



TUYỂN TẬP BÁO CÁO HỘI NGHỊ TOÀN QUỐC

KHOA HỌC TRÁI ĐẤT VÀ TÀI NGUYÊN VỚI PHÁT TRIỂN BỀN VỮNG

Hà Nội, 12 - 11 - 2020

ERSD 2020



NHÀ XUẤT BẢN GIAO THÔNG VẬN TẢI

Động lực học và điều khiển tay máy robot hai khâu đàn hồi

Đinh Công Đạt^{1,*}
Trường Đại học Mỏ - Địa chất

TÓM TẮT

Báo cáo này trình bày một cách tiếp cận để giải quyết bài toán động lực học và điều khiển tay máy robot hai khâu đàn hồi. Sử dụng phương trình Lagrange loại 2 và phương pháp Ritz – Galerkin để thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của cơ hệ. Từ đó xây dựng một thuật toán điều khiển ổn định dao động đàn hồi của cơ hệ dựa trên chuyển động cơ bản đã biết. Tính toán số đối với tay máy robot hai khâu T-R có khâu đàn hồi được thực hiện bằng phần mềm Matlab để minh họa cho thuật giải đề xuất.

Từ khóa: “robot”; “đàn hồi”; “điều khiển ổn định”.

1. Đặt vấn đề

Ngày nay, tay máy robot được sử dụng phổ biến trong các lĩnh vực công nghiệp, dịch vụ, y tế, hàng không vũ trụ, v.v... Tay máy robot truyền thống thường được thiết kế có độ cứng cao để bỏ qua biến dạng đàn hồi trong các khâu, do đó nó có thể được mô hình như hệ các vật rắn tuyệt đối để dễ dàng điều khiển. Độ cứng vững của tay máy robot có được do các nhà chế tạo đã tăng kích thước các khâu. Điều này làm tăng khối lượng, quán tính của các khâu, và dẫn tới việc cần nhiều năng lượng để vận hành robot. Các nhà chế tạo gần đây hướng tới việc đưa ra các tay máy robot nhẹ và mảnh hơn có chi phí vật liệu và năng lượng thấp hơn, nhưng việc giảm khối lượng khâu kèm theo việc giảm độ cứng của khâu. Khi đó, các tay máy trở nên dễ biến dạng hơn và khó khăn hơn để điều khiển chính xác. Bởi vậy, đối với các robot có các khâu dài, mảnh, nhẹ chuyển động với vận tốc và gia tốc cao, cũng như tải trọng làm việc lớn, tính chất đàn hồi của khâu là không thể bỏ qua. Loại tay máy đàn hồi này thường được ứng dụng trong các lĩnh vực như thám hiểm không gian, tự động hóa sản xuất, xây dựng, mỏ, ở đó đòi hỏi tay máy có khối lượng nhỏ nhưng có không gian làm việc lớn.

Gần đây, việc nghiên cứu tay máy robot đàn hồi đã được rất nhiều nhà khoa học quan tâm. Đã có rất nhiều công trình nghiên cứu về động lực học và điều khiển tay máy có khâu đàn hồi. Các công trình này được tổng hợp trong các bài nghiên cứu tổng quan như (Ahmed, 1997; Lochan, 2016; Kumar, 2006). Một loạt các công trình mô hình hóa với bốn phương pháp chính được sử dụng bao gồm: Phương pháp tập trung tham số (Sang-Myeong, 2015), phương pháp sai phân hữu hạn (Valembos, 1997), phương pháp khai triển theo các hàm riêng hay phương pháp Ritz-Galerkin (Javier, 1994; Lochan 2016), phương pháp phân tử hữu hạn (Usoro, 1986; Zhi-Cheng, 2012). Bên cạnh việc mô hình hóa, bài toán động lực học và điều khiển vị trí và quỹ đạo của các khâu cũng được quan tâm nghiên cứu. Rất nhiều luật điều khiển từ tuyến tính, phi tuyến, thích nghi, bền vững, logic mờ, mạng nơ ron, vv... đã được thiết lập và áp dụng đối với tay máy đàn hồi (Benosman, 2002; Benosman, 2001; Dadfarnia, 2004; Seifried, 2014; Zhi-Cheng, 2012; Yang, 1997; Yuangang, 2006).

