

XÂY DỰNG BÀI TOÁN LOẠI TRỪ DỊCH CHUYỂN KHÔNG-ĐIỀU KHIỂN TRONG VÙNG ĐẶC BIỆT CỦA TAY MÁY SONG SONG

Nguyễn Minh Thạnh
Nguyễn Ngọc Lâm
Trần Công Tuấn
Nguyễn Công Mậu

ABSTRACT

The approach to singularity configurations of the parallel manipulator is represented which supposes to consider the degree of freedom of the final output link and the quantity of the kinematic subchains connecting the base and the output link. The theorem of A.P. Kotelnikov is used in order to exclude non-controlled mobility of the output link. How to avoid infinitesimal non-controlled mobility in singularity configurations is considered.

TÓM TẮT

Cách tiếp cận những cấu hình đặc biệt của tay máy song song đã được trình bày với giả thiết xem xét số bậc tự do của khâu ra (khâu tác động cuối) và số lượng các chuỗi động học phụ liên kết với nền và khâu ra. Lý thuyết A.P. Kotelnikov đã được dùng để loại trừ dịch chuyển không - điều khiển của khâu ra. Cách để tránh các dịch chuyển không - điều khiển vô cùng nhỏ trong các cấu hình đặc biệt đã được xem xét.

I. GIỚI THIỆU

Tay máy song song (ví dụ bộ Stewart [1] và nhiều dạng khác [2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11]) là loại cơ cấu có độ chính xác cao về vị trí, độ cứng vững cao và khả năng chịu tải lớn. Đầu tiên, loại tay máy này đã được phân loại bởi Hunt, Hunt đã xem xét và sắp xếp theo hệ thống dựa vào số các chuỗi động học phụ và bậc tự do của khâu ra [2]. Sau đó, sự phân loại này đã được mở rộng bởi Glazunov, Kraynev và một số tác giả khác [5]. Sự phân loại của tay máy 1 - tọa độ (là dạng của bộ Stewart) bao gồm sáu các chuỗi phụ với hai khớp cầu và một cặp động học trượt đã được chế tạo bởi Koliskor [7]. Vít thuận nghịch đã được Mohamed và Duffy dùng cho việc phân tích động học của các cơ cấu song song với sáu bậc tự do [4]. Sugimoto đã xem xét các cơ cấu vượt qua ràng buộc dùng phương pháp tích vết của các vector đơn vị của các

cặp động học [3]. Rồi cách tiếp cận tương tự khi dùng nhóm vít kín được mở rộng cho các tay máy song song [6]. Hunt đã thảo luận về các cấu hình đặc biệt của tay máy song song [2]. Nó được trình bày bằng các nhóm vít mà các cấu hình đặc biệt tạo nên dạng của các vùng liên tục [5, 6, 8, 11], các nhóm vít hướng đến vùng lân cận của cấu hình đặc biệt đã được mô tả bởi Glazunov [9] và rồi cách tiếp cận này được mở rộng cho các tay máy với cấu trúc song song trong mỗi chuỗi động học phụ [10, 11]. Trong bài viết này, chúng ta xem xét đến một số vấn đề về cấu trúc của các tay máy song song tương xứng với vùng đặc biệt của chúng.

II. PHÂN LOẠI

Khi một vật rắn (khâu ra) có thể chuyển động hoàn toàn tự do mà không hề có bất cứ ràng buộc nào thì chúng có sáu bậc tự

do. Nếu chúng ta nối vật thể này với nền bằng m chuỗi động học phụ thì bậc tự do của nó là:

$$W = 6 - \sum D_i \quad (1)$$

với W – bậc tự do của khâu ra; D_i – số các ràng buộc của chuỗi động học phụ thứ i ($i = 1 \dots n$, n – số các chuỗi động học phụ)

$$D_i = -6m_i + 5p_{5i} + 4p_{4i} \dots, \quad (2)$$

m_i - số lượng các liên kết động bố trí giữa nền và khâu ra; p_{5i} , $p_{4i} \dots$ - số các cặp động học với 1, 2... bậc tự do của chuỗi phụ thứ i .

