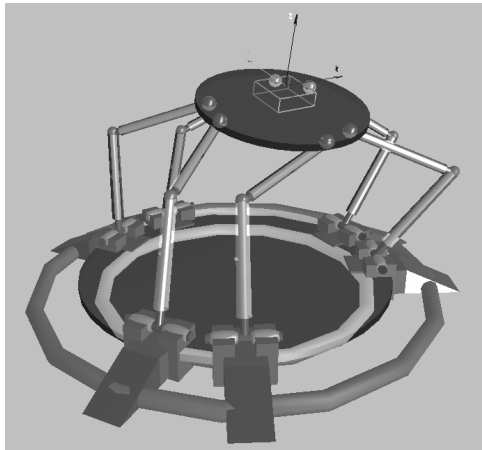


GIẢI THUẬT VÀ CHƯƠNG TRÌNH TÍNH ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT SONG SONG

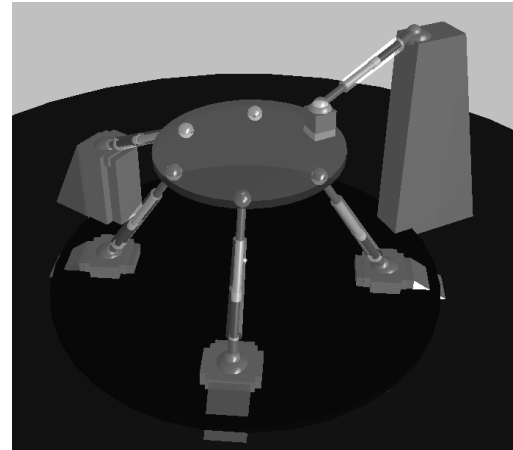
PHAN BÙI KHÔI

1. GIỚI THIỆU

Trên hình 1 chỉ ra một vài mô hình robot song song. Cấu trúc chung của robot song song thường gồm một khâu động (bàn máy di động) được nối với giá cố định bởi một số mạch động học kín (thường gọi là chân). Bàn máy động thường là bộ phận mang đối tượng công nghệ hoặc dụng cụ gia công. Bàn máy động được dẫn động bởi động cơ đặt tại các khớp trên các chân của robot, thường là tại khớp liên kết giữa chân và giá cố định. Trên hình 1.a, động cơ dẫn động truyền chuyển động quay từ trục động cơ sang các khâu của robot, hình 1.b, việc truyền động có thể được thực hiện bằng động cơ, hoặc truyền động thủy lực, khí nén làm thay đổi chiều dài các chân.



Hình 1a



Hình 1b

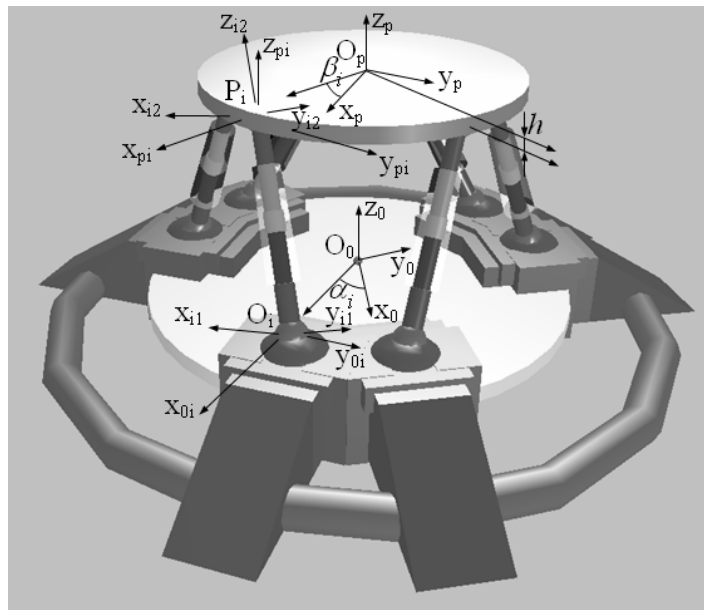
Bài toán động học xác lập mối quan hệ giữa các đại lượng đặc trưng cho chuyển động của bàn máy và các đại lượng đặc trưng cho sự thay đổi của các biến khớp (góc quay hoặc độ dài chân và các đạo hàm của chúng). Để nhận được chuyển động của bàn máy động theo quy luật mong muốn, cần xác định được quy luật thay đổi của các biến khớp, đây còn được gọi là bài toán động học ngược. Bài toán động học thuận xác định trạng thái của bàn máy động ứng với các giá trị của các biến khớp.

Bài toán động lực học xác định mối quan hệ giữa chuyển động và lực tác dụng lên các khâu của robot từ các động cơ dẫn động, các lực công nghệ, trọng lực,... tạo tiền đề cho việc điều khiển chuyển động của robot.

Do cấu trúc mạch kín phức tạp của robot song song, việc khảo sát, tính toán động học, động lực học là khá khó khăn. Bài báo này trình bày phương pháp khảo sát dựa trên sự khai thác công cụ phần mềm và các khả năng của máy tính để thực hiện khối lượng tính toán lớn.