Nói chung, đối với tay máy robot đàn hồi, hệ phương trình chuyển động của nó là một hệ phương trình vi phân đạo hàm riêng phức tạp. Việc tìm nghiệm giải tích cho những hệ đó là không khả thi, các nghiên cứu trước đây thường sử dụng phương pháp số để xấp xỉ nghiệm (thường dùng Matlab – Simulink). Tuy nhiên nhược điểm của cách làm đó là không xác định được điều kiện đầu cho dao động của tay máy robot để sử dụng trong tính toán số.

Trong bài báo này, phương pháp Ritz-Galerkin và phương trình Lagrange loại 2 được sử dụng để thiết lập mô hình động lực cho tay máy robot hai khâu T-R phẳng có khâu đàn hồi. Hệ phương trình vi phân chuyển động được tuyến tính hóa bằng cách sử dụng khai triển Taylor của hàm véc tơ (Nguyen Van Khang, 2019). Thiết kế bộ điều khiển ổn định dao động của hệ dựa vào hệ phương trình vi phân đã tuyến tính.

2. Cơ sở lý thuyết và phương pháp nghiên cứu

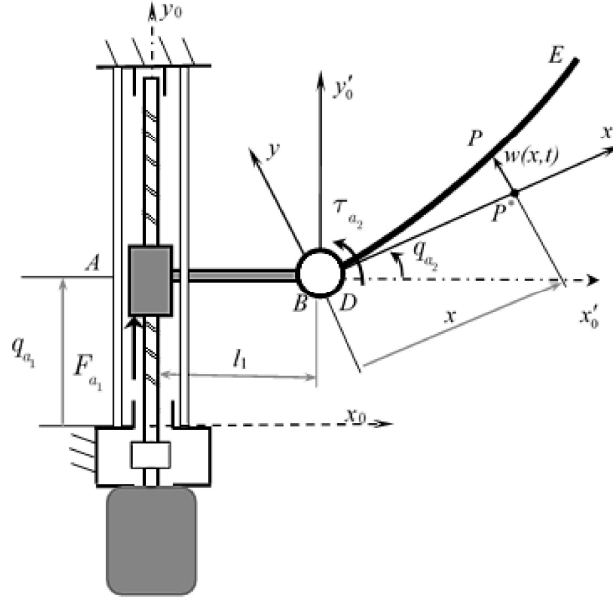
2.1. Thiết lập phương trình vi phân chuyển động bằng phương pháp Ritz-Galerkin

Xét mô hình tay máy robot hai khâu T-R như hình 1. Khâu tịnh tiến (T) có khối lượng m_1 , chiều dài l_1 . Chuyển động tịnh tiến dọc phương Oy_0 nhờ lực F_{a1} . Đầu B mang đĩa tròn có khối lượng m_B , Bán kính r .

* Tác giả liên hệ

Email: dinhcongdat@humg.edu.vn

Khâu quay BE I là thanh đồng chất, tiết diện không đổi A , có khối lượng m_2 , chiều dài l_2 . Chuyển động quay quanh khớp B nhờ mô men τ_{a_2} .



Hình 1. Tay máy hai khâu đàn hồi T-R

Hệ quy chiếu Ox_0y_0 là hệ quy chiếu cố định, hệ $Ax'_0y'_0$ và hệ quy chiếu gắn với khâu 1. Hệ quy chiếu Dxy là hệ quy chiếu gắn với khâu 2. Chỉ xét biến dạng uốn ngang (bỏ qua biến dạng dọc thanh).