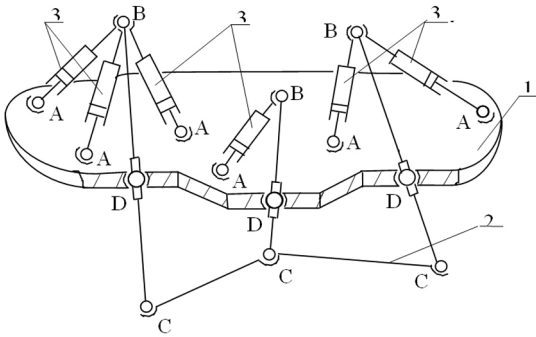
Như vậy, chúng ta có bảng động học cơ bản của các tay máy song song khi thay đổi số bậc tự do của khâu ra và số lượng các chuỗi động học phụ liên kết. Hơn nữa, chúng ta xem xét số dịch chuyển trong mỗi chuỗi động học phụ và cách tiếp cận này chúng ta trình bày ở bảng 1 (ví dụ cách ghi 644(2) với $W = 2$ và $m = 3$ có nghĩa là một tay máy song song có 2 bậc tự do, 3 chuỗi động học phụ liên kết tương ứng 6, 4 và 4 các cặp động học một - dịch chuyển và 2

phương án khác nhau của cách bố trí các truyền dẫn – cả hai được bố trí trong chuỗi phụ 6 bậc tự do hoặc một trong số chúng được bố trí chuỗi phụ 6 bậc tự do và cái còn lại ở trong bất kỳ chuỗi động học phụ 4 bậc tự do).

Khi chỉ xem xét số lượng các chuỗi động học phụ và bậc tự do, chúng ta có 57 sự sắp xếp theo hệ thống cơ bản của tay máy song song. Cũng như khi xem xét số các truyền dẫn trong mỗi chuỗi động học phụ chúng ta có 132 sự sắp xếp theo hệ thống cơ bản. Mỗi sự sắp xếp của tay máy song song tương ứng với các giản đồ động học khác nhau (một vài sự sắp xếp trong chúng có thể có các liên kết bố trí song song trong các chuỗi động học phụ liên kết). Hình 1 trình bày tay máy song song tương ứng với giản đồ cơ bản 666 ($W = 6$, $n = 3$), và mỗi chuỗi phụ bao gồm 3 truyền dẫn. Tại đó 1 – nền, 2 – khâu ra, 3 – các truyền dẫn, A_i , B_i , C_i , - ($i = 1 \dots 3$) – các điểm tương ứng trên nền, khâu ra và các truyền dẫn. Một trong ba chuỗi động học phụ bao gồm 3 truyền dẫn, chuỗi thứ hai có 2 truyền dẫn, và chuỗi thứ ba có 1 truyền dẫn.

| W (bậc tự do) | n (số các chuỗi động học) | | | | |
|--------------------|-----------------------------|----------------------|--|--------------------------------------|-------------------------|
| | 6 | 5 | 4 | 3 | 2 |
| 6 | 66666(1) | 66666(1) | 6666(2) | 666(3) | 66(3) |
| 5 | 666665(1) | 66665(2) | 6665(4) | 665(6) | 65(5) |
| 4 | 666655(1) | 66655(2) 66664(1) | 6655(5) 6664(2) | 655(6) 664(4) | 64(4) 55(3) |
| 3 | 666555(1) | 66555(2) 66654(1) | 6555(4) 6654(3) 6663(1) | 555(3) 663(2) 654(6) | 54(4) 63(3) |
| 2 | 665555(1) | 65555(2) 66554(1) | 6644(1) 6651(1) 6554(3) 5555(2) | 662(1) 653(3) 644(2) 554(4) | 53(3) 62(2) 44(2) |
| 1 | 655555(1) | 65554(1) 55555(1) | 5554(2) 6553(1) 6544(1) | 544(2) 553(2) 643(1) 652(1) | 43(2) 52(2) 61(1) |

