



NGHIÊN CỨU, ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN THÍCH NGHI ĐIỀU KHIỂN  
CHUYỂN ĐỘNG CỦA ROBOT TRONG KHÔNG GIAN ĐỀ CẮC

Đào Minh Tuấn, Nguyễn Thị Thúy, Nguyễn Thị Như  
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Hưng Yên

Ngày nhận: 03/2/2016  
Ngày xét duyệt: 09/3/2016

**Tóm tắt:**

Để nâng cao chất lượng chuyển động của robot công nghiệp, các bộ điều khiển sử dụng các thuật toán điều khiển như điều khiển trượt, PID bù trọng trường, tuyến tính hóa... Tuy nhiên, trong một số điều kiện làm việc của robot công nghiệp, các tham số động học của robot thay đổi ví dụ như trọng lượng của vật mà cánh tay robot gắp, mô men quán tính của các khớp. Sự thay đổi này làm ảnh hưởng đến chất chuyển động, độ chính xác vị trí các khớp cũng như quỹ đạo chuyển động của robot. Bài báo này đề cập đến ứng dụng thuật toán điều khiển thích nghi điều khiển chuyển động của robot trực tiếp trong không gian Decac để hạn chế và loại bỏ sự ảnh hưởng đó.

**Từ khóa:** Điều khiển robot, Điều khiển thích nghi, Điều khiển hệ thống có tham số không dừng.

**1. Đặt vấn đề**

Sử dụng thuật toán điều khiển thích nghi để điều khiển chuyển động robot trong không gian khớp nhằm mục đích điều khiển góc quay của các khớp (với các khớp quay) và chiều dài dịch chuyển (đối với các khớp tịnh tiến) gọi chung là các biến sao cho bám quỹ đạo đã đặt trước của các khớp khi mà có các tác động từ sự thay đổi các tham số động học của robot trong khi làm việc.

Trong thực tế và bằng thực nghiệm cho thấy, điểm tác động cuối của cánh tay robot (đặt tại bàn tay robot) được quy chiếu lên hệ trục tọa độ Oxyz (hệ trục tọa độ đặt ở khớp đầu tiên của cánh tay robot). Bài báo đưa ra ứng dụng thuật toán điều khiển thích nghi để điều khiển chuyển động của robot trong không gian Decac. Phương pháp điều khiển này thay cho phương pháp điều khiển chuyển động của robot trong không gian khớp để giảm sai số tương đối khi quy chiếu hệ tọa độ đặt trên các khớp lên hệ trục tọa độ gốc Oxyz.

**2. Cơ sở lý thuyết**

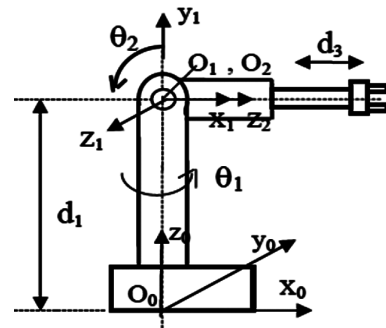
**2.1. Xây dựng phương trình động lực học của robot**

**2.1.1. Mô hình robot RRT**

Chuyển động của robot gồm 3 khớp.

- Khớp 1: Chuyển động quay quanh trục  $Z_0$

- Khớp 2: Chuyển động quay quanh trục  $Z_1$
- Khớp 3: Chuyển động tịnh tiến theo trục  $Z_2$



Hình 1. Robot RRT

Trong đó  $\theta_1, \theta_2$  là góc quay của khớp 1 và khớp 2;  $d_3$  là chiều dài tịnh tiến của khớp 3.

**2.1.2. Phương trình động lực học robot**

Phương trình động lực học của cánh tay robot được xây dựng dưới dạng:

$$M = H(Q)\ddot{Q} + V(Q, \dot{Q}) + G(Q) \tag{1}$$

Trong đó H, V, G lần lượt là các thành phần quán tính, tương hỗ và thành phần bù trọng trường thu được từ động học của robot.