2. ĐỘNG HỌC ROBOT SONG SONG

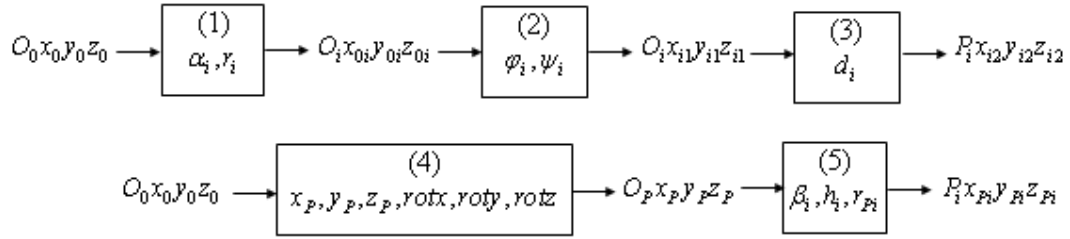
Mô hình robot song song được chỉ ra trên hình 2 có sáu chân, sáu bậc tự do. Vị trí các chân được bố trí đối xứng và đều cùng bán kính trên bàn máy động và trên giá cố định. Cấu trúc này là phổ biến đối với robot song song vì làm tăng tính cứng vững, tối ưu các đặc tính động lực. Tuy nhiên các giải thuật và chương trình được trình bày ở đây cho phép tính toán đối với cấu trúc bàn máy tùy ý và sự phân bố bất kỳ của các chân của robot. Ví dụ, trên hình 1.b là mô hình robot phân bố vị trí chân tùy ý.



Hình 2.

2.1. Thiết lập phương trình động học

Trên hình 2 chỉ ra phương pháp xây dựng các hệ tọa độ khâu. Gắn vào bàn động robot hệ tọa độ động $O_p x_p y_p z_p$ sao cho z_p là trục pháp tuyến. Hệ tọa độ $O_0 x_0 y_0 z_0$ gắn vào giá cố định, z_0 - trục pháp tuyến, x_0, y_0 nằm trong mặt phẳng bàn máy cố định. Kí hiệu các khớp nối chân robot với giá cố định là $01, 02, \dots, 0i, \dots$, với bàn máy động là $P1, P2, \dots, Pi, \dots$. Để thiết lập phương trình ràng buộc động học ta xét dây chuyền động học trên từng chân. Gắn vào các khâu $i1, i2$ của chân thứ i các hệ tọa độ lần lượt là $O_i x_{i1} y_{i1} z_{i1}$, $P_i x_{i2} y_{i2} z_{i2}$ tại các khớp $0i$ và Pi . Gọi khoảng cách từ các khớp $0i$, Pi đến tâm bàn máy tương ứng là r_{0i} , r_{pi} . Phép dịch chuyển hệ tọa độ $O_0 x_0 y_0 z_0$ đến vị trí khớp Pi như sau:



Hình 3. Phép dịch chuyển các hệ tọa độ

- (1) Quay hệ tọa độ cơ sở $O_0x_0y_0z_0$ quanh trục z_0 một góc α_i , tịnh tiến theo trục x_{0i} một khoảng r_i .
- (2) Quay $O_ix_{0i}y_{0i}z_{0i}$ quanh các trục x_{0i}, y_{0i} các góc cardan φ_i, ψ_i .
- (3) Tịnh tiến $O_ix_{i1}y_{i1}z_{i1}$ dọc trục z_{i1} một khoảng theo biết khớp d_i .
- (4) Thực hiện 3 phép quay cơ bản theo 3 góc cardan và 3 phép tịnh tiến cơ bản theo 3 trục tọa độ đối với hệ tọa độ cơ sở $O_0x_0y_0z_0$.
- (5) Quay hệ tọa độ $O_px_py_pz_p$ quanh trục z_p một góc β_i , tịnh tiến theo z_p một khoảng h_i bằng khoảng cách theo chiều trục z_p giữa tâm bàn máy động và khớp P_i , tịnh tiến theo trục x_{pi} một khoảng r_{pi} .

Đối với robot cấu trúc chuỗi, mạch động học tạo thành bởi các khâu nối với nhau bởi các khớp trượt và quay, thì các phép dịch chuyển hệ tọa độ được thực hiện theo quy tắc Denavit-Hartenberg. Nhờ vậy, việc lập trình tính toán tự động thuận lợi.

Với robot song song, do các khớp có cấu trúc phức tạp hơn nên các phép chuyển hệ tọa độ (1), (2),... như trên được thực hiện bởi các phép quay theo các góc cardan, hoặc các góc euler,... và các phép tịnh tiến cơ bản. Trong tổng quát, có tất cả 6 phép dịch chuyển để đưa một hệ tọa độ về vị trí của hệ tọa độ khác. Khi đó cần có phương pháp biểu diễn các phép biến đổi tọa độ, giúp cho việc lập trình tính toán tự động.

