

NGHIÊN CỨU ĐỘNG HỌC VÀ MÔ PHÒNG RÔ BỐT NHỆN BỐN CHÂN

STUDY OF KYNETICS AND SIMULATION OF FOUR-LEGGED SPIDER ROBOT

TS. Nguyễn Trọng Doanh, KS. Nguyễn Ngọc Đạt
Trường Đại học Bách khoa Hà Nội

TÓM TẮT

Trong bài báo này đề cập đến bước đầu tiên trong thiết kế: Mô hình hóa động học và mô phỏng hoạt động của rô bốt nhện 4 chân. Vấn đề chính là xác định kết cấu, phương thức chuyển động, xây dựng phương trình động học và phần mềm mô phỏng. Rô bốt nhện 4 chân gồm 4 hệ chuyển động có kết cấu tương tự nhau với ba bậc tự do dạng RRR. Các góc quay của mỗi bậc tự do đều có giới hạn và miền hoạt động đối xứng tạo cho rô bốt có khả năng linh hoạt trong tiến, lùi. Kết quả mô phỏng trên Matlab và Visual Studio cho thấy khả năng bám theo hàm điều khiển rất tốt của loại rô bốt này.

Từ khóa: Rô bốt nhện; Mô hình hóa; Mô phỏng; Động học.

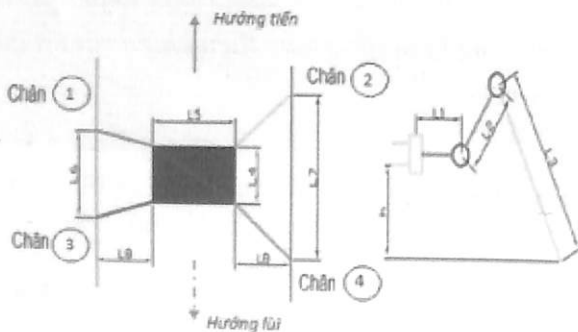
ABSTRACT

This article deals with the first step in designing: Modeling and simulation of the motion of a four-legged spider robot. The main problem is determining the structure, mode of motion, building kinematics and development of simulation software. The four-legged robot consists of four moving systems with a similar structure to the three degrees of freedom of the RRR. Angles of each DOF are limited and acting space allows the robot has the flexibility to move forward and backward. Simulation results on Matlab show very good control of the robot.

Keywords: Spider robot, modeling, simulation, kinetics.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Rô bốt tự hành là một hướng phát triển rất mạnh hiện nay. Rô bốt tự hành rất đa dạng, từ các rô bốt chạy trên ray dẫn hướng, đến chạy trên các bánh xe, các rô bốt dạng người Humainoid, các rô bốt phỏng sinh chạy trên các chân như động vật: Ngựa, chó, đà điểu...; cho đến các rô bốt chiến đấu, các AUV hay tàu lặn tự động và UAV các vật thể bay tự động. Rô bốt nhện cũng là một trong những loại rô bốt phỏng sinh học được quan tâm phát triển. Đặc điểm chính của rô bốt nhện là sự phối hợp chuyển động của các chân và sự thích ứng với các bề mặt có địa hình không bằng phẳng. Có nhiều hướng tiếp cận khác nhau: Rô bốt nhện tám chân [1], rô bốt nhện 6 chân [2] và nhiều nhất là rô bốt nhện 4 chân với các kết cấu khác nhau [3,4, 5,6]. Kết cấu rô bốt nhện chúng tôi lựa chọn là dạng như trên hình 1. Bốn chân có kết cấu giống nhau nhưng vị trí xuất phát của các chân khác nhau. Điều này thuận lợi cho việc điều khiển chuyển động.



Hình 1. Nguyên lý chuyển động của rô bốt nhện 4 chân.