$$H = \begin{pmatrix} I_1 - \frac{m_3 q_3^2 (s_2^2 - 1)}{4} - \frac{q_2^2 m_2 (s_2^2 - 1)}{4} - d_2^2 m_3 (s_2^2 - 1) - d_2 m_3 q_3 (s_2^2 - 1) & 0 & 0 \\ 0 & I_1 + I_2 + \frac{m_2 q_3^2}{4} + \frac{d_2^2 m_2}{4} + \frac{d_2^2 m_3}{4} + d_2 m_3 q_3 & 0 \\ 0 & 0 & \frac{m_3}{4} \end{pmatrix} \tag{2}$$

$$\begin{aligned}
 V_{11} &= -\frac{m_3 s_2 c_2 q_3^2 \dot{q}_1 \dot{q}_2}{4} - \frac{m_3 q_3 (s_2^2 - 1) \dot{q}_1 \dot{q}_3}{4} - \frac{d_2^2 m_2 s_2 c_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2}{2} - 2d_2^2 m_3 c_2 s_2 \dot{q}_1 \dot{q}_2 - d_2 m_3 (s_2^2 - 1) \dot{q}_1 \dot{q}_3 - 2d_2 m_2 s_2 c_2 q_3 \dot{q}_1 \dot{q}_2 \\
 V_{21} &= m_3 q_3 \dot{q}_2 \dot{q}_3 + \frac{d_2^2 m_2 s_2 c_2 q_1 \dot{q}_1}{2} + 2d_2^2 m_3 s_2 c_2 q_1 \dot{q}_1 + d_2 m_3 \dot{q}_2 \dot{q}_3 + \frac{m_3 s_2 c_2 q_3^2 \dot{q}_1 \dot{q}_1}{2} + 2d_2 m_3 s_2 c_2 q_3 q_1 \dot{q}_1 \\
 V_{31} &= d_2 m_3 q_2 \dot{q}_2 - \frac{m_3 q_2 q_3 \dot{q}_2}{2} + d_2 m_3 (s_2^2 - 1) q_1 \dot{q}_1 + \frac{m_3 q_3 (s_2^2 - 1) q_1 \dot{q}_1}{2}
 \end{aligned} \tag{3}$$

$$G = \begin{bmatrix} 0 \\ \frac{m_3 c_2 g q_3}{2} + \frac{d_2 m_2 c_2 g}{2} + d_2 m_3 c_2 g \\ \frac{m_3 s_2 g}{2} \end{bmatrix} \tag{4}$$

$$\text{Đặt } \begin{cases} \Delta H = \hat{H}(Q) - H(Q) \\ \Delta C = \hat{C}(Q, \dot{Q}) - C(Q, \dot{Q}) \\ \Delta G = \hat{G} - G \end{cases} \tag{10}$$

Thay vào phương trình (6) ta có

$$(H + \Delta H)\dot{v} + (C + \Delta C)v + (G + \Delta G) + K_D r = H\dot{Q} + C\dot{Q} + G(Q) \tag{11}$$

$$H(\dot{v} - \dot{Q}) + C(v - \dot{Q}) + \frac{\Delta H \cdot \dot{v} + \Delta C \cdot v + \Delta G}{Y(\dot{V}, V, \dot{Q}, Q)\Delta P} = -K_D r \tag{12}$$

Suy ra:

$$H\dot{r} - Cr + Y(\dot{V}, V, \dot{Q}, Q)\Delta P = -K_D r \tag{13}$$

**2.2. Xây dựng thuật toán điều khiển thích nghi**  
**2.2.1. Xây dựng thuật toán**

Xuất phát từ phương trình động lực học của robot (1) đã được xây dựng.

Khi đặt một momen M vào các khớp thì các khớp sẽ quay một góc là Q với

$$T = [T_1; T_2; \dots T_n]; Q = [q_1; q_2; \dots q_n]$$

T là thành phần momen lấy từ bộ điều khiển, n là số bậc tự do của robot. Khi đó, gia tốc góc quay là:  $\ddot{Q} = H^{-1} * [T - V - G]$  (5)

Khi cánh tay robot làm việc thì góc quay của các khớp, vận tốc các khớp và quán tính của các khớp thay đổi. Giả sử các tham số động học của hệ thống không biết lần lượt là thành phần khối lượng  $m_i$  và thành phần quán tính là  $I_i$  mà ta không biết. Ta phải ước lượng một giá trị của  $m_i$  và  $I_i$ . Momen hoặc lực cần thiết đưa vào các khớp được xác định là:

$$M = \hat{H}(Q)\dot{v} + \hat{C}(Q, \dot{Q})v + \hat{G}(Q) + K_D r \tag{6}$$

Trong đó:  $\begin{cases} v = \dot{q}_d - L(q_d - q) \\ \dot{v} = \ddot{q}_d - L(\dot{q}_d - \dot{q}) \\ r = (\dot{q}_d - \dot{q}) + L(q_d - q) \end{cases}$  (7)

$q_d$  là các giá trị góc đặt của các khớp.

