nội suy trong không gian 3D, còn $R_{i,k}(t)$ là hàm cơ sở của đường cong B-Spline hữu tỷ và được cho bởi:

$$R_{i,k}(t) = \frac{h_i N_{i,k}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} h_i N_{i,k}(t)} \quad (9)$$

Với: $h_i \geq 0$ với mọi giá trị của i ; $N_{i,k}(t)$ được cho bởi công thức đệ quy:

$$\begin{cases} N_{i,1}(t) = \begin{cases} 1 & x_i \leq t \leq x_{i+1} \\ 0 & \text{trường hợp khác} \end{cases} \\ N_{i,k}(t) = \frac{(t-x_i)N_{i,k-1}(t)}{x_{i+k-1}-x_i} + \frac{(x_{i+k}-t)N_{i+1,k-1}(t)}{x_{i+k}-x_{i+1}} \end{cases} \quad (10)$$

x_i là các giá trị của vectơ nút và thỏa mãn điều kiện $x_i \leq x_{i+1}$.

Tiếp tuyến của đường cong được cho bởi:

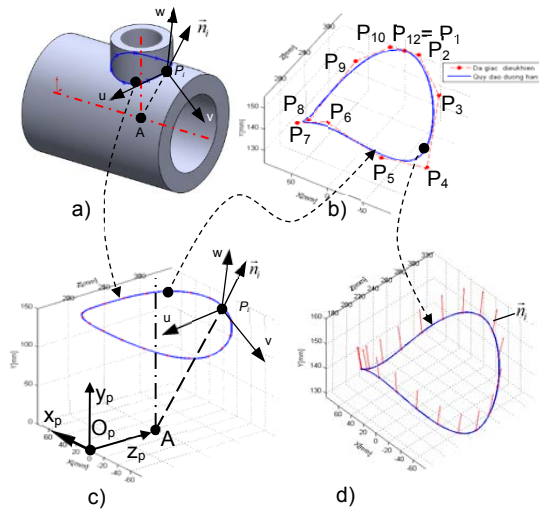
$$\dot{P}(t) = \sum_{i=1}^{n+1} B_i \left[\frac{h_i \dot{N}_{i,k}(t)}{\sum_{i=1}^{n+1} h_i N_{i,k}(t)} - \frac{h_i N_{i,k}(t) \sum_{i=1}^{n+1} h_i \dot{N}_{i,k}(t)}{\left(\sum_{i=1}^{n+1} h_i N_{i,k}(t) \right)^2} \right] \quad (11)$$

3.2. Nội suy quỹ đạo đường hàn bằng đường cong hữu tỷ NURBS

Áp dụng cơ sở lý thuyết trong mục 3.1 và viết môđun phân mềm nội suy trên Matlab cho hai trường hợp dưới đây:

- Trường hợp 1: nội suy quỹ đạo hàn khi hàn cắt chữ T.

Với giả thiết đường hàn là đường giao của hai ống nối với nhau theo kiểu chữ T (hình 4a) và có quỹ đạo được mô tả ở hình 4b. Giả thiết lấy mẫu 9 điểm từ P_1 đến P_9 (được lấy mẫu bằng phương pháp dạy học của rôbot) mô tả trên hình 4c, có tọa độ được xác định trong bảng 3.



