



## MÔ PHỎNG MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CỦA ROBOT DÂY TRÊN MẶT PHẲNG

Trần Thiện Trường, Nguyễn Văn Ngọc Minh, Đỗ Minh Nhựt và Nguyễn Hữu Cường

Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

### Thông tin chung:

Ngày nhận bài: 15/09/2017

Ngày nhận bài sửa: 10/10/2017

Ngày duyệt đăng: 20/10/2017

### Title:

Simulation for planar cable-direct-driven robot kinematics models

### Từ khóa:

Động học vị trí, động học vận tốc, mô phỏng mô hình động học, robot dây phẳng

### Keywords:

Kinematics model simulation, plannar CDDR, position kinematics

### ABSTRACT

*This paper introduces two cable-direct-driven robot (CDDR) manipulator structures which are a planar 3-cable CDDR and a planar 4-cable CDDR. Besides, a program is built to simulate kinematics models of these manipulator architectures. The simulation results show that the 4-cable CDDR requires less cable tensions and thus less energy compared to the 3-cable CDDR in performing the same simulated task. The results also highlight the possibility and reliability of these CDDRs.*

### TÓM TẮT

*Bài báo này giới thiệu hai cơ cấu robot dây CDDR phẳng 3 dây cáp và 4 dây cáp, đồng thời xây dựng một chương trình mô phỏng mô hình động học cho các cơ cấu robot dây này. Kết quả mô phỏng cho thấy rằng cơ cấu 4 dây cáp đòi hỏi ít căng dây hơn so với cơ cấu 3 dây cáp và do đó nó yêu cầu ít năng lượng hơn nếu thực hiện trên cùng một tác vụ mô phỏng. Từ kết quả mô phỏng cũng cho thấy được tính khả thi và độ tin cậy của các cơ cấu robot dây này.*

Trích dẫn: Trần Thiện Trường, Nguyễn Văn Ngọc Minh, Đỗ Minh Nhựt và Nguyễn Hữu Cường, 2017. Mô phỏng mô hình động học của robot dây trên mặt phẳng. Tạp chí Khoa học Trường Đại học Cần Thơ. Số chuyên đề: Công nghệ thông tin: 54-57.

## 1 GIỚI THIỆU

Robot dây (cable-direct-driven robot – CDDR) là một dạng robot song song có end-effector được điều khiển song song bởi  $n$  dây cáp cùng với  $n$  cơ cấu căng dây. Bên cạnh những đặc điểm như robot song song, CDDR còn có ưu điểm là trọng lượng rất thấp. Một CDDR được NIST phát triển khá sớm là Robocane được dùng trong các cảng tàu (Dagalakis *et al.*, 1989). Thiết bị này có sáu bậc tự do (degree-of-freedom – DOF) với sáu dây cáp. Trong hệ thống này, trọng lực là một cơ cấu quan trọng để đảm bảo rằng dây cáp luôn được giữ căng trong mọi thời điểm. Đến năm 2006, một họ robot mang tên IPAnemawas được phát triển để lắp ráp, thao tác những đối tượng kích thước trung bình và lớn (Pott *et al.*, 2010). Họ robot Marionet bao gồm một kết cấu cỡ nhỏ dùng cho những ứng dụng tốc độ cao,

một cần cầu cầm tay cho phép cứu hộ và các bộ phận hỗ trợ cá nhân (Merlet, 2008). Bên cạnh đó, các nhà nghiên cứu đã xây dựng một robot dây lớn nhất thế giới để định vị gương cho kính viễn vọng FAST (Baoyan *et al.*, 2008).

Đa số những CDDR đã được nghiên cứu liên quan đến chuyển động tịnh tiến và chuyển động quay của end-effector đều bằng dây cáp. Tuy nhiên, trong một vài trường hợp đòi hỏi sự căng dây âm, điều này không thể nào thực hiện được. Nghiên cứu này thực hiện mô phỏng một dạng mô hình cấu trúc lai, trong đó chuyển động tịnh tiến và lực được cung cấp bởi các dây cáp song song và chuyển động quay và moment được cung cấp bởi một cơ cấu cổ tay nối tiếp (Robert and Paolo, 2001).

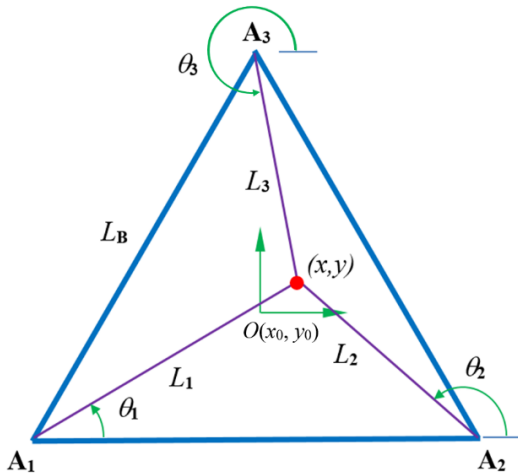
Bài báo này trình bày hai mô hình động học của CDDR phẳng và xây dựng chương trình mô phỏng

động học cho các mô hình đó. Kết quả mô phỏng động học của những mô hình này tập trung chủ yếu vào chuyển động tịnh tiến bằng các dây cáp.