Xét điểm P tại vị trí x trên thanh, gọi $w(x, t)$ là chuyển vị ngang của điểm P. Ta có tọa độ điểm P:

$$\begin{cases} x_P = l_1 + r + x \cos q_{a_2} - w \sin q_{a_2} \\ y_P = q_{a_1} + r + x \sin q_{a_2} + w \cos q_{a_2} \end{cases} \quad (1)$$

2.1.1. Động năng của cơ cấu

$$T = T_1 + T_B + T_2 \quad (2)$$

Trong đó động năng khâu tịnh tiến và động năng của đĩa B:

$$T_1 = \frac{1}{2} m_1 \dot{q}_{a_1}^2, \quad T_B = \frac{1}{2} m_B \dot{q}_{a_1}^2 + \frac{1}{2} J_B \dot{q}_{a_2}^2 \quad (3)$$

Động năng khâu đàn hồi:

$$T_2 = \int_0^{l_2} \frac{1}{2} \mu v_P^2 dx \quad (4)$$

Với μ (kg/m) là phân bố khối lượng trên đơn vị chiều dài, $\mu = m_2 / l_2$.

Từ (1) đạo hàm lên và thay vào (4) ta có:

$$\begin{aligned} T_2 = \frac{1}{2} \mu \int_0^{l_2} [& \dot{q}_{a_1}^2 + \dot{w}^2 + ((r+x)^2 + w^2) \dot{q}_{a_2}^2 + 2(r+x) \dot{w} \dot{q}_{a_2} \\ & + 2(r+x) \dot{q}_{a_1} \dot{q}_{a_2} \cos q_{a_2} + 2 \dot{q}_{a_1} \dot{w} \cos q_{a_2} - 2w \dot{q}_{a_1} \dot{q}_{a_2} \sin q_{a_2}] dx \end{aligned} \quad (5)$$

Ta có động năng của hệ:

$$\begin{aligned} T = \frac{1}{2} (m_1 + m_2 + m_B) \dot{q}_{a_1}^2 + \left(\frac{1}{2} J_B + \frac{1}{2} m_2 r^2 + \frac{1}{2} m_2 r l_2 + \frac{1}{6} m_2 l_2^2 \right) \dot{q}_{a_2}^2 + \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \dot{q}_{a_1} \dot{q}_{a_2} \cos q_{a_2} \\ + \frac{1}{2} \mu \int_0^{l_2} [\dot{w}^2 + w^2 \dot{q}_{a_2}^2 + 2(r+x) \dot{w} \dot{q}_{a_2} + 2 \dot{q}_{a_1} \dot{w} \cos q_{a_2} - 2w \dot{q}_{a_1} \dot{q}_{a_2} \sin q_{a_2}] dx \end{aligned} \quad (6)$$

2.1.2. Thế năng

Thế năng đàn hồi của thanh truyền DE đồng chất, thiết diện không đổi, trục thanh trùng với trục trung hòa có dạng (Ahmed, 1997)

$$\Pi_1 = \frac{1}{2} EI \int_0^{l_2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (7)$$

Chọn gốc thế năng là đường ngang qua trục Ox_0 , ta có thế năng có được do tác dụng của trọng lực

$$\begin{aligned} \Pi_2 &= m_1 g q_{a_1} + m_B g q_{a_1} + \int_0^{l_2} y_P \cdot \mu g dx \\ &= (m_1 + m_2 + m_B) g q_{a_1} + m_2 g \left(r + \frac{l_2}{2} \right) \sin q_{a_2} + \mu g \cos q_{a_2} \int_0^{l_2} w dx \end{aligned} \quad (8)$$

Từ (7), (8) ta có thế năng của hệ:

$$\Pi = (m_1 + m_2 + m_B) g q_{a_1} + m_2 g \left(r + \frac{l_2}{2} \right) \sin q_{a_2} + \mu g \cos q_{a_2} \int_0^{l_2} w dx + \frac{1}{2} EI \int_0^{l_2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx \quad (9)$$

2.1.3. Phương trình vi phân chuyển động

Chuyển vị uốn ngang tương đối $w(x, t)$ trong hệ quy chiếu động Dxy được biểu diễn dưới dạng (Ahmed, 1997)

$$w(x, t) = \sum_{i=1}^N X_i(x) q_{e_i}(t) \quad (10)$$

trong đó: $w(x, t)$ là chuyển vị uốn ngang của thanh tại vị trí x , ở thời điểm t .