Bảng 1: Phân loại tay máy song song



Hình 1: Tay máy song song

III. CÁCH LOẠI TRỪ DỊCH CHUYỂN KHÔNG-ĐIỀU KHIỂN VÔ CÙNG NHỎ

Để loại trừ dịch chuyển không - điều khiển vô cùng nhỏ của khâu ra, chúng ta phải xem xét cách sắp đặt các cặp không - truyền dẫn của tay máy song song. Chúng ta dùng lý thuyết A.P. Kotelnikov mà chỉ có các nhóm vít kín diễn tả các nhóm dịch chuyển. Một cách tương ứng, tất cả các công thức cấu trúc được liên kết với các nhóm vít kín. Có 8 nhóm vít kín: nhóm một - thành phần (nó có thể biểu diễn như một cặp động học 1 - dịch chuyển), nhóm hai - thành phần (thể hiện bởi hai cặp động học trượt), nhóm ba - thành phần (thể hiện bởi các cơ cấu cầu, các cơ cấu không gian chỉ với các cặp trượt, và các cơ cấu phẳng hoặc các cơ cấu với các cặp động học vít có cùng bước và hướng), nhóm bốn - thành phần (thể hiện bởi ba không - song song của một cặp trượt phẳng và một cặp quay vuông góc với một mặt phẳng), và nhóm sáu - thành phần (thể hiện tất cả các dịch chuyển không gian). Các nhóm kín bao gồm tất cả các tích vít của các thành phần chính của các nhóm này. Công thức cấu trúc của chính nó phù hợp với mỗi nhóm.

Chúng ta hãy xem xét nhóm 4 - thành phần bởi vì nó được dùng trong các cơ cấu thường không thuộc các nhóm kia. Hình 2 trình bày cơ cấu song song với ba bậc tự do, nó bao gồm ba chuỗi động học liên kết với nền và khâu ra, mỗi chuỗi có một cặp cho phép quay xung quanh các trục vuông

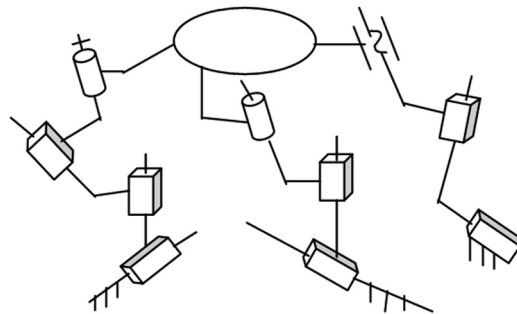
góc với cùng mặt phẳng (cặp xoay, cặp trụ và cặp vít tương ứng) và ba hoặc hai cặp trượt. Các cơ cấu tương tự được mô tả bởi công thức cấu trúc:

$$W = 4 - D_i \quad (3)$$

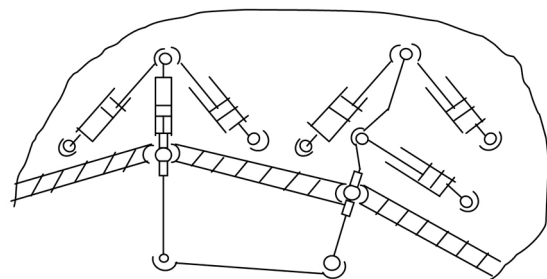
với W - bậc tự do của khâu ra, D_i - số các ràng buộc của chuỗi động học phụ thứ i ($i = 1 \dots n$, n - số các chuỗi động học phụ)

$$D_i = -4m_i + 3p_{5i} + 2p_{4i} \dots, \quad (4)$$

m_i - số lượng các liên kết động bố trí giữa nền và khâu ra, p_{5i} , $p_{4i} \dots$ - số các cặp động học với 1, 2... bậc tự do của chuỗi thứ i (Các cơ cấu này không tương ứng với việc phân loại ở bảng 1).



Hình 2: Cơ cấu song song tương ứng với nhóm vít 4 - thành phần



Hình 3: Tay máy song song với hai chuỗi động học liên kết

Như vậy, để loại trừ dịch chuyển không - điều khiển chúng ta sắp đặt các cặp động học không - truyền dẫn sao cho không xác định quay vít bằng việc mô tả các nhóm vít kín trên. Ví dụ, tay máy song song được trình bày ở hình 3, chúng bao gồm hai chuỗi động học phụ liên kết và tương ứng với giản đồ cơ bản 66 ($W = 6$, $n = 2$). Mỗi

chuỗi phụ có 3 truyền dẫn. Đề loại trừ dịch chuyển không - điều khiển vô cùng nhỏ, một trong hai cặp cầu được bố trí giữa khâu ra và các chuỗi phụ liên kết là 2 bậc tự do.