Hình 4. Nội suy quỹ đạo đường hàn và hướng hàn khi hàn ống nối chữ T

Bảng 3. Tọa độ các điểm lấy mẫu khi hàn cắt chữ T

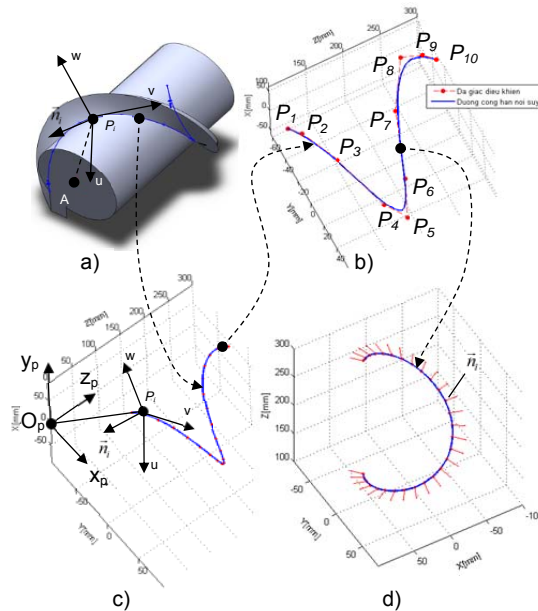
P_1	P_2	P_3	P_4
$\begin{bmatrix} 0 \\ 150 \\ 325 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -41.865 \\ 144.039 \\ 312.228 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -69.140 \\ 133.115 \\ 279.063 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -73.542 \\ 130.735 \\ 235.285 \end{bmatrix}$
P_5	P_6	P_7	P_8
$\begin{bmatrix} -53.144 \\ 140.270 \\ 197.097 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -15.015 \\ 149.247 \\ 176.518 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 28.863 \\ 147.197 \\ 180.776 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 64.148 \\ 135.592 \\ 211.140 \end{bmatrix}$
P_9	P_{10}	P_{11}	P_{12}
$\begin{bmatrix} 74.999 \\ 129.904 \\ 249.815 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 62.320 \\ 136.441 \\ 291.727 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 38.403 \\ 144.574 \\ 314.221 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 0 \\ 150 \\ 325 \end{bmatrix}$

Bảng 4. Dữ liệu điểm quỹ đạo hàn bao gồm tọa độ và hướng của mô hàn khi hàn cắt chữ T

t	x_K	y_K	z_K	n_{Kx}	n_{Ky}	n_{Kz}
0	0	150	325	0.05	0.892	0.445
0.01	-0.599	150.016	325.029	0.041	0.893	0.445
0.02	-1.198	150.029	325.053	0.032	0.894	0.446
0.03	-1.796	150.038	325.072	0.023	0.894	0.447
0.04	-2.394	150.044	325.085	0.015	0.894	0.447
...
...
7.96	2.393	149.911	324.843	0.074	0.892	0.442
7.97	1.796	149.937	324.888	0.068	0.892	0.443
7.98	1.198	149.960	324.929	0.062	0.893	0.443
7.99	0.599	149.981	324.966	0.056	0.893	0.444
8.00	0	150	325	0.05	0.893	0.445

Với giá số $\Delta t = 0.01$ đường cong được nội suy thành 800 điểm với sai số 0.001.

- Trường hợp 2: nội suy quỹ đạo hàn các đoạn ống xoắn trong khoan cọc nhồi của ngành xây dựng.



Hình 5. Nội suy quỹ đạo đường hàn và hướng hàn khi hàn ống nối chữ T

Trong trường hợp này nội suy một mô đun (trộn 1 bước vít) (hình 5a), quỹ đạo được mô tả trên hình 5c và số điểm lấy mẫu là 11 (hình 5b), quỹ đạo nội suy được mô tả

trên hình 5d (lược bỏ bớt để thể hiện trên hình vẽ), bảng 5 là tọa độ các điểm lấy mẫu còn bảng 6 là dữ liệu điểm nội suy.

Bảng 5. Tọa độ các điểm lấy mẫu khi hàn đường xoắn ốc

P ₁	P ₂	P ₃	P ₄
$\begin{bmatrix} 37.816 \\ -32.710 \\ 100 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 49.983 \\ -1.294 \\ 121.876 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 40.918 \\ 28.736 \\ 142.189 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 15.749 \\ 47.455 \\ 162.498 \end{bmatrix}$
P ₅	P ₆	P ₇	P ₈
$\begin{bmatrix} -13.270 \\ 48.207 \\ 181.249 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -40.840 \\ 28.845 \\ 203.126 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -49.869 \\ -3.610 \\ 224.999 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} -39.459 \\ -30.708 \\ 243.749 \end{bmatrix}$
P ₉	P ₁₀	P ₁₁	
$\begin{bmatrix} -15.749 \\ -47.455 \\ 262.499 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 13.444 \\ -47.825 \\ 281.436 \end{bmatrix}$	$\begin{bmatrix} 37.816 \\ -32.710 \\ 300 \end{bmatrix}$	