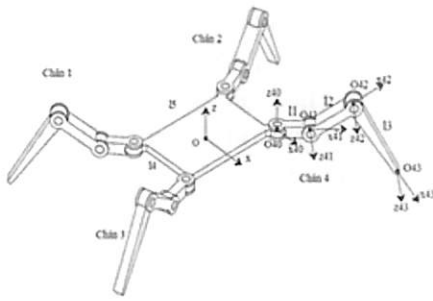
Hai chuyển động quay của hai khớp đầu tiên giúp thay đổi chiều cao của trọng tâm và vị trí của chân trong mặt phẳng của chân. Chuyển động quay của khớp cuối để di chuyển toàn bộ chân đến vị trí mới. Đối với rô bốt nhiều chân, vấn đề giữ thăng bằng đơn giản hơn rô bốt có ít chân. Nếu di chuyển từng chân một, tiến hay lùi, thì trọng tâm của rô bốt sẽ nằm trên trọng tâm của 3 chân còn lại. Nếu di chuyển cả hai chân đồng thời, khả năng giữ ổn định vẫn đảm bảo được, đặc biệt trong chuyển động nhanh. Tuy nhiên, khi chuyển động nhanh thì chuyển động của cả hai chân so le nhau là bắt buộc. Trong thiết kế như trên hình 1, thì vị trí xuất phát của các chân không giống nhau. Khi tiến lên thì chân 1 sẽ tiến đến vị trí mới để đạt khoảng cách giữa 1-3 là L_7 , chân 4 sẽ tiến lên để đạt khoảng cách giữa hai chân 2-4 là L_6 . Khi đi lùi thì chân 2 lùi để tạo khoảng cách giữa 2-4 là L_6 và chân 3 sẽ lùi để tạo khoảng cách 1-3 là L_7 . Hiện tại, rô bốt mới thiết kế để có thể di chuyển trên mặt phẳng. Trong tương lai sẽ trang bị thêm các cảm biến và thuật toán điều khiển thông minh, để rô bốt tự thích ứng với các mặt bằng dạng không xác định.

2. MÔ HÌNH HÓA ĐỘNG HỌC

Kết cấu của rô bốt nhện với các hệ tọa độ tương ứng của phần thân, các trục chuyển động được mô tả trên hình 2 với các góc chuyển động tương ứng.

a. Các thông số hình học cơ bản của rô bốt:

Kích thước cơ bản	L_1	L_2	L_3	L_4	L_5	L_6	L_7	L_8
mm	40	60	100	90	150	90	180	90

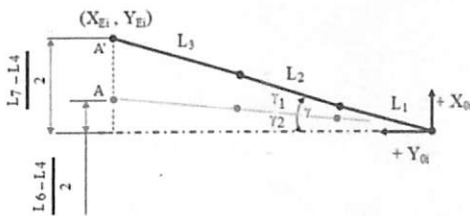


Hình 2. Kết cấu của rô bốt nhện

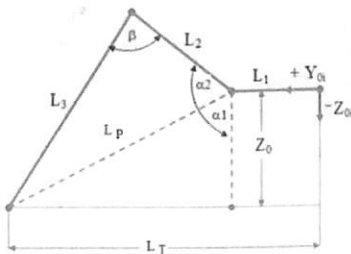
b. Bài toán động học ngược

Ta có thể triển khai động học của rô bốt nhện theo phương pháp Ma trận Denavit-Hartenberg. Tuy nhiên, do động học của loại rô bốt này khá đặc biệt, nên ta có thể dựa trên không gian hình học để xác định vị trí của các khớp khi biết vị trí điểm cuối. Mô hình động học ngược của bốn chân đều tương tự như nhau, nên ở đây chỉ giới thiệu phương trình động học ngược cho một chân.

Trên hình 3 là hình chiếu các khâu xuống mặt phẳng đáy. Trên hình 4 là hình chiếu đứng trên mặt phẳng chân rô bốt.



Hình 3. Hình chiếu đáy của chân rô bốt.



Hình 4. Hình chiếu đứng trên mặt phẳng của chân rô bốt.

Ta có các phương trình sau:

$$\frac{X_{Ei}}{Y_{Ei}} = \tan(\gamma_i) \tag{1}$$

$$L_P = \sqrt{Z_0^2 + (L_T - L_1)^2} \tag{2}$$

$$L_3^2 = L_2^2 + L_P^2 - 2L_2L_P \cos(\alpha_2) \tag{3}$$

$$L_P^2 = L_3^2 + L_2^2 - 2L_3L_2 \cos(\beta) \tag{4}$$

Từ đây, ta có thể xác định vị trí điểm cuối của chân thứ i (i=1,2,3,4) của rô bốt như sau:

$$\gamma_i = \gamma_{1i} + \gamma_{2i} = \tan^{-1}\left(\frac{X_{Ei}}{Y_{Ei}}\right) \tag{5}$$

$$\alpha_{2i} = \cos^{-1}\left(\frac{L_3^2 - L_2^2 - L_P^2}{-2L_P L_2}\right) \tag{6}$$

$$\alpha_{1i} = \cos^{-1}\left(\frac{Z_0}{L_P}\right) \tag{7}$$

$$\alpha_i = \alpha_{1i} + \alpha_{2i} \tag{8}$$

$$\beta_i = \cos^{-1}\left(\frac{L_P^2 - L_3^2 - L_2^2}{-2L_3 L_2}\right) \tag{9}$$