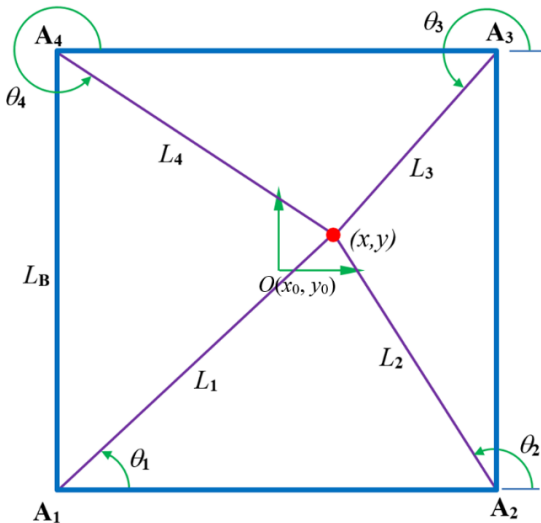
## 2 MÔ HÌNH ĐỘNG HỌC CỦA CDDR

### 2.1 Cơ cấu CDDR

CDDR phẳng bao gồm một điểm end-point được hỗ trợ song song bằng  $n$  dây cáp được điều khiển bởi  $n$  cơ cấu căng dây. Chúng tôi sử dụng các mô hình CDDR lai, trong đó những chuyển động tịnh tiến được cung cấp bởi  $n$  dây cáp và chuyển động quay được thực hiện bởi một cơ cấu cổ tay nối tiếp. Trong nghiên cứu này chúng tôi chỉ quan tâm đến vấn đề chuyển động tịnh tiến.



Hình 1: Cơ cấu CDDR phẳng 3 dây cáp



Hình 2: Cơ cấu CDDR phẳng 4 dây cáp

Hình 1 trình bày một cơ cấu gồm ba dây cáp và Hình 2 trình bày cơ cấu gồm bốn dây cáp để đạt được hai bậc tự do trong mặt phẳng  $\mathbf{X} = \{x \ y\}^T$ . Trong Hình 1 và 2 cho thấy hệ tọa độ tham chiếu  $\{0\}$  có gốc tọa độ nằm ở trọng tâm của đa giác nền.

Các đa giác nền (hình tam giác và hình vuông) có chiều dài cạnh cố định là  $L_B$ . Mỗi dây cáp được gắn vào liên kết nối đất tại  $\mathbf{A}_i = \{A_{ix} \ A_{iy}\}^T$ . Chiều dài của mỗi dây cáp được xác định là  $L_i$  và góc dây cáp là  $\theta_i$  ( $i = 1, 2, \dots, n$ ).

Theo lý thuyết điểm end-effector có thể đạt tới bất kỳ điểm nào bên trong đa giác nền nếu các độ dài dây cáp có thể giảm tới không.

### 2.2 Mô hình động học CDDR

Trong phần này trình bày phân tích động học vị trí và vận tốc chuyển động tịnh tiến của các CDDR mặt phẳng. Động học ngược được yêu cầu cho điều khiển và động học thuận được sử dụng cho mô phỏng và điều khiển có giám sát bởi các cảm biến. Động học vị trí liên quan đến các mối quan hệ của các biến khớp và tỉ lệ với vị trí Cartesian và các biến tỉ lệ của chuyển động end-effector. Giả sử rằng tất cả các dây cáp luôn được giữ căng, động học CDDR tương tự với động học robot song song (Tsai, 1999), tuy nhiên, đối với CDDR không gian khớp bị ràng buộc tương ứng với không gian Cartesian.

#### 2.2.1 Động học vị trí

Bài toán động học vị trí ngược được đặt ra như sau: cho trước vị trí  $\mathbf{X} = \{x \ y\}^T$  tính các độ dài dây cáp  $L_i$ . Dựa vào vị trí điểm end-effector  $\mathbf{X} = \{x \ y\}^T$  và mỗi đỉnh  $\mathbf{A}_i$  của khâu nối đất, ta có:

$$L_i = \sqrt{(x - A_{ix})^2 + (y - A_{iy})^2} \quad (1)$$

với  $i = 1, \dots, n$

Để áp dụng trong động học vận tốc, ta cần tìm các góc dây cáp:

$$\theta_i = \tan^{-1} \left( \frac{y - A_{iy}}{x - A_{ix}} \right) \quad (2)$$

với  $i = 1, \dots, n$

Bài toán động học vị trí thuận được đặt ra: cho trước các độ dài dây cáp  $L_i$ , tính vị trí  $\mathbf{X} = \{x \ y\}^T$ . Bài toán này bị ràng buộc và giả sử rằng có  $L_i$  có giá trị thích hợp. Trước tiên ta xét các dây cáp 1 và 2. Để đơn giản ta dịch chuyển gốc hệ tọa độ tham chiếu đến  $\mathbf{A}_1$ ; trong hệ tọa độ mới này  $\mathbf{A}_1 = \{0 \ 0\}^T$  và  $\mathbf{A}_2 = \{L_B \ 0\}^T$ . Lời giải cho bài toán động học vị trí thuận là giao điểm của hai đường tròn, đường tròn thứ nhất có tâm tại  $\mathbf{A}_1$  với bán kính  $L_1$  và đường tròn thứ hai có tâm tại  $\mathbf{A}_2$  với bán kính  $L_2$ . Kết quả là:

$$x = \frac{L_B^2 + L_1^2 - L_2^2}{2L_B} \quad y = \pm \sqrt{L_1^2 - x^2} \quad (3)$$

Ta chọn giá trị  $y$  dương của (3) để đảm bảo rằng lời giải động học vị trí thuận nằm trong đa giác nền.

Do đó, trong nhiều khả năng (ta có thể sử dụng hai dây cáp bất kỳ để có được lời giải), chỉ có duy nhất một đáp án đúng. Cuối cùng, lời giải (3) phải được dịch trở về hệ tọa độ tham chiếu  $\{0\}$ . Lời giải này áp dụng cho bất kỳ CDDR phẳng n dây cáp.

Sau khi dùng (3) để giải bài toán động học vị trí thuận, ta dùng lời giải động học vị trí ngược (1) cho tất cả dây cáp để kiểm tra  $L_i$  đã cho thích hợp.

### 2.2.2 Động học vận tốc

Để tìm được các phương trình động học vận tốc ta xét phương vector của dây cáp thứ i

$$\begin{Bmatrix} x \\ y \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} A_{ix} + L_i \cos(\theta_i) \\ A_{iy} + L_i \sin(\theta_i) \end{Bmatrix} \quad (4)$$

Đạo hàm theo thời gian, ta được:

$$\begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -L_i \sin(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & L_i \cos(\theta_i) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{L}_i \\ \dot{\theta}_i \end{Bmatrix} \quad (5)$$

Nghịch đảo ma trận Jacobian dây cáp thứ i, ta được:

$$\begin{Bmatrix} \dot{L}_i \\ \dot{\theta}_i \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & \sin(\theta_i) \\ -\sin(\theta_i)/L_i & \cos(\theta_i)/L_i \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} \quad (6)$$

Vì ta xét các biến đổi độ dài dây cáp theo tỉ lệ Cartesian, nên ta có thể rút dòng đầu tiên của (6) để xây dựng lời giải vận tốc. Đối với trường hợp các CDDR 3 và 4 dây cáp:

$$\begin{Bmatrix} \dot{L}_1 \\ \dot{L}_2 \\ \dot{L}_3 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & \sin(\theta_1) \\ \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) \\ \cos(\theta_3) & \sin(\theta_3) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} \quad (7)$$

và

$$\begin{Bmatrix} \dot{L}_1 \\ \dot{L}_2 \\ \dot{L}_3 \\ \dot{L}_4 \end{Bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_1) & \sin(\theta_1) \\ \cos(\theta_2) & \sin(\theta_2) \\ \cos(\theta_3) & \sin(\theta_3) \\ \cos(\theta_4) & \sin(\theta_4) \end{bmatrix} \begin{Bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \end{Bmatrix} \quad (8)$$

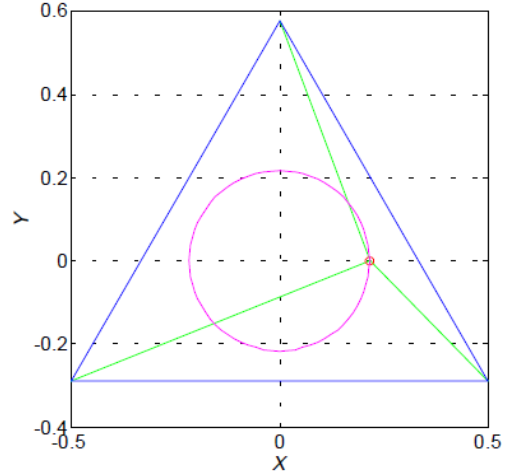
Chú ý rằng ta đã bỏ qua  $\dot{\theta}_i$  trong các phương trình vận tốc. Dạng tổng quát của phương trình động học vận tốc là  $\dot{\mathbf{L}} = \mathbf{M}\dot{\mathbf{X}}$ , trong đó  $\dot{\mathbf{L}}$  là vector tốc độ biến đổi độ dài của n dây cáp,  $\mathbf{M}$  là ma trận Jacobian nghịch đảo CDDR, và  $\dot{\mathbf{X}} = \{\dot{x} \ \dot{y}\}^T$  là vector vận tốc của điểm end-effector.