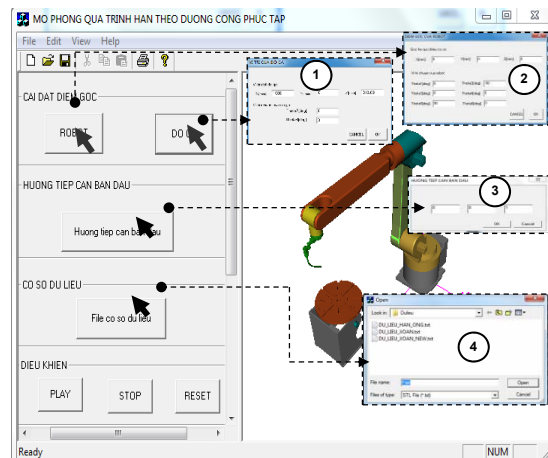
Bảng 6. Dữ liệu điểm quỹ đạo hàn bao gồm tọa độ và hướng của mô hàn khi hàn đường xoắn ốc

t	x _K	y _K	z _K	n _{Kx}	n _{Ky}	n _{Kz}
0	37.816	-32.710	100	0.7563	-0.654	0
0.01	38.075	-32.408	100.253	0.762	-0.648	0
0.02	38.331	-32.105	100.505	0.767	-0.642	0
0.03	38.585	-31.799	100.757	0.772	-0.636	0
0.04	38.836	-31.492	101.010	0.777	-0.629	0
...
...
6.96	35.798	-34.904	298.097	0.715	-0.699	0
6.97	36.311	-34.371	298.571	0.726	-0.688	0
6.98	36.819	-33.828	299.046	0.736	-0.677	0
6.99	37.320	-33.274	299.522	0.746	-0.666	0
7.00	37.816	-32.710	300	0.756	-0.654	0

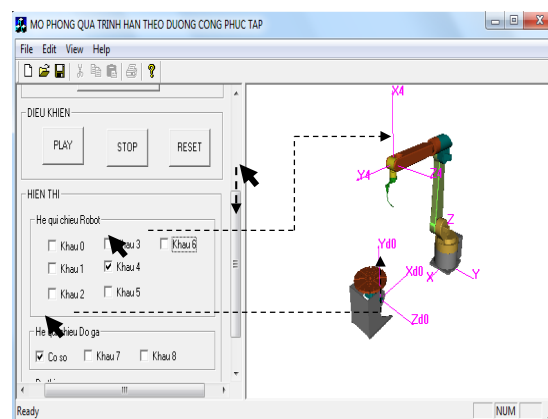
3.3. Viết phần mềm mô phỏng

Từ mô hình toán học đã được xây dựng ở mục 2 của bài báo này. Nhóm tác giả đã tiến hành viết phần mềm mô phỏng bằng

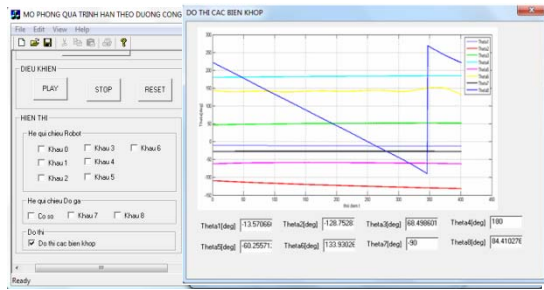
OpenGL trên giao diện MFC của Visual Studio 9 có giao diện như hình 6 dưới đây. Phần mềm có các chức năng: môđun ① cài đặt điểm chuẩn “0” của đồ gá quay; môđun ② cài đặt điểm gốc “0” của rôbôt; môđun ③ cài đặt điểm không của chương trình “0”; Môđun ④ load cơ sở dữ liệu đường hàn (r_{Ki} , n_{Ki}) đã được nội suy từ Matlab. Ngoài ra, còn có chức năng hiển thị các hệ quy chiếu để kiểm tra (hình 7) và các giá trị biên khớp để kiểm tra quá trình hoạt động (hình 8) và hiển thị kết quả giá trị biên khớp điều khiển ($\theta_1 \div \theta_8$).