$X_i(x)$ là các hàm thỏa mãn điều kiện biên của thanh đàn hồi

$q_{e_i}(t)$ là các tọa độ suy rộng phụ thuộc vào thời gian và là đại lượng chưa xác định.

Theo phương pháp Ritz – Galerkin trong trường hợp thanh một đầu ngàm một đầu tự do thì $X_i(x)$ có phương trình đặc trưng [10]:

$$1 + \cos \beta l \cosh \beta l = 0 \quad (11)$$

Giải hệ phương trình (11) ta nhận được các trị riêng $\beta_i l$ ($i=1, 2, \dots$). Từ đó ta có các hàm $X_i(x)$ có dạng:

$$X_i(x) = \cos \beta_i x - \cosh \beta_i x + \frac{\cos \beta_i l + \cosh \beta_i l}{\sin \beta_i l + \sinh \beta_i l} \sin \beta_i x + \sinh \beta_i x \quad (12)$$

Khi đó ta có:

$$\int_0^{l_2} w dx = \int_0^{l_2} \sum_{i=1}^N X_i(x) q_{e_i}(t) dx = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_2} X_i(x) dx \cdot q_{e_i}(t) = \sum_{i=1}^N C_i q_{e_i} \quad (13)$$

$$\int_0^{l_2} \dot{w} dx = \int_0^{l_2} \sum_{i=1}^N X_i(x) \dot{q}_{e_i}(t) dx = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_2} X_i(x) dx \cdot \dot{q}_{e_i}(t) = \sum_{i=1}^N C_i \dot{q}_{e_i} \quad (14)$$

$$\int_0^{l_2} w^2 dx = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\int_0^{l_2} X_i X_j dx \right) q_{e_i} q_{e_j} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{ij} q_{e_i} q_{e_j} \quad (15)$$

$$\int_0^{l_2} \dot{w}^2 dx = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N \left(\int_0^{l_2} X_i X_j dx \right) \dot{q}_{e_i} \dot{q}_{e_j} = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{ij} \dot{q}_{e_i} \dot{q}_{e_j} \quad (16)$$

$$\int_0^{l_2} x \dot{w} dx = \int_0^{l_2} \sum_{i=1}^N x X_i(x) \dot{q}_{e_i}(t) dx = \sum_{i=1}^N \int_0^{l_2} x X_i(x) dx \cdot \dot{q}_{e_i}(t) = \sum_{i=1}^N D_i \dot{q}_{e_i} \quad (17)$$

$$\int_0^{l_2} \left(\frac{\partial^2 w}{\partial x^2} \right)^2 dx = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N q_{e_i} q_{e_j} \int_0^{l_2} X_i'' X_j'' dx = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N k_{ij} q_{e_i} q_{e_j} \quad (18)$$

$$\text{trong đó: } C_i = \int_0^{l_2} X_i dx; D_i = \int_0^{l_2} x X_i dx; m_{ij} = \int_0^{l_2} X_i X_j dx; k_{ij} = \int_0^{l_2} X_i'' X_j'' dx \quad (19)$$

Thay các biểu thức từ (12) đến (18) vào biểu thức động năng (6) và biểu thức thế năng và áp dụng phương trình Lagrange loại 2 ta được hệ 2+N phương trình vi phân chuyển động của robot (20).

$$(m_1 + m_2 + m_B) \ddot{q}_{a_1} + \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \ddot{q}_{a_2} \cos q_{a_2} - \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \dot{q}_{a_2}^2 \sin q_{a_2} + \mu \cos q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i \ddot{q}_{e_i} - 2\mu \dot{q}_{a_2} \sin q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i \dot{q}_{e_i} - \mu \ddot{q}_{a_2} \sin q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i q_{e_i} - \mu \dot{q}_{a_2}^2 \cos q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i q_{e_i} = -(m_1 + m_2 + m_B)g + F_{a_1} \quad (20)$$