Phương trình động học tổng quát của chân thứ i của rô bốt từ khai triển ma trận Davide – Hartenberg có dạng:

$${}^0A_{3i}(q) = \begin{bmatrix} {}^0R_{3i}(q) & {}^0r_{3i}(q) \\ 0^T & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

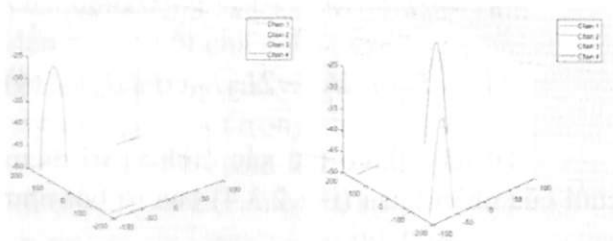
Vị trí tức thời của chân thứ i của rô bốt được xác định từ hệ phương trình:

$$\begin{aligned} f_{1i} &= X_i(q) - X_{Ei} \\ f_{2i} &= Y_i(q) - Y_{Ei} \\ f_{3i} &= Z_i(q) - Z_{Ei} \end{aligned} \tag{11}$$

Trong đó: $X_i(q)$, $Y_i(q)$, $Z_i(q)$ là tọa độ khâu cuối từ ma trận biến đổi thuần nhất:
 ${}^0A_{3i} = {}^0A_{1i} {}^1A_{2i} {}^2A_{3i}$

3. MÔ PHỎNG ĐỘNG HỌC CỦA RÔ BÓT NHỆN TRÊN MATLAB:

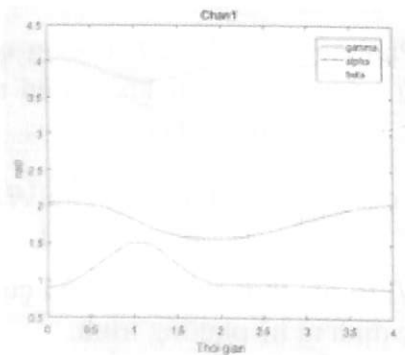
Sử dụng Matlab R2015a, xây dựng chương trình mô phỏng chuyển động tịnh tiến của các chân rô bốt nhện ta thu được kết quả như trên hình 5a,b.



Hình 5: a) Bước 1; b) Bước 2

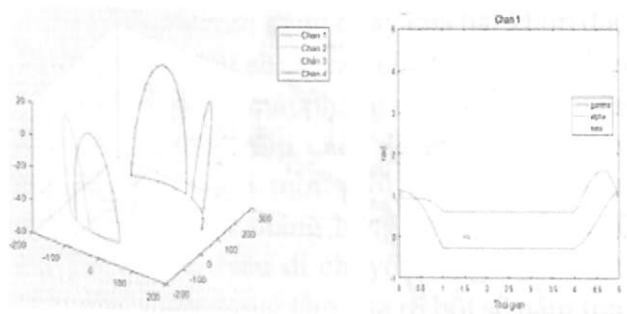
Bước 1 hai chân 1 và 3 tiến lên cùng một khẩu độ. Bước 2, hai chân còn lại tiến lên theo đến vị trí mới.

Trên hình 6 là chuyển vị góc của các khớp chân 1 theo thời gian. Như vậy, ta thấy rằng sau mỗi bước tiến, các chân rô bốt đạt đến vị trí mới, nhưng các góc của các khâu lại trở về vị trí ban đầu.



Hình 6. Chuyển vị góc của các khớp chân 1.

Trong chuyển động quay: Các chân rô bốt sẽ quay một cùng một góc $\gamma = \frac{\pi}{18}$, với trình tự quay chân 1-3 và tiếp theo là chân 2-4. Kết quả mô phỏng các chân đạt được như trên hình 7a.