Trong [1] đã dẫn ra phương pháp vector tọa độ suy rộng gồm 12 phần tử, biểu diễn như sau:

$${}^{i-1}R_i = [x, y, z, \text{rotx}, \text{roty}, \text{rotz}, 1, 2, 4, 6, 3, 5] \quad (1)$$

ở đây kí hiệu ${}^{i-1}R_i$ mô tả phép chuyển hệ tọa độ từ vị trí i về vị trí $i-1$. Sáu phần tử đầu trong vector (1) - giá trị các phép dịch chuyển, có thể nhận giá trị không. Sáu phần tử tiếp theo nhận các giá trị 1, 2,...6 xác định một cách tương ứng thứ tự thực hiện các phép chuyển tọa độ nói trên. Quá trình xây dựng chương trình, giá trị các phần tử của các vector dạng (1) sẽ được mã hóa.

Theo mạch động học thứ nhất, ma trận xác định trạng thái của các hệ tọa độ $P_ix_{i2}y_{i2}z_{i2}$, $P_ix_{pi}y_{pi}z_{pi}$ trong hệ cơ sở $O_0x_0y_0z_0$ có dạng:

$${}^0A_{i2} = {}^0A_{0i} {}^{0i}A_{i1} {}^{i1}A_{i2} = \begin{bmatrix} c_{i11} & c_{i12} & c_{i13} & x_{i2} \\ c_{i21} & c_{i22} & c_{i23} & y_{i2} \\ c_{i31} & c_{i32} & c_{i33} & z_{i2} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

Theo mạch động học thứ hai:

$${}^0A_{P_i} = {}^0A_P {}^P A_{P_i} = \begin{bmatrix} c_{P_i11} & c_{P_i12} & c_{P_i13} & x_{P_i} \\ c_{P_i21} & c_{P_i22} & c_{P_i23} & y_{P_i} \\ c_{P_i31} & c_{P_i32} & c_{P_i33} & z_{P_i} \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (3)$$

Các biểu thức (2), (3) biểu diễn dạng ma trận truyền mô tả vị trí và hướng của một khâu trong hệ tọa độ cơ sở.

Từ hình 3 cho thấy trên vòng động học của mỗi chân thứ i có sự trùng nhau của gốc các hệ tọa độ $P_i x_{i2} y_{i2} z_{i2}$ và $P_i x_{P_i} y_{P_i} z_{P_i}$. Như vậy so sánh hai ma trận ${}^0A_{i2}$, ${}^0A_{P_i}$ từ (2), (3) ta nhận được các phương trình ràng buộc từ sự đồng nhất về vị trí:

$$\begin{cases} f_1 = x_{i2} - x_{P_i} = 0 \\ f_2 = y_{i2} - y_{P_i} = 0 \\ f_3 = z_{i2} - z_{P_i} = 0 \end{cases} \quad (4)$$

Như vậy, ứng với mỗi vòng động học của một chân robot song song, có thể rút ra 3 phương trình ràng buộc dạng (4). Các biến khớp trong mỗi vòng động học là φ_i, ψ_i, d_i , $i = 1 \div 6$. Robot hình 2 có sáu chân, do vậy có 18 phương trình động học nhận được ứng với 18 biến khớp và 6 tham số về trạng thái bàn máy động:

$$f(X) = 0 \quad (5)$$

$$f = [f_1, f_2, \dots, f_{18}] \quad (6)$$

$$X = [d_1, \dots, d_6, \varphi_1, \dots, \varphi_6, \psi_1, \dots, \psi_6, x, y, z, \text{rot}x, \text{rot}y, \text{rot}z] \quad (7)$$

2.2. Khảo sát các bài toán động học

Từ hệ phương trình động học (5) dẫn ra việc khảo sát các bài toán động học thuận và ngược của robot song song.

Bài toán thuận động học: Quy luật chuyển động của các chân robot đã xác định, $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6$ là hàm theo t đã biết. Khi đó các phương trình (5) được viết trong dạng:

$$f_w(p, q) = 0 \quad (8)$$

$$p = [\varphi_1, \dots, \varphi_6, \psi_1, \dots, \psi_6, x, y, z, \text{rot}x, \text{rot}y, \text{rot}z] \quad (9)$$

$$q = [d_1, d_2, d_3, d_4, d_5, d_6]. \quad (10)$$

Việc giải hệ 18 phương trình đại số phi tuyến (8) với 18 ẩn số (9) được thực hiện nhờ chương trình được xây dựng bằng ngôn ngữ lập trình trong MAPLE.

Bài toán ngược động học: Cần đảm bảo chuyển động của bàn máy động theo quy luật xác định. Khi đó cần điều khiển chuyển động của các khớp dẫn động đặt tại các chân robot song song. Nhận thấy rằng các hệ phương trình dạng (4) gồm 3 phương trình với 3 ẩn số φ_i, ψ_i, d_i là độc lập. Do vậy bài toán ngược động học robot song song được thực hiện khá thuận lợi bởi lần lượt giải 6 hệ 3 phương trình độc lập.