$$\left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \ddot{q}_{a_1} \cos q_{a_2} - \mu \ddot{q}_{a_1} \sin q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i q_{e_i} + (J_B + m_2 r^2 + m_2 r l_2 + \frac{1}{3} m_2 l_2^2) \ddot{q}_{a_2} + \mu \ddot{q}_{a_2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{ij} q_{e_i} q_{e_j} + \mu r \sum_{i=1}^N C_i \ddot{q}_{e_i} + \mu \sum_{i=1}^N D_i \ddot{q}_{e_i} + 2\mu \dot{q}_{a_2} \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N m_{ij} \dot{q}_{e_i} q_{e_j} = -m_2 g \left(r + \frac{l_2}{2} \right) \cos q_{a_2} + \mu g \sin q_{a_2} \sum_{i=1}^N C_i q_{e_i} + \tau_{a_2} \quad (21)$$

$$\mu \sum_{j=1}^N m_{ij} \ddot{q}_{e_i} + \mu r \ddot{q}_{a_2} C_i + \mu D_i \ddot{q}_{a_2} + \mu C_i \ddot{q}_{a_1} \cos q_{a_2} - \mu \dot{q}_{a_2}^2 \sum_{j=1}^N m_{ij} q_{e_j} = -\mu g C_i \cos q_{a_2} - EI \sum_{j=1}^N k_{ij} q_{e_j} \quad (22)$$

2.2. Tuyến tính hóa phương trình chuyển động

Hệ phương chuyển động (20), (21), (22) trong trường hợp chọn N=1 có thể viết gọn lại dưới dạng:

$$\mathbf{M}(\mathbf{q})\ddot{\mathbf{q}} = \mathbf{p}_1(\dot{\mathbf{q}}, \mathbf{q}, \boldsymbol{\tau}, t) \quad (23)$$

trong đó: $\mathbf{M} \in \mathbb{R}^{3 \times 3}$, $\mathbf{p}_1 \in \mathbb{R}^{3 \times 1}$, $\mathbf{q}(t) = [q_{a_1} \ q_{a_2} \ q_{e_1}]^T$, $\boldsymbol{\tau} = [F_{a_1} \ \tau_{a_2} \ 0]^T$

Sử dụng khai triển Taylor [8] để tuyến tính hóa, phương trình tuyến tính hóa lúc này trở thành:

$$\mathbf{M}_L(t)\ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{C}_L(t)\dot{\mathbf{y}} + \mathbf{K}_L(t)\mathbf{y} = \mathbf{h}_L(t) \quad (24)$$

$$\text{trong đó ký hiệu: } \mathbf{q}(t) = \mathbf{q}^R(t) + \mathbf{y}(t) \quad (25)$$

với $\mathbf{q}^R(t)$ là tọa độ suy rộng khi cơ hệ coi là robot rắn.

$$\mathbf{M}_L(t) = \begin{bmatrix} (m_1 + m_2 + m_B) & \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \cos q_{a_2}^R & \mu C_1 \cos q_{a_2}^R \\ \left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \cos q_{a_2}^R & J_B + m_2 r^2 + m_2 r l_2 + \frac{1}{3} m_2 l_2^2 & \mu r C_1 + \mu D_1 \\ \mu C_1 \cos q_{a_2}^R & \mu r C_1 + \mu D_1 & \mu m_{11} \end{bmatrix} \quad (26)$$

$$\mathbf{C}_L(t) = \begin{bmatrix} 0 & -(m_2 l_2 + 2m_2 r) \dot{q}_{a_2}^R \sin q_{a_2}^R & -2\mu C_1 \dot{q}_{a_2}^R \sin q_{a_2}^R \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \quad (27)$$

$$\mathbf{h}_L(t) = \begin{bmatrix} 0 \\ 0 \\ -\mu g C_1 \cos q_{a_2}^R - \mu C_1 \cos q_{a_2}^R \ddot{q}_{a_1}^R - (\mu r C_1 + \mu D_1) \ddot{q}_{a_2}^R \end{bmatrix} + \Delta \boldsymbol{\tau} = \mathbf{h}_L^2(t) + \Delta \boldsymbol{\tau} \quad (28)$$