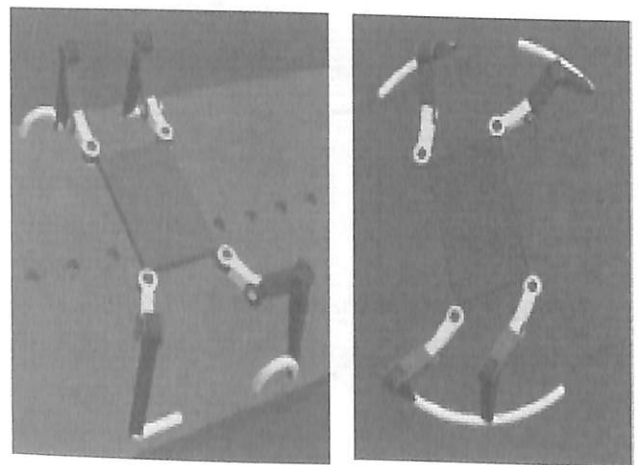


a) Vị trí điểm cuối các chân trong chuyển động quay;
b) Biến thiên của các khớp theo thời gian.

Sau mỗi góc quay các chân rô bốt cũng trở về vị trí với các góc của các khớp giống như vị trí xuất phát.

4. MÔ PHỎNG SỬ DỤNG VISUALSTUDIO

Để quan sát trực quan hoạt động của rô bốt, phần mềm Visual Studio 2013 và thư viện OpenGL đã được sử dụng để xây dựng phần mềm mô phỏng. Kết quả cho chuyển động thẳng và chuyển động quay thu được trên hình 8a,b.



Hình 8: a) Chuyển động thẳng;
b) Chuyển động quay

Kết quả mô phỏng trực quan cho thấy hoàn toàn tương đồng với thuật toán di chuyển và kết quả thu được từ mô phỏng Matlab.

5. KẾT LUẬN

Mô hình động học của rô bốt nhện 4 chân được xây dựng phù hợp với các loại rô bốt nhện bốn chân đã phát triển trên thế giới. Kết quả mô phỏng có thể dùng được trong điều khiển động học cho rô bốt nhện. Vấn đề cần được nghiên cứu tiếp theo là động lực học và điều khiển của rô bốt nhện. Đây là hai bài toán tương đối phức tạp hiện nay đối với rô bốt nhện. Trang bị thêm các cảm biến hiện đại có thể nâng cao khả năng điều khiển thông minh và tính ứng dụng cho rô bốt là một hướng đang được quan tâm trên thế giới. ❖

Ngày nhận bài: 10/11/2018

Ngày phản biện: 18/11/2018

Tài liệu tham khảo:

- [1]. T. Ohnishi, T. Asakura: *Spider – Robot 8-Leg Cooperative Walking Velocity Control Strategy Based on Environment Information*, JSME International Journal, Series C, Vol. 17, No 4, 2004, p1101 -1107.
- [2]. T. Karakurt, A. Durdu, N. Yilmaz: *Design of Six Legged Spider Robot and Evolving Walking Algorithms*, International Journal of Machine Learning and Computing, Vol.5, No. 2, April 2015, p96-100.
- [3]. S. Oak, V. Narwane: *Design, Analysis and Fabrication of Quadruped Robot with Four bar Chain Leg Mechanism*, IJISSET – International Journal of Innovative Science, Engineering & Technology, Vol. 1, Issue 6, August 2014.
- [4]. Y. Seva, A. Shapiro: *A Novel Design of a Quadruped Robot for Research Purposes*, International Journal of Advanced Robotic Systems, January 1, 2014.
- [5]. Ritesh G. Waghe, Deepak Bhojar, Sagar Ghormade: *A Real Time Design and Implementation of Walking Quadruped Robot for Environmental Monitoring*, International Research Journal of Engineering and Technology (IRJET), Volume: 05 Issue: 05 | May-2018.
- [6]. V.Arun, S.V.S.Prasad, G.Sridhar Reddy, L.Ruthwik Reddy, M.Venkatesh, M.Sai Pavan Kumar: *Arduino Quadruped Robot*, IOSR Journal of Electronics and Communication Engineering (IOSR-JECE), e-ISSN: 2278-2834, p- ISSN: 2278-8735. Volume 11, Issue 3, Ver. III (May-Jun .2016), PP 46-50.