2.3. Bài toán vận tốc, gia tốc

Bài toán thuận về vận tốc: Đạo hàm các phương trình (8) theo thời gian ta được:

$$\sum_{i=1}^{18} \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial p_i} \dot{p}_i = -\sum_{j=1}^6 \frac{\partial f_{\alpha}}{\partial q_j} \dot{q}_j, \quad \alpha = \overline{1,18}. \quad (11)$$

Viết (11) dạng sau:

$$J_p \dot{p} = J_q \dot{q} \quad (12)$$

$$J_p = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial p_1} & \frac{\partial f_1}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial p_{18}} \\ \frac{\partial f_2}{\partial p_1} & \frac{\partial f_2}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial p_{18}} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{18}}{\partial p_1} & \frac{\partial f_{18}}{\partial p_2} & \dots & \frac{\partial f_{18}}{\partial p_{18}} \end{bmatrix}, \quad J_q = \begin{bmatrix} \frac{\partial f_1}{\partial q_1} & \frac{\partial f_1}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial f_1}{\partial q_6} \\ \frac{\partial f_2}{\partial q_1} & \frac{\partial f_2}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial f_2}{\partial q_6} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ \frac{\partial f_{18}}{\partial q_1} & \frac{\partial f_{18}}{\partial q_2} & \dots & \frac{\partial f_{18}}{\partial q_6} \end{bmatrix} \quad (13)$$

Bài toán thuận về gia tốc: Đạo hàm (11) theo thời gian:

$$\sum_{j=1}^{18} \sum_{i=1}^{18} \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial p_i \partial p_j} \dot{p}_i \dot{p}_j + \sum_{i=1}^{18} \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial p_i^2} \ddot{p}_i = -\sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^6 \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial q_k \partial q_l} \dot{q}_k \dot{q}_l + \sum_{k=1}^6 \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial q_k^2} \ddot{q}_k, \quad (14)$$

$$\alpha = \overline{1,18}$$

Hệ thức (14) viết lại trong dạng ma trận:

$$J_p \ddot{p} = g \quad (15)$$

$$g = [g_1, g_2, \dots, g_{18}] \quad (16)$$

$$g_{\alpha} = -\sum_{j=1}^{18} \sum_{i=1}^{18} \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial p_i \partial p_j} \dot{p}_i \dot{p}_j - \sum_{k=1}^6 \sum_{l=1}^6 \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial q_k \partial q_l} \dot{q}_k \dot{q}_l + \sum_{k=1}^6 \frac{\partial^2 f_{\alpha}}{\partial q_k^2} \ddot{q}_k, \quad \alpha = \overline{1,18} \quad (17)$$

Các vận tốc \dot{p} , gia tốc \ddot{p} khi giải bài toán thuận được tính theo (12), (15).

Bài toán ngược về vận tốc, gia tốc: Được thực hiện tương tự như khi giải bài toán thuận song đơn giản hơn bởi các hệ chỉ 3 phương trình độc lập.

3. KHẢO SÁT ĐỘNG LỰC HỌC ROBOT SONG SONG

Khảo sát động lực học robot song song có cấu trúc như hình 2. Các tọa độ suy rộng được khảo sát trong bài toán động lực học gồm 18 biến khớp $\varphi_i, \psi_i, d_i, i = \overline{1,6}$; 6 tham số trạng thái bàn máy động $x, y, z, \text{rot}x, \text{rot}y, \text{rot}z$ và các đạo hàm cấp 1, cấp 2 của chúng.

3.1. Hệ phương trình động lực học của robot song song

Áp dụng nguyên lý phù hợp, trạng thái động lực học của cơ hệ được biểu diễn bởi hệ phương trình liên kết dạng (5) và các phương trình vi phân chuyển động:

$$\begin{cases} M(X)\dot{X} = \psi(X, \dot{X}) + Q + U^* + U \\ f(X) = 0 \end{cases} \quad (18)$$

Ở đây \dot{X}, \ddot{X} là đạo hàm bậc nhất và bậc hai theo thời gian của X (7).

$$\dot{X} = [\dot{d}_1, \dots, \dot{d}_6, \dot{\phi}_1, \dots, \dot{\phi}_6, \dot{\psi}_1, \dots, \dot{\psi}_6, \dot{x}, \dot{y}, \dot{z}, \dot{r}ötx, \dot{r}öty, \dot{r}ötz] \quad (19)$$

$$M(X) = \begin{bmatrix} m_{1,1} & m_{1,2} & \dots & m_{1,24} \\ m_{2,1} & m_{2,2} & \dots & m_{2,24} \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ m_{24,1} & m_{24,2} & \dots & m_{24,24} \end{bmatrix} \text{ là ma trận quán tính.} \quad (20)$$

Các phần tử ψ_j là hàm của các tọa độ và vận tốc suy rộng X, \dot{X} :

$$\psi_j = -\sum_{k,l=1}^n (k,l,j) \dot{X}_k \dot{X}_l - \frac{\partial \Pi}{\partial X_j}, \quad (k,l,j) = \frac{1}{2} \left(\frac{\partial m_{kj}}{\partial X_l} - \frac{\partial m_{lj}}{\partial X_k} - \frac{\partial m_{kl}}{\partial X_j} \right), \quad (21)$$

Π - thế năng của cơ hệ.

$$U = [U_1, U_2, \dots, U_6, 0, 0, 0, \dots, 0, 0, 0], \quad (22)$$

là vector 1x24 mà các phần tử là các lực điều khiển từ các dẫn động tại các chân robot.

$$Q = [Q_1, Q_2, Q_3, \dots, Q_{22}, Q_{23}, Q_{24}], \quad (23)$$

với Q_i - là lực suy rộng của các lực không bảo toàn.

$$U = [U_1^*, U_2^*, U_3^*, \dots, U_{22}^*, U_{23}^*, U_{24}^*], \quad (24)$$

là vector 1x24 mà các phần tử là các lực suy rộng của các lực liên kết.