$$\mathbf{K}_L(t) = \begin{bmatrix} 0 & -\left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) (\sin q_{a_2}^R \ddot{q}_{a_2}^R + \dot{q}_{a_2}^{R2} \cos q_{a_2}^R) & -\mu C_1 (\sin q_{a_2}^R \ddot{q}_{a_2}^R + \dot{q}_{a_2}^{R2} \cos q_{a_2}^R) \\ 0 & -\left(\frac{1}{2} m_2 l_2 + m_2 r \right) \sin q_{a_2}^R (\ddot{q}_{a_1}^R + g) & -\mu C_1 \sin q_{a_2}^R (\ddot{q}_{a_1}^R + g) \\ 0 & -\mu C_1 \sin q_{a_2}^R (\ddot{q}_{a_1}^R + g) & EI k_{11} - \mu \dot{q}_{a_2}^{R2} m_{11} \end{bmatrix} \quad (29)$$

2.3. Điều khiển ổn định bằng số mũ Floquet

Mục tiêu của bài toán điều khiển ổn định dao động của tay máy đàn hồi là xác định các tham số điều khiển để hệ ổn định. Ta đưa vào mô men điều khiển dưới dạng:

$$\Delta \tau = -\mathbf{K}_p \mathbf{y} - \mathbf{K}_D \dot{\mathbf{y}} = - \begin{bmatrix} k_{p_1} & 0 & 0 \\ 0 & k_{p_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \mathbf{y} - \begin{bmatrix} k_{d_1} & 0 & 0 \\ 0 & k_{d_2} & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \dot{\mathbf{y}} \quad (30)$$

Hệ phương trình (30) lúc này trở thành

$$\mathbf{M}_L(t) \ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{C}_L(t) \dot{\mathbf{y}} + \mathbf{K}_L(t) \mathbf{y} = \mathbf{h}_L^2(t) - \mathbf{K}_D \dot{\mathbf{y}} - \mathbf{K}_p \mathbf{y}, \quad (31)$$

chuyển về và biến đổi ta được:

$$\mathbf{M}_L(t) \ddot{\mathbf{y}} + [\mathbf{C}_L(t) + \mathbf{K}_D] \dot{\mathbf{y}} + [\mathbf{K}_L(t) + \mathbf{K}_p] \mathbf{y} = \mathbf{h}_L^2(t) \quad (32)$$

$$\mathbf{M}_L^2(t) \ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{C}_L^2(t) \dot{\mathbf{y}} + \mathbf{K}_L^2(t) \mathbf{y} = \mathbf{h}_L^2(t) \quad (33)$$

với:

$$\mathbf{M}_L^2(t) = \mathbf{M}_L(t), \mathbf{K}_L^2(t) = \mathbf{K}_L(t) + \mathbf{K}_p, \mathbf{C}_L^2(t) = \mathbf{C}_L(t) + \mathbf{K}_D \quad (34)$$

Bài toán ổn định yêu cầu ta phải chọn \mathbf{K}_p và \mathbf{K}_D sao cho nghiệm thuần nhất $\mathbf{y}_m(t)$ tiến tới 0 nhanh, khi đó nghiệm $\mathbf{y}(t) \rightarrow \mathbf{y}^*(t)$ nhanh.

3. Kết quả và thảo luận

Xét hệ phương trình thuần nhất:

$$\mathbf{M}_L^2(t) \ddot{\mathbf{y}} + \mathbf{C}_L^2(t) \dot{\mathbf{y}} + \mathbf{K}_L^2(t) \mathbf{y} = \mathbf{0} \quad (35)$$

Theo Floquet ta phải chọn các tham số điều khiển sao cho tất cả các số mũ Floquet của hệ phương trình (35) có phần thực âm, khi đó hệ sẽ ổn định (Nguyen Van Khang, 2012).