Hình 6. Giao diện phần mềm và cài đặt các tham số ban đầu của hệ thống



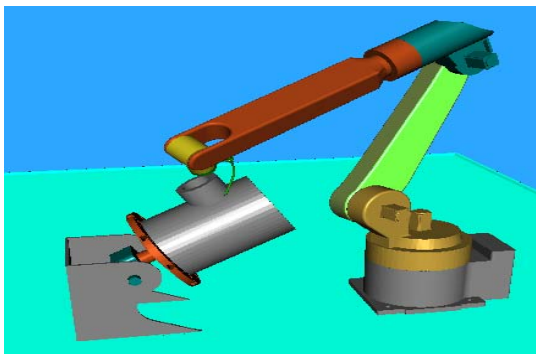
Hình 7. Hiển thị hệ quy chiếu của hệ thống để đồng bộ hóa điểm gốc của môđun tích hợp với điểm gốc của rôbôt



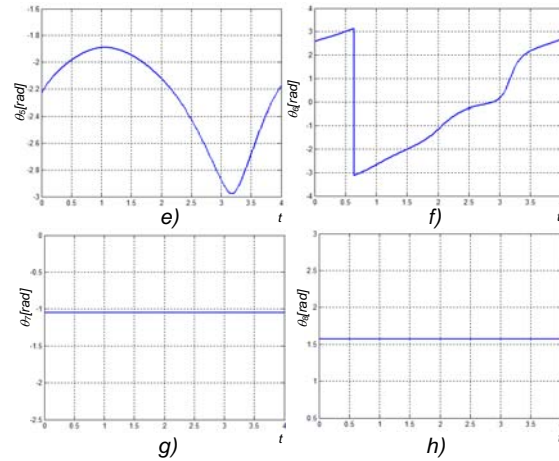
Hình 8. Hiện thị thông số biến khớp trong quá trình hàn theo đường cong phức tạp

3.3. Phân tích và đánh giá kết quả mô phỏng

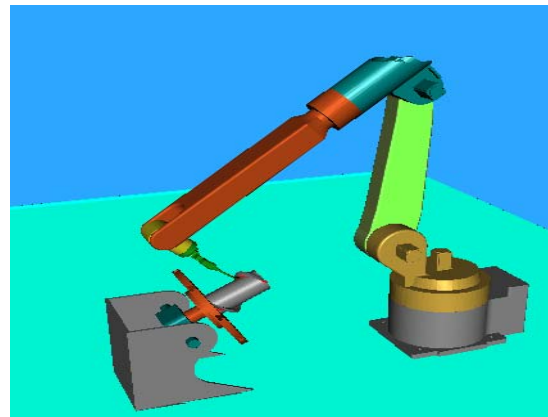
Với cơ sở dữ liệu ở bảng 4 khi hàn ống nối chữ T và góc lắc của đầu hàn $\alpha = 5^\circ$ hình 9 là giao diện mô phỏng còn hình 10 là đồ thị biến khớp.



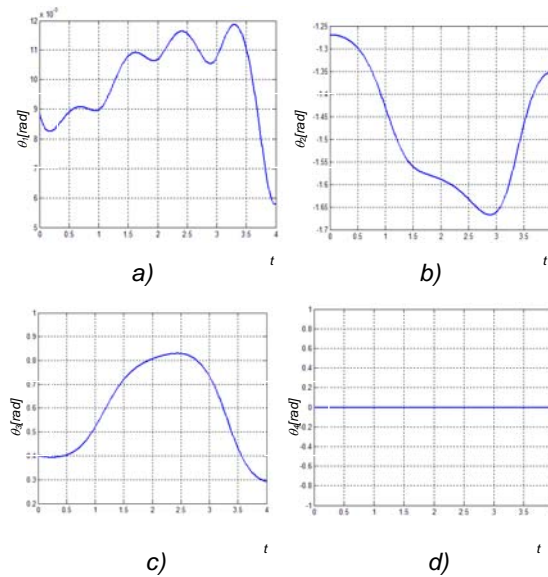
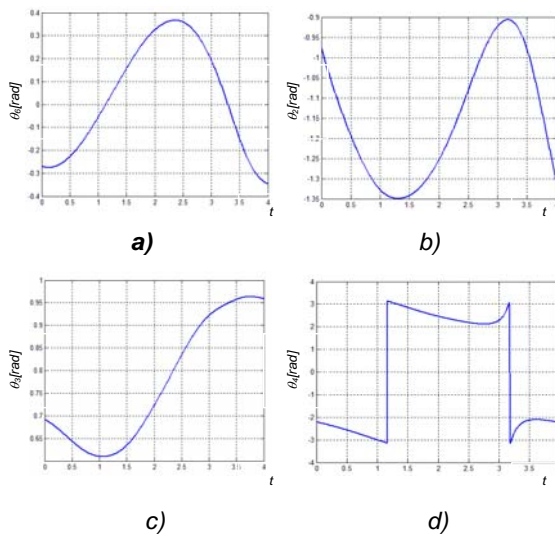
Hình 9. Mô phỏng hệ tích hợp môđun quay - rôbốt khi hàn ống nối chữ T