3.2. Tính các đại lượng động lực

Việc giải hệ phương trình động lực học được thực hiện khi tính được các đại lượng động lực trong hệ (18).

Tính ma trận quán tính $M(X)$: Ma trận quán tính $M(X)$ được xác định từ việc tính động năng của cơ hệ. Biểu diễn tổng quát của ma trận quán tính dưới dạng sau:

$$M(X) = \sum_{i=1}^n [J_{Ti}^T m_i J_{Ti} + J_{Ri}^T I_i' J_{Ri}], \quad (25)$$

với n - số khâu động của robot, m_i - khối lượng khâu thứ i .

$$\mathbf{J}_{Ti} = \begin{bmatrix} \frac{\partial r_{ix}}{\partial X_1} & \frac{\partial r_{ix}}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial r_{ix}}{\partial X_{24}} \\ \frac{\partial r_{iy}}{\partial X_1} & \frac{\partial r_{iy}}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial r_{iy}}{\partial X_{24}} \\ \frac{\partial r_{iz}}{\partial X_1} & \frac{\partial r_{iz}}{\partial X_2} & \dots & \frac{\partial r_{iz}}{\partial X_{24}} \end{bmatrix}, \quad \mathbf{J}_{Ri} = \begin{bmatrix} \frac{\partial \omega'_{ix}}{\partial \dot{X}_1} & \frac{\partial \omega'_{ix}}{\partial \dot{X}_2} & \dots & \frac{\partial \omega'_{ix}}{\partial \dot{X}_{24}} \\ \frac{\partial \omega'_{iy}}{\partial \dot{X}_1} & \frac{\partial \omega'_{iy}}{\partial \dot{X}_2} & \dots & \frac{\partial \omega'_{iy}}{\partial \dot{X}_{24}} \\ \frac{\partial \omega'_{iz}}{\partial \dot{X}_1} & \frac{\partial \omega'_{iz}}{\partial \dot{X}_2} & \dots & \frac{\partial \omega'_{iz}}{\partial \dot{X}_{24}} \end{bmatrix} \quad (26)$$

Ma trận ten xơ quán tính của khâu i

$$\mathbf{I}'_i = \begin{bmatrix} I_{ixx} & I_{ixy} & I_{ixz} \\ I_{iyx} & I_{iyy} & I_{iyz} \\ I_{izx} & I_{izy} & I_{izz} \end{bmatrix} - \text{đối với hệ tọa độ động gắn vào khâu này.} \quad (27)$$

ω'_{ix} , ω'_{iy} , ω'_{iz} - là hình chiếu vận tốc góc khâu i trong hệ tọa độ động của khâu, được xác định:

$$\tilde{\omega}'_i(q, \dot{q}) = \mathbf{C}_i^T \dot{\mathbf{C}}_i = \begin{bmatrix} 0 & -\omega'_{iz} & \omega'_{iy} \\ \omega'_{iz} & 0 & -\omega'_{ix} \\ -\omega'_{iy} & \omega'_{ix} & 0 \end{bmatrix}, \quad (28)$$

ở đây, $\mathbf{C}_i, \mathbf{C}_i^T, \dot{\mathbf{C}}_i$ - lần lượt tương ứng là ma trận cosin chỉ hướng của khâu i , ma trận chuyển vị và đạo hàm của nó.

Ma trận ten xơ quan tính (27) có thể xác định được từ phần mềm thiết kế. Các ma trận Jacobi (26), vận tốc góc khâu (28) được xác định từ bài toán động học. Từ các ma trận truyền mô tả trạng thái của các khâu có thể xác định được các ma trận cosin chỉ hướng của nó và vị trí khối tâm của các khâu trong hệ tọa độ cơ sở.

3.3. Các bài toán động lực học robot song song

Sau khi tính xong biểu thức của các đại lượng động lực, hệ phương trình động lực học (18) trở nên xác định. Các bài toán động lực học thuận, ngược sẽ được giải tùy thuộc vào các yêu cầu điều khiển robot.

Bài toán động lực học thuận: Trên hình 2, robot song song sáu chân với các dẫn động đặt tại các chân để làm thay đổi chiều dài chân. Bài toán động lực học thuận được giải khi biết các lực dẫn động U đặt tại các khớp trượt của các chân. Khi đó cần xác định chuyển động của robot song song: vị trí, vận tốc, gia tốc góc các khâu. Đặc biệt cần xác định vị trí tâm bàn máy động và hướng của nó, ...