IV. VÙNG ĐẶC BIỆT CỦA TAY MÁY SONG SONG

Tay máy song song trong tư thế cấu hình đặc biệt, chúng có dịch chuyển không - điều khiển vô cùng nhỏ, vì thế, chúng ta xem xét các cấu hình này như một sự thay đổi cấu trúc của chúng. Thông thường, nhóm sáu - thành phần của xoắn vít đơn vị của thông số zero $R_i (r_i, r_i^0) (i=1,6)$ tác động trên khâu ra của tay máy cùng loại. Định thức của các tọa độ vít của các xoắn vít này là:

$$\Delta = \begin{vmatrix} r_{1x} & r_{1y} & r_{1z} & r_{1x}^0 & r_{1y}^0 & r_{1z}^0 \\ \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot & \cdot \\ r_{6x} & r_{6y} & r_{6z} & r_{6x}^0 & r_{6y}^0 & r_{6z}^0 \end{vmatrix} \quad (5)$$

Thông thường, trục xoắn vít tương ứng với truyền dẫn thứ i được bố trí trong một mặt phẳng $(A_i B_i C_i)$, xuyên qua tâm khớp C_j và là hướng vuông góc với dịch chuyển có thể của nó. Cho cơ cấu như trong hình 1, những thành phần của xoắn vít R_i có thể được tìm thấy như sau:

$$r_i = 1/p_i \left\{ a_i + \left[s_j f_j - (1/f_j + 1/s_j)(a_i \cdot b_j) / d_j \right] b_j \right\} \quad (6)$$

$$r_i^0 = r_{c_j} \times r_i$$

Với p_i - vector định rõ trục xoắn vít; a_i - vector từ điểm A_i đến điểm C_j ; b_i - vector từ điểm D_j đến điểm C_j ; - vector bán kính của điểm C_j ; d_j - tọa độ suy rộng.

Tại cấu hình đặc biệt $\Delta = 0$, chúng ta phải tìm gradient - vít giảm nhanh nhất từ cấu hình đặc biệt của tay máy và nhóm năm - thành phần của quay vít "trục giao" đến nó và hướng đến vùng lân cận vô cùng nhỏ của cấu hình đặc biệt [8, 9, 10, 11]. Để xác định chúng, việc xem xét một số gia của định thức Δ được chú ý như $d\Delta$ thích hợp với 6 thành phần dịch chuyển của

khâu ra là cần thiết. Số gia của tọa độ xoắn vít có thể được thể hiện như tích của tọa độ vít của quay vít với một vài hệ số vô hướng phụ thuộc trên vị trí duy nhất của cơ cấu. Ví dụ, trong trường hợp dịch chuyển của khâu ra của tay máy như hình 1 dọc theo quay vít $\Omega^x (dx, 0, 0, 0, 0, 0)$ chúng ta có phương trình:

$$dr_{ix}^x = dx (1/p_i) \left\{ z_{c_j} y_{D_j} - y_{c_j} z_{D_j} / d_j (f_j/d_j + (a_i \cdot b_j)(d_j f_j) (1/d_j - 1/f_j)) + z_{c_j} (y_{A_i} + y_{D_j}) - y_{c_j} (z_{A_i} + z_{D_j}) / d_j (1/d_j - 1/f_j) b_x \right\} \quad (7)$$

với f_j - chiều dài của khâu. Trong những tính toán này, cần thiết chúng ta có thể loại bỏ đi số vô cùng nhỏ của bậc thứ hai của phương trình. Như vậy, dịch chuyển dọc quay vít này chúng ta có thể viết lại:

$$dr_{ix}^x = dx \cdot K_{ix}^x, dr_{iy}^x = dx \cdot K_{iy}^x, \dots, \quad (8)$$

$$dr_{iz}^{0x} = dx \cdot K_{iz}^{0x} \quad (i=1..6)$$

với $K_{ix}^x, \dots, K_{iz}^{0x}$ - là những hệ số phụ thuộc vào vị trí của tay máy; $dr_{ix}^x, dr_{iy}^x, \dots, dr_{iz}^{0x}$ - là những số gia của tọa độ xoắn vít phù hợp với dịch chuyển dọc theo quay vít Ω^x . Một số gia của định thức phù hợp với dịch chuyển dọc một quay vít $\Omega(dx, dh, dz, dx^0, dh^0, dz^0)$ phụ thuộc tuyến tính trên tọa độ vít của quay vít này là:

$$d\Delta = dx L^x + dh L^h + dz L^z + dx^0 L^{x^0} + dh^0 L^{h^0} + dz^0 L^{z^0} \quad (9)$$