Ta chọn tham số của bộ điều khiển trong trường hợp này là:

$$k_{p1} = 10, k_{p2} = 0.3, k_{d1} = 8, k_{d2} = 0.05 \quad (36)$$

Số mũ Floquet của phương trình (35) tính được:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= -1.9375, \lambda_2 = -3.5995, \lambda_3 = -4.5494, \lambda_4 = -5.2179 + 0.4793i \\ \lambda_5 &= -5.2179 - 0.4793i, \lambda_6 = -8.6794 + 1.5708i \end{aligned} \quad (37)$$

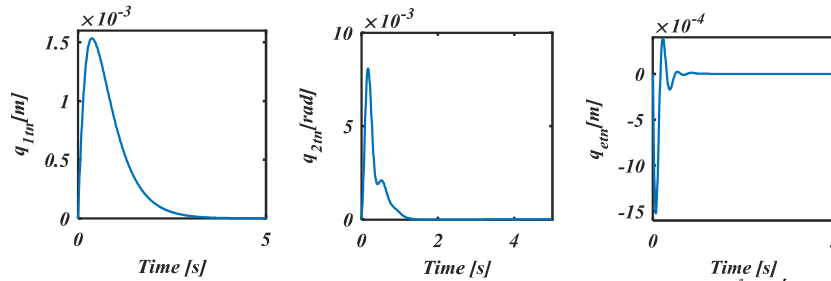
Vì tất cả các phần thực đều âm nên với bộ tham số trên hệ sẽ ổn định theo tiêu chuẩn Floquet. Chọn thông số tay máy hai khâu T-R như trong bảng 1.

Bảng 1. Bảng thông số tay máy hay khâu T-R đàn hồi

Thông số	Kí hiệu (đơn vị)	Giá trị
Chiều dài khâu 1	$\ell_1(m)$	0.1
Khối lượng khâu 1	$m_1(kg)$	1.32
Chiều dài khâu 2	$\ell_2(m)$	0.3
Diện tích mặt cắt ngang khâu 2	$A(m^2)$	2×10^{-5}
Khối lượng riêng của khâu 1 và 2	$\rho(kg / m^3)$	7850
Khối lượng vật B	$m_B(kg)$	0.1
Mô men quán tính mặt cắt ngang khâu 2	$I(m^4)$	1.67×10^{-12}
Mô đun đàn hồi	$E(N / m^2)$	2×10^{10}

Quỹ đạo khớp tịnh tiến mong muốn	Quỹ đạo khớp quay mong muốn
$q_{a_1} = 0.025 \cos(\pi t - \pi / 2)$	$q_{a_2} = 0.25 \pi \cos(\pi t - \pi / 2)$

Tính toán số với phần mềm Matlab ta được nghiệm dao động trong giai đoạn chuyển tiếp.



Hình 2. Nghiệm dao động của tay máy robot trong giai đoạn chuyển tiếp

Từ hình 2 ta thấy nghiệm dao động không mong muốn của hệ là nhỏ và tắt tương đối nhanh. Khi đó với thông số bộ điều khiển cho biết ở trên, chuyển động của tay máy robot sẽ dao động tuần hoàn rất nhỏ quanh chuyển động mong muốn của khâu đã đặt ra.

4. Kết luận

Bài báo trình bày bài toán động lực và điều khiển tay máy robot hay khâu T-R có khâu đàn hồi. Mô hình hóa và thiết lập hệ phương trình vi phân chuyển động của tay máy robot bằng phương pháp Ritz – Galerkin kết hợp với phương trình Lagrange loại 2. Tuyến tính hóa hệ phương trình vi phân chuyển động bằng cách sử dụng khai triển Taylor của hàm véc tơ. Cuối cùng tác giả đề xuất một thuật toán điều khiển ổn định tay máy robot theo tiêu chuẩn Floquet. Kết quả tính toán số bằng Matlab cho thấy dao động không mong muốn của hệ là nhỏ và triệt tiêu nhanh, từ đó thấy được sự tin cậy của phương pháp đề xuất.

Lời cảm ơn

Bài báo được thực hiện dưới sự hỗ trợ của Đề tài KH&CN cấp cơ sở Trường Đại học Mỏ - Địa chất 2020-2021 mã số T20-01.