Đạo hàm hai lần theo t các phương trình đại số phi tuyến trong (18):

$$\begin{cases} M(X)\ddot{X} = \psi(X, \dot{X}) + Q + U^* + U \\ G(X)\ddot{X} = g(X, \dot{X}) \end{cases} \quad (29)$$

Giả thiết về liên kết trong đó các phản lực liên kết chưa biết có dạng pháp tuyến với các bề mặt tiếp xúc. Từ đó cho phép sử dụng phương pháp nhân tử để biểu diễn các lực liên kết trong dạng:

$$U^* = -G^T \lambda, \quad (30)$$

do vậy:

$$\begin{cases} M(X)\ddot{X} = \psi(X, \dot{X}) + Q - G^T(X)\lambda + U \\ G(X)\ddot{X} = g(X, \dot{X}) \end{cases} \quad (31)$$

$$\begin{bmatrix} M(X) & G^T(X) \\ G(X) & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \ddot{X} \\ \lambda \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \psi(X, \dot{X}) + Q + U \\ g(X, \dot{X}) \end{bmatrix}. \quad (32)$$

Hệ phương trình vi phân (32) với 42 phương trình, các ẩn số là X - gồm 24 phần tử cùng với các đạo hàm của chúng và λ - gồm 18 phần tử. Việc giải hệ phương trình này được thực hiện nhờ chương trình được lập bằng ngôn ngữ MAPLE.

Bài toán động lực học ngược: Tính toán động lực học ngược là nhiệm vụ quan trọng bậc nhất trong bài toán động lực học và điều khiển chuyển động. Trường hợp quy luật chuyển động của bàn máy động của robot song song trên hình 2 đã xác định, khi đó các đại lượng $x, y, z, \text{rot}x, \text{rot}y, \text{rot}z$, cùng với các đạo hàm của chúng đã xác định. Bài toán động lực học ngược sẽ được giải cho phép xác định các đại lượng trong X , cùng các đạo hàm của chúng. Bài toán động lực học được khảo sát với các ẩn số: các lực điều khiển U (6 ẩn), các nhân tử liên kết λ (18 ẩn số).

Viết lại biểu thức $U^* = G^{*T} \lambda$, Các phương trình vi phân trong (18) có dạng:

$$M(X)\ddot{X} - \psi(X, \dot{X}) - Q = G^{*T}(X)\lambda + U, \quad (33)$$

nhu thế, hệ phương trình mô tả trạng thái động lực học của robot có thể được viết trong dạng tách rời các phương trình liên kết:

$$M(X)\ddot{X} - \psi(X, \dot{X}) - Q = Ay, \quad (34)$$

$$f(X) = 0 \quad (35)$$

$$A = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & : \\ 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & 0 & : \\ 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & 0 & : \\ 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & 0 & : \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & 0 & : \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 0 & 1 & : \\ \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & \dots & : \\ & & & & 0 & & : \end{bmatrix} G^{*T}, y = [U_1, U_2, \dots, U_6, \lambda_1, \lambda_2, \dots, \lambda_{18}]^T. \quad (36)$$

Quá trình giải bài toán ngược được thực hiện bằng việc giải hệ phương trình động lực học ngược (35), sử dụng các kết quả để giải hệ phương trình (34) cho phép xác định các lực điều khiển và các nhân tử liên kết.

4. CHƯƠNG TRÌNH VÀ VÍ DỤ

Thư viện chương trình được xây dựng nhằm giải các bài toán động học, động lực học thuận, ngược của robot song song có tên gọi: **PK_RBSS_Lib0206**.

- Lệnh nạp thư viện: dòng lệnh **>libname:="PK_RBSS_Lib0206",libname;**

- Khai báo sử dụng các hàm và thủ tục trong thư viện: dòng lệnh **>with(PK0206);**

Dưới đây là một ví dụ tính toán động học, động lực học cho robot song song cấu trúc như hình 2.