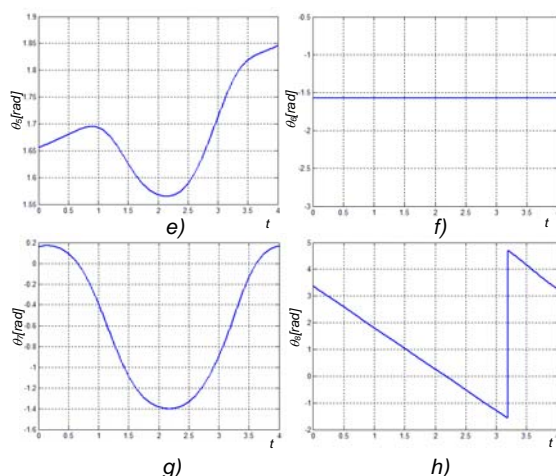


Hình 10. Sự biến đổi thông số điều khiển các khớp của hệ tích hợp khi hàn ống nối chữ T



Hình 11. Mô phỏng hệ tích hợp môđun quay-rôbốt trong hàn trực xoắn ốc





Hình 12. Sự biến đổi các khớp của hệ tích hợp hàn trục xoắn ốc

Từ hình 10 cho thấy khi quỹ đạo đường hàn $\{\zeta\} \in \{\mathcal{S}\}$ và nằm trong miền $\{@\}$ của rôbot thì môđun quay 2 bậc tự do đứng nguyên ở vị trí cài đặt ban đầu và luôn bằng hằng số (hình 10g, hình 10h). Còn khi hàn theo đường xoắn ốc (hình 11, hình 12) thì khớp 4, khớp 5 giữ nguyên ở vị trí cài đặt ban đầu (hình 12d, hình 12f).

Khi đó rôbot chỉ hoạt động với vai trò như một rôbot 4 bậc tự do để tác hợp với môđun quay 2 bậc tự do để có thể hàn được theo quỹ đạo phức tạp này.