Để giải bài toán động học vận tốc thuận ta phải tính phương trình nghịch đảo,  $\dot{\mathbf{X}} = \mathbf{M}^{-1}\dot{\mathbf{L}}$ .

## 3 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

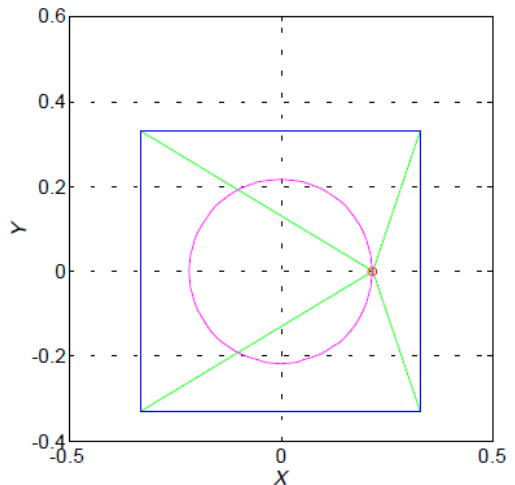
Trong nghiên cứu này chúng tôi thực hiện tác vụ mô phỏng mô hình động học vị trí cho cơ cấu CDDR phẳng 3 dây cáp và cơ cấu CDDR phẳng 4 dây cáp

bằng ngôn ngữ lập trình MATLAB. Trong đó, các đa giác nền là các đa giác đều (tam giác và hình vuông). Cạnh tam giác  $L_B = 1$  m. Để so sánh cân bằng giữa hai mô hình, nên cả hai đa giác được chọn có cùng diện tích, do đó đối với hình vuông  $L_B = 0,658$  m.



**Hình 3: Kết quả vẽ đường tròn với mô hình CDDR phẳng 3 dây cáp**

Chương trình mô phỏng đối với điểm end-effector  $\mathbf{X} = \{x \ y\}^T$  di chuyển theo một đường tròn trong mặt phẳng. Tác vụ mô phỏng được thực hiện trên cả hai mô hình CDDR 3 dây cáp và 4 dây cáp, các kết quả mô phỏng được trình bày tương ứng trong Hình 3 và 4.



**Hình 4: Kết quả vẽ đường tròn với mô hình CDDR phẳng 4 dây cáp**

## 4 KẾT LUẬN

Bài báo đã xây dựng được một chương trình mô phỏng động học vị trí cho hai mô hình robot CDDR phẳng 3 dây cáp và 4 dây cáp. Kết quả mô phỏng

cho thấy rằng khả năng điều khiển điểm end-effector của các cơ cấu robot dây được khảo sát là khả thi và độ tin cậy của mô hình động học của các cơ cấu này.

Nghiên cứu sẽ tiếp tục thực hiện các tác vụ mô phỏng khác đối với những đặc tính tĩnh và mô hình động lực học trên cơ cấu robot dây CDDR phẳng 3 và 4 dây cáp để từ đó thiết kế được bộ điều khiển hoàn chỉnh cho các cơ cấu robot dây nêu trên.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Baoyan, D., Qiu, Y., Fushun, Z., Zi, B., 2008. Analysis and experiment of the feed cable-suspended structure for super antenna. *In: Proceedings of the IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics*, 2 July to 5 July 2008, Xi'an, China, 329–334.
- Dagalakis, N., Albus, J., Wang, B., Unger, J., Lee, J., 1989. Stiffness study of a parallel link robot crane for shipbuilding applications. *ASME Journal of Mechanical Design*. 111: 183-193.
- Merlet, J., 2008. Kinematics of the wire-driven parallel robot MARIONET using linear actuators. *In: Proceedings of the IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 19 May to 23 May 2008, Pasadena, CA, USA.
- Pott, A., Meyer, C., Verl, A., 2010. Large-scale assembly of solar power plants with parallel cable robots. *In: Proceedings of the 41<sup>st</sup> International Symposium on Robotics and the 6<sup>th</sup> German Conference on Robotics*, 7 June to 9 June 2010, Munich, Germany, 1-6.
- Robert, L., Paolo, G., 2001. Planar cable-driven robots. *In: Proceedings of ASME Design Engineering Technical Conferences*, 9 September to 12 September 2001, Pittsburgh, PA.
- Tsai, L.W., 1999, Robot Analysis: The Mechanics of Serial and Parallel Manipulators. Wiley, New York., 520 pages.