Tài liệu tham khảo

- Ahmed A. Shabana, 1997. Flexible Multibody Dynamics. Review of Past and Recent Developments. *Multibody System Dynamics* 1, 189–222.
- Ahmed A. Shabana: Dynamics of Multibody Systems. *Cambridge University Press* 2005.
- Benosman M., Le Vey G, 2002. Joint trajectory tracking for planar multi-link flexible manipulator. *IEEE Int. Conference on Robotics and Automation*, Washington D.C., pp. 2461–2466.
- Benosman M., Le Vey G., Lanari L., De Luca A., 2001. Rest-to-Rest Motion for Planar Multi-Link Flexible Manipulator Through Backward Recursion. *Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*, 123, pp. 100–108.
- Dadfarnia, M., Jalili N., Xian B., Dawson D. M., 2004.: Lyapunov-Based Vibration Control of Translational Euler-Bernoulli Beams Using the Stabilizing Effect of Beam Damping Mechanisms. *Journal of Vibration and Control*, 10, pp. 933–961.
- Javier García de Jalón, Eduardo Bayo, 1994. Kinematic and Dynamic Simulation of Multibody Systems, The Real-Time Challenge. *Springer-Verlag New York, Inc.*
- K. Lochan, B.K. Roy, B. Subudhi, 2016. A review on two-link flexible manipulators. *Annual Reviews in Control*, Volume 42, Pages 346-367.
- Nguyen Van Khang, Dinh Cong Dat, Nguyen Thai Minh Tuan, 2019. Taylor expansion for matrix function of vector variable using the kronecker product. *Vietnam Journal of Mechanics, VAST*, Vol. 41, No. 4 (2019), pp. 337 – 348
- Nguyen Van Khang, Nguyen Phong Dien, Parametric vibration analysis of transmission mechanisms using numerical methods. In: *Advances in Vibration Engineering and Structural Dynamics*, Edited by F.B. Carbajal, Intech, Croatia, 2012, 301-331.
- Nguyen Van Khang, 2007. Dynamics of Multibody Systems (in Vietnamese). *Science and Technics Publishing House*, Hanoi.
- R. E. Valembois, P. Fiset, and J. C. Samin, 1997. Comparison of Various Techniques for Modelling Flexible Beams in Multibody Dynamics. *Nonlinear Dynamics* 12: 367–397.
- Kumar Dwivedy and Peter Eberhard, 2006. Dynamic analysis of flexible manipulators, a literature review. *Mechanism and Machine Theory* 41, 749–777.
- Sang-Myeong Kim, 2015. Lumped Element Modeling of a Flexible Manipulator System. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, VOL. 20, NO. 2, 967-974.
- Seifried, R. (2014): Dynamics of Underactuated Multibody Systems – Modeling, Control and Optimal Design. *Solid Mechanics and Its Applications*, Vol. 205, Springer.

Usoro, P.B., Nadira, R., and Mahil, S.S., 1986. A Finite Element/Lagrange Approach to Modeling Lightweight Flexible Manipulators. *ASME Journal of Dynamic Systems, Measurement, and Control*. 108: 198-205.

Zhi-Cheng Qiu (2012) Adaptive nonlinear vibration control of a Cartesian flexible manipulator driven by a ballscrew mechanism. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 30, pp. 248–266.

Yang H., Krishnan H., Ang Jr. M, 1997. A simple rest-to-rest control command for a flexible link robot. *IEEE Int. Conference on Robotics and Automation, Albuquerque*. New Mexico, pp. 3312–3317. *Control*, 126(1), pp. 115-123.

Yuangang Tang, Fuchun Sun, Zengqi Sun, 2006. Neural network control of flexible-link manipulators using sliding mode. *Neurocomputing* 70, 288–295.

ABSTRACT

Dynamic and control of a two – link flexible manipulator

Dinh Cong Dat^{1,*}

¹ *Hanoi University of Mining and Geology*

This paper presents an approach dynamics and control of a two – link flexible manipulator. Equations of motion was established using the Lagrange formulation and Ritz – Galerkin method. Linearize the system of set motion equations. Finally, the author offers an algorithm for controlling the vibration stability of the robot arm. Numerical simulations are implemented for a two – link flexible manipulator to illustrate the proposed algorithm.

Keywords: Flexible robot manipulator; stability; control.