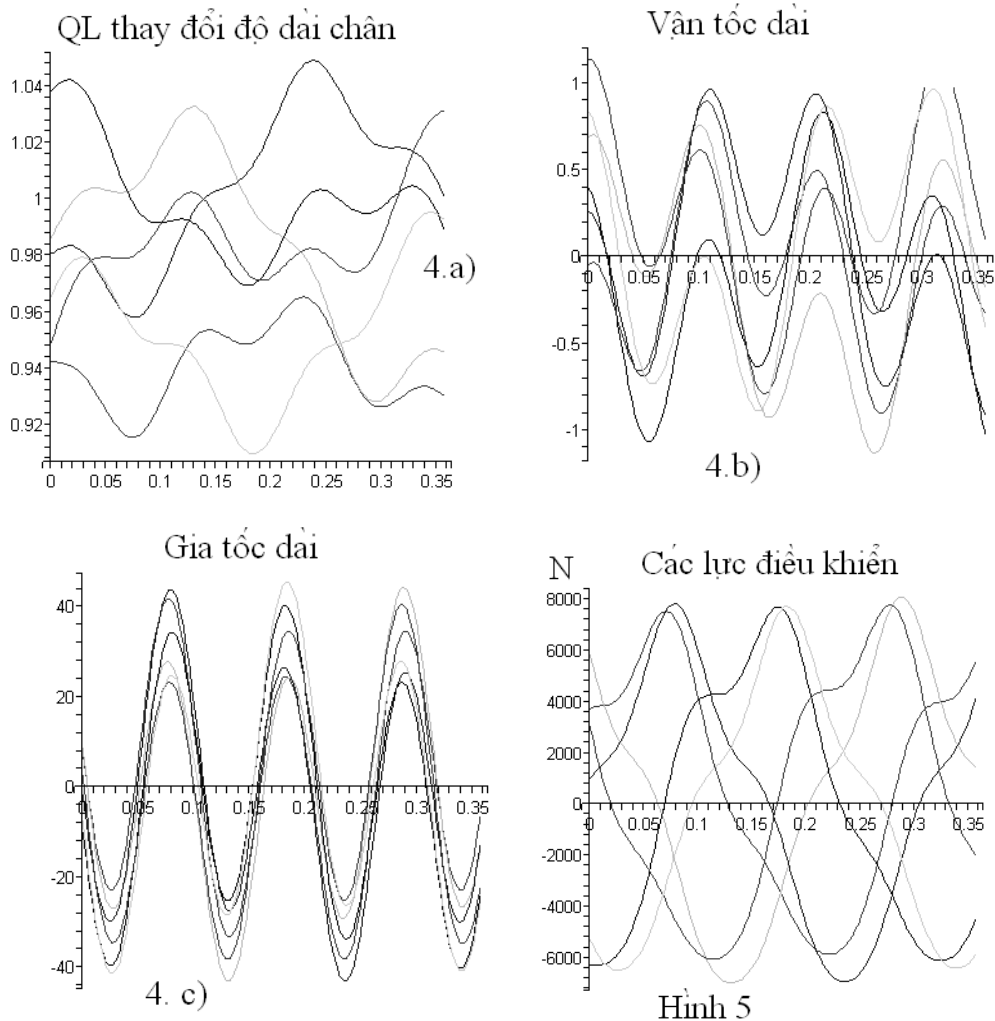
- File lưu dữ liệu về cấu trúc robot: **RBSS_DT.sys**.

Các tham số cấu trúc robot:

- bán kính tương ứng bàn máy cố định, bàn máy động: 489 mm, 389 mm.
- chiều dài tương ứng phần chân nối giá cố định, bàn máy động: 500 mm, 800 mm.
- bán kính tương ứng phần chân nối giá cố định, bàn máy động: 50 mm, 40 mm.
- vật liệu được cho tất cả đều bằng thép, đồng chất, khối lượng riêng 7800 kg/m^3 .
- bỏ qua khối lượng các bộ phận khác
- quy luật chuyển động của bàn máy động được giả thiết như sau:

$$\text{TraekP} := [0,1 * \cos(\omega * t), 0,1 * \sin(\omega * t), 0,94 * (1 + 0,01 * \sin(3 * \omega * t)), \\ 0,1 * \cos(\omega * 2 * t), 0,1 * \sin(\omega * 2 * t), 0,1 * \cos(\omega * 2 * t) * \sin(\omega * 2 * t)];$$

Ở đây, ba phần tử đầu của vector TraekP biểu diễn quy luật thay đổi vị trí của tâm bàn máy động, ba phần tử tiếp theo biểu diễn sự thay đổi về hướng.

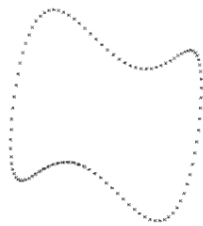


Bài toán động lực học ngược: Sử dụng chương trình nêu trên đây để tính động học ngược robot, ta nhận được quy luật thay đổi độ dài và các góc quay của các chân của robot. Các vận tốc dài, vận tốc góc cũng được xác định. Một số kết quả tính toán động học chỉ ra trên hình 4. Hình 4,a) quy luật biến đổi độ dài chân; 4,b) vận tốc dài $\dot{d}_1, \dot{d}_2, \dot{d}_3, \dot{d}_4, \dot{d}_5, \dot{d}_6$; 4,c) gia tốc dài $\ddot{d}_1, \ddot{d}_2, \ddot{d}_3, \ddot{d}_4, \ddot{d}_5, \ddot{d}_6$. Các kết quả của bài toán động học ngược được sử dụng giải bài toán động lực học ngược. Kết quả tính lực điều khiển được chỉ ra trên hình 5.

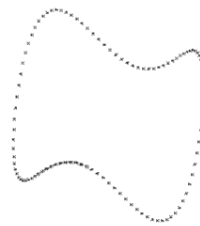
Bài toán động lực học thuận: Để kiểm nghiệm độ tin cậy, tính chính xác của các thuật toán và chương trình ta sử dụng kết quả bài toán động lực học ngược, giá trị các lực điều khiển vừa được xác định, để giải bài toán động lực học thuận. Sử dụng phương pháp Runge-Kutta bậc 4 để giải hệ phương trình vi phân (32). Các kết quả nhận được biểu diễn trên hình 6, 7, 8.