4. KẾT LUẬN

Từ nghiên cứu này cho thấy mặc dù với rôbot 6 bậc tự do, nhưng trong một số trường hợp thực hiện đường hàn phức tạp (đường xoắn ốc hình 11, hình 12 là minh chứng), rôbot không thể thực hiện được. Vì vậy, trong thực tế phải dùng các môđun 2 bậc tự do để nâng cao khả năng công nghệ của rôbot. Với kết quả nghiên cứu này (mô hình toán, phần mềm mô phỏng) có thể ứng dụng trong thực tiễn giải mã công nghệ các rôbot hàn kết hợp môđun quay trong ngành hàn mà cho đến nay Việt Nam vẫn phải nhập khẩu đồng bộ cùng với phần mềm. Môđun phần mềm nội suy của đề tài còn có thể viết thành môđun tích hợp trong nhiều ứng dụng khác nhau như hàn tổng đoạn và phân đoạn trong ngành đóng tàu với hàng nghìn kilômet đường hàn. Ngoài ra, kết quả nghiên cứu này còn là tiền đề để tiếp tục nghiên cứu bộ phát triển bộ điều khiển vận tốc, gia tốc cũng như nghiên cứu phát triển bộ tăng tốc, giảm tốc trong bộ điều khiển cốt lõi NCK (Numerical Control Kernel) của rôbot nhiều bậc tự do.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Donghun Lee, Sungcheul Lee, Namkuk Ku, Chaemook Lim, Kyu-Yeul Lee, Tae-Wan Kim, Jongwon Kim. Soo Ho Kim Development of a mobile robotic system for working in the double-hulled structure of a ship// Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 26 (2010) 13-23.
- [2] Donghun Lee, TaeWon Seo, Jongwon Kim. Optimal design and workspace analysis of a mobile welding robot with a 3P3R serial manipulator// Robotics and Autonomous Systems 59 (2011) 813-826.
- [3] Donghun Lee, Namkug Ku, Tae-Wan Kim, Jongwon Kim, Kyu-Yeul Lee, Youg-Shuk Son. Development and application of an intelligent welding robot system for shipbuilding// Robotics and Computer-Integrated Manufacturing 27 (2011) 377-388.
- [4] Keyhwan Kim, Sungcheul Lee, Kyoubum Kim, Kyu-yeul Lee, Seungjin Heo, Kihong Park, Jay-il Jeong, Jongwon Kim. Development of the End-effector Measurement System for a 6-axis WeldingRobot// international journal of precision engineering and manufacturing Vol. 11, No. 4, pp. 519-526.

- [5] Bin Du, Jing Zhao, and Yu Liu. Design and Experiment of a Novel Portable All-Position Welding Robot// *Robotic Welding, Intelligence and Automation* (2004) 443-450.
- [6] Liu Yan, Liu Ya, Tian Xincheng. Trajectory and velocity planning of the robot for sphere-pipe intersection hole cutting with single-Y welding groove// *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* Volume 56 (2019) 244-253.
- [7] Changliang Chen, Shengsun Hu, Donglin He, Junqi Shen, An approach to the path planning of tube-sphere intersection welds with the robot dedicated to J-groove joints// *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 29 (2013) 41-48.
- [8] Zh.Y. Zhu, T. Lin, Y.J. Piao, S.B. Chen. Recognition of the initial position of weld based on the image pattern match technology for welding robot// *Int J Adv Manuf Technol* (2005) 26: 784-788.
- [9] Weike Song, Gang Wang, Juliang Xiao, Guodong Wang, Ying Hong. Research on multi-robot open architecture of an intelligent CNC system based on parameter-driven technology// *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 28 (2012) 326-333.
- [10] Hong-yuan Shen, Jing Wu&Tao Lin, Shan-ben Chen. Arc welding robot system with seam tracking and weld pool control based on passive vision// *Int J Adv Manuf Technol* (2008) 39:669-678.
- [11] Tomáš Martineca, Jaroslav Mlýnek, Michal Petrů. Calculation of the robot trajectory for the optimum directional orientation of fibre placement in the manufacture of composite profile frames// *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing* 35 (2015) 42-54.
- [12] Bruno Siciliano, Lorenzo Sciavicco, Luigi Villani, Giuseppe Oriolo; *Robotics Modelling, Planning and Control*; Springer-Verlag London, 2009.
- [13] David F. Rogers; *An Introductron to NURBS*; Morgan kaufmann Publishers (2001).

Giới thiệu tác giả:



Tác giả Trinh Thị Khánh Ly tốt nghiệp đại học năm 2002, nhận bằng Thạc sĩ năm 2004 và bằng Tiến sĩ chuyên ngành điều khiển và tự động hóa năm 2017 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Điều khiển và Tự động hóa, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: nhận dạng các hệ thống điều khiển, mô hình hóa, robotic, điều khiển thông minh.



Tác giả Lê Quốc Dũng tốt nghiệp đại học chuyên ngành tự động hóa năm 2007, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành tự động hóa năm 2009 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Tác giả hiện là giảng viên Khoa Điều khiển và Tự động hoá, Trường Đại học Điện lực.

Lĩnh vực nghiên cứu: mô hình hóa mô phỏng, điều khiển thông minh, điện tử công suất, truyền động điện.