L là ma trận đường chéo xác định dương

Dựa vào luật ước lượng từ phương trình động học

$$M = H(Q)\ddot{Q} + \left[ \frac{1}{2} \frac{\dot{H}(Q) + S(Q, \dot{Q})}{C(Q, \dot{Q})} \right] \dot{Q} + G(Q) = Y(\ddot{Q}, \dot{Q}, Q)P \tag{8}$$

Với ma trận hồi quy  $Y(\ddot{Q}, \dot{Q}, Q)P$

Trong đó:  $P = [m_1; \dots m_n; I_1; \dots I_n]$

Ta có luật cập nhật để tính  $\hat{P}$

$$\hat{P} = \Gamma^{-1} Y^T (\dot{v}, v, \dot{Q}, Q) r \tag{9}$$

Từ luật cập nhật đó, ta tính được các tham

số  $\begin{cases} \hat{m}_1 \dots \hat{m}_n \\ \hat{I}_1 \dots \hat{I}_n \end{cases}$

**2.2.2. Chứng minh thuật toán**

Chọn hàm Lyapunov:

$$V = \frac{1}{2} [r^T H(Q) r + \Delta P^T \Gamma \Delta P] \tag{14}$$

Trong đó,  $\Gamma$  là ma trận đường chéo xác định dương cấp n.

Theo luật cập nhật thì:

$$\dot{\hat{P}} = \Gamma^{-1} Y^T (\dot{v}, v, \dot{Q}, Q) r$$

$$\Delta P = \hat{P} - P \rightarrow \Delta \dot{P} = \dot{\hat{P}}$$

Lấy đạo hàm của  $\Delta P^T \Gamma \Delta P$  ta được:

$$\begin{aligned}
 \frac{d}{dt} (\Delta P^T \Gamma \Delta P) &= \Delta P^T \Gamma \Delta \dot{P} + \Delta P^T \Gamma \dot{Y}^T r = \\
 &= \Delta P^T Y^T r = r^T Y \Delta P
 \end{aligned}$$

Nhân hai vế của phương trình (14) với  $r^T$  ta được:

$$\frac{1}{2} \left[ r^T H(Q) r^T + \frac{r^T Y \Delta P}{\Gamma^{-1} Y^T r} \right] = - \frac{r^T K_D r}{\dot{v}}$$

Trong đó:  $\begin{cases} r^T > 0 \\ K_D > 0 \rightarrow \dot{v} < 0 \\ r > 0 \end{cases}$

Suy ra hệ ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov.

**3. Kết quả ứng dụng thuật toán điều khiển cho robot RRT**

**3.1. Sơ đồ khối điều khiển robot RRT trong không gian Decac**

Sơ đồ mô tả như Hình 2.

Giả sử vị trí ban đầu của tay kẹp robot RRT đang ở tọa độ x(0.768, 0.1560, 659) tương ứng với góc quay của khớp một và khớp 2 là (11.46°, 11.46°) và chiều dài thanh nối thứ ba là 0.3m.

Đặt tọa độ vị trí tay kẹp robot mong muốn

trên hệ trục tọa độ  $O(x_0, y_0, z_0)$  là:

$$(x_d, y_d, z_d) = (0.1, 0.3, 0.5)$$

**3.2. Ứng dụng thuật toán điều khiển**

Đặt biến phụ:

$$v = \mathcal{J}^{-1}(\dot{x}_d + L(x_d - x)) \tag{15}$$

$$\dot{v} = \mathcal{J}^{-1}[\ddot{x}_d + L(\dot{x}_d - \dot{x}) - \dot{J}v] \tag{16}$$

$$r = \mathcal{J}^{-1}[J\dot{q} - \dot{x}_d + L(x - x_d)] \tag{17}$$

Với  $J$  là ma trận Jacobi của robot RRT được xác định từ vị trí của tay kẹp trong hệ trục tọa độ.

$$O(x_0, y_0, z_0) \begin{cases} x = c_1 c_2 (d_2 + q_3) \\ y = c_2 s_1 (d_2 + q_3) \\ z = d_1 + s_2 (d_2 + q_3) \end{cases} \tag{18}$$

$$J = \begin{pmatrix} -c_1 c_2 (d_2 + q_3) + s_1 s_2 (d_2 + q_3) - s_1 c_2 & s_1 s_2 (d_2 + q_3) - c_1 c_2 (d_2 + q_3) - c_1 c_2 & -s_1 c_2 - c_1 s_2 \\ -c_1 s_2 (d_2 + q_3) - s_1 c_2 (d_2 + q_3) + c_1 c_2 & s_1 c_2 (d_2 + q_3) - c_1 s_2 (d_2 + q_3) - s_1 s_2 & -s_1 s_2 + c_1 c_2 \\ 0 & -s_2 (d_2 + q_3) + c_2 & c_2 \end{pmatrix} \tag{19}$$