QL CĐ tâm BMD cho trước

QL CĐ tâm BMD (kết quả TT)

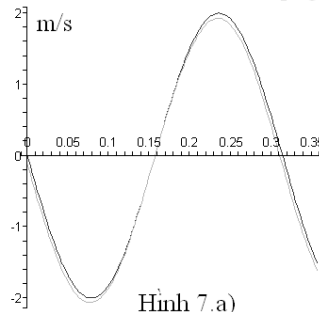


Hình 6.a)



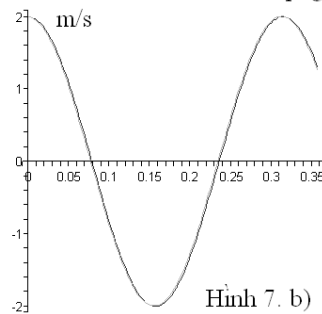
Hình 6. b)

So sánh VT tâm BMD theo phg x



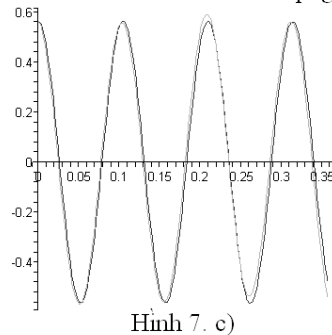
Hình 7.a)

So sánh VT tâm BMD theo phg y

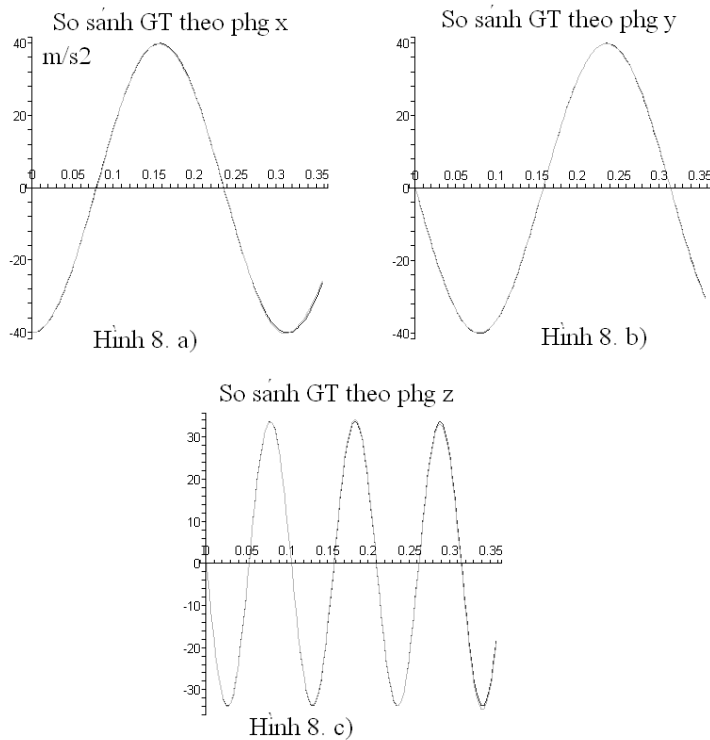


Hình 7. b)

SS VT tâm BMD theo phg z



Hình 7. c)



Các đồ thị hình 6, 7, 8 là sự so sánh quỹ đạo chuyển động, các giá trị vị trí, vận tốc, gia tốc của tâm bàn máy động từ bài toán động lực học thuận và ngược. Ta thấy các đồ thị hầu như trùng nhau. Như vậy, các kết quả nhận được từ việc giải bài toán động lực học thuận, ngược khẳng định độ tin cậy và tính chính xác của thuật toán và chương trình.

5. KẾT LUẬN

Các giải thuật và chương trình được trình bày cho phép áp dụng đối với một lớp khá lớn các mô hình robot cấu trúc song song.

Phương pháp sử dụng các kết quả của bài toán ngược để giải bài toán thuận cho phép kiểm tra độ tin cậy và tính chính xác của các giải thuật và chương trình.

Các kết quả nhận được thể hiện trên đồ thị cho độ chính xác cao.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Phan Bui Khoi - Investigation inverse kinematics of parallel mechanisms in series connection. Proceedings of The 5th Asian symposium on Applied Electromagnetics and Mechanics, Hanoi. Vietnam, 2005, pp. 224-231.
2. Фан Буй Хой - Принцип совместности для анализа сил в механизмах относительного манипулирования, Дисс. К. Т. Н. ИМАШ РАН, Москва, 1997.
3. Phan Bui Khoi - Dynamical investigation of relation manipulation mechanisms in mechanical processing, Proceedings of National Conference on Mechanics **1** (2004) 181-190.

4. Афонин В. Л., Фан Буй Хой. *Методика расчета управляющих сил и реакций связей в механизмах относительного манипулирования при выполнении программных движений*. М: ИМАШ РАН 1997.
5. Siciliano B., Khatib O. - Springer Handbook of Robotics, Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2008, p. 1645.
6. Jean Pierre Merlet - Parallel Robots, Kluwer Academic Publishers, Boston/London,... 2000, p. 355.

SUMMARY

THE ALGORITHMS AND PROGRAMS OF DYNAMIC CALCULATION OF PARALLEL ROBOTS

The paper presents algorithms and programs of kinematic and dynamic calculation of parallel robots. The presented methods are effective and convenient for researching a lot of models of parallel robots.

Keywords: parallel robot, dynamic, kinematics, algorithm, program.

Địa chỉ:

Trường Đại học Bách khoa Hà Nội.

Nhận bài ngày 12 tháng 6 năm 2009