hệ số L^x, L^h, \dots, L^{z^0} là những đạo hàm riêng $\partial\Delta/\partial x, \partial\Delta/\partial h, \partial\Delta/\partial z, \partial\Delta/\partial x^0, \partial\Delta/\partial h^0, \partial\Delta/\partial z^0$ và chúng biểu diễn một gradient của một hàm vô hướng Δ của những argument x, h, z, x^0, h^0, z^0 . Như vậy, để có thể tránh cấu hình đặc biệt một cách nhanh nhất, chúng ta cần phải cung cấp cho khâu ra một dịch chuyển nhỏ dọc theo quay vít, mà những tọa độ vít có mối tương quan giữa các hệ số như đã đề cập ở trên. Nhóm năm - thành phần của những quay vít "trục giao" đến gradient - quay vít hướng đến vùng lân cận của các cấu hình đặc biệt và như vậy chúng ta có thể tìm thấy 5 - hướng vùng đặc biệt của tay máy song song [8, 9, 10, 11]. Để loại trừ dịch chuyển không - điều khiển

trong các cấu hình gần đặc biệt, chúng ta có thể tìm gradient - vít và hai mặt phẳng vuông góc với vector và moment tương ứng của nó. Sau đó, chúng ta có thể tìm các thành phần của quay vít mơ ước làm lệch đi một cách tối thiểu quỹ đạo [8, 9, 10, 11]. Chúng ta cũng có thể cung cấp cho tay máy một truyền dẫn phụ. Ví dụ, chúng ta có thể bố trí một truyền dẫn quay tại điểm A_i hoặc D_i (hình 1).

V. KẾT LUẬN

Như vậy, cách tiếp cận những cấu hình đặc biệt của tay máy song song được trình bày trong bài viết này với giả thiết xem xét số bậc tự do của khâu ra và số lượng các chuỗi động học phụ liên kết với nền và khâu ra. Lý thuyết A.P. Kotelnikov được dùng trong nhóm vít kín duy nhất biểu diễn những nhóm dịch chuyển để loại trừ dịch chuyển không - điều khiển của khâu ra. Ngoài ra, để tránh các dịch chuyển không - điều khiển vô cùng nhỏ trong các cấu hình đặc biệt (mà có thể tạo ra dạng của các vùng đặc biệt) chúng ta phải cung cấp cho tay máy một truyền dẫn phụ hoặc quỹ đạo phẳng hướng ra ngoài các cấu hình đặc biệt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Stewart D., A Platform with Six Degrees of Freedom. Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers., London, Vol. 180, Part 1, No 15, 1965, p. 371-386.

[2] Hunt K., Structural Kinematics of In-Parallels-Actuated Robot Arms, ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 105, 1983, pp. 705-712.

[3] Sugimoto K., Existence Criteria for Overconstrained Mechanisms Design, ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 17, No 3, 1990, pp. 295-298.

[4] Mohamed M., Duffy J., A Direct Determination of the Instantaneous Kinematics of Fully Parallel Robot Manipulators, ASME Journal of Mechanisms, Transmissions, and Automation in Design, Vol. 107, 1985, pp. 226-229.

[5] Glazunov V., Koliskor A., Kraynev A., Model B., Classification Principles and Analyses Methods for Parallel Structure Spatial Mechanisms, Journal of Machinery Manufacture and Reliability, No. 1, 1990, pp. 30-37.

[6] Glazunov V., Kraynev A., Koliskor A., Spatial Parallel Structure Mechanisms, Nauka, Moscow Russia, 1991, 96 p. (in Rus.)

[7] Koliskor A., Development and Investigation of the Industrial Robots on the basis of l-coordinates, Journal Machines and Instruments, No 12, 1982, pp.21-24. (in Rus.)

[8] Kraynev A., Glazunov V., Design and Analysis of Spatial Mechanisms with Parallel Structure, Proceeding, VIII World Congress on TMM, Prague, Czechoslovakia, 1991, pp.105-108.

[9] Glazunov V., Rashoyan G., The Directions of Motions of l-coordinate Manipulators from Special Configurations, Journal of Machinery, No 7, 1990, pp.9-12 (in Rus.).

[10] Glazunov V., Kraynev A., Rashoyan G., Trifonova A., Singular Zones of Parallel Structure Mechanisms, Proceeding, X World Congress on TMM, Oulu, Finland, 1999, pp.2710-2715.

[11] Грунтович Р.М., Глазунов В.А., Войтков А.Н., Нгуен Минь Тхань, К анализу особых положений манипуляторов параллельной структуры. / XVII Межд. конф. мол.уч. по совр. пр. маш. М. ИМАШ РАН. 2005. С. 77.