$L$  là ma trận đường chéo xác định dương (3x3)

$$\dot{X} = [\dot{x}, \dot{y}, \dot{z}]^T \text{ với } \dot{X} = J\dot{\theta}$$

Bộ điều khiển và luật cập nhập tham số là:

$$T = H\dot{v} + Cv + G + K_d r \tag{20}$$

Suy ra:

$$\frac{\partial x}{\partial \theta_1} = -s_1 c_2 (d_2 + q_3); \frac{\partial x}{\partial \theta_2} = -c_1 s_2 (d_2 + q_3)$$

$$\frac{\partial x}{\partial q_3} = c_1 c_2; \frac{\partial y}{\partial \theta_1} = c_1 c_2 (d_2 + q_3);$$

$$\frac{\partial y}{\partial \theta_2} = -s_2 s_1 (d_2 + q_3); \frac{\partial y}{\partial q_3} = s_1 c_2; \frac{\partial z}{\partial \theta_1} = 0;$$

$$\frac{\partial z}{\partial \theta_2} = c_2 (d_2 + q_3); \frac{\partial z}{\partial q_3} = s_2.$$

Suy ra:

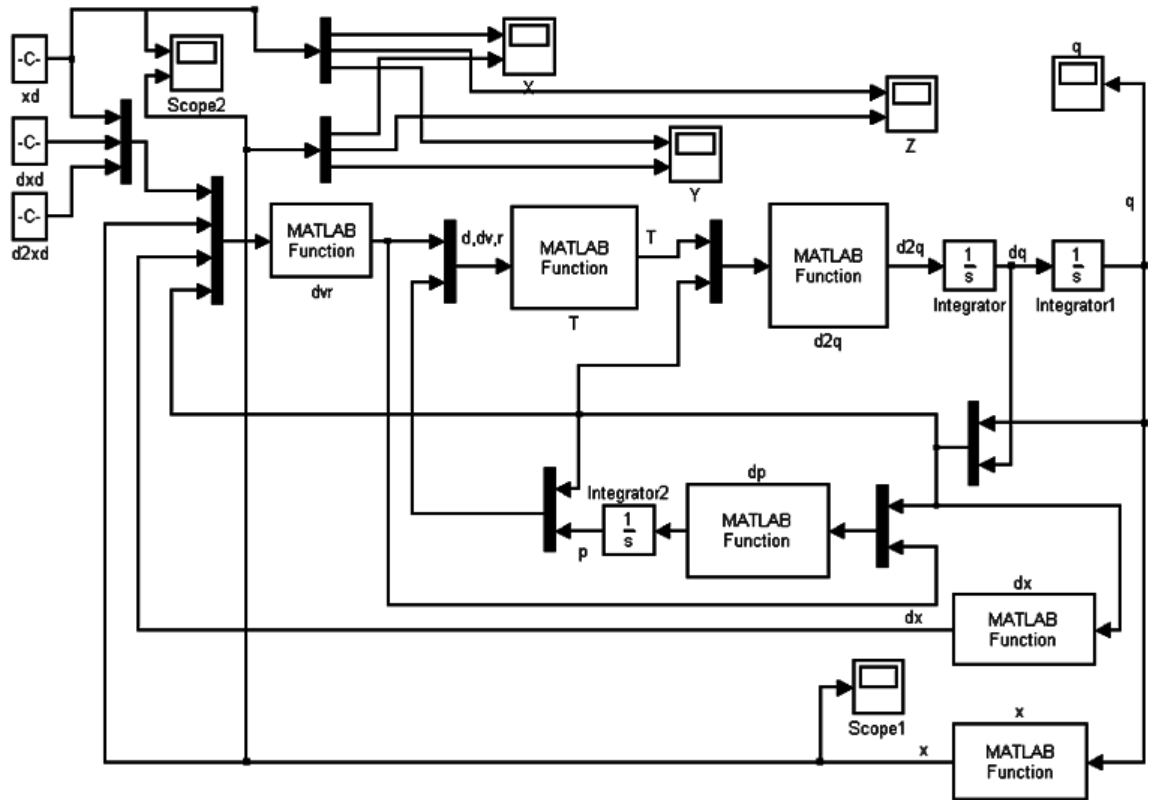
$$J = \begin{pmatrix} -s_1 c_2 (d_2 + q_3) & -c_1 s_2 (d_2 + q_3) & c_1 c_2 \\ c_1 c_2 (d_2 + q_3) & -s_2 s_1 (d_2 + q_3) & s_1 c_2 \\ 0 & c_2 (d_2 + q_3) & s_2 \end{pmatrix}$$

$$\text{Với } \dot{P} = -T_e^{-1} Y^T r$$

$$\text{hay } \dot{P} = \Gamma^{-1} Y^T (\dot{v}, v, \dot{Q}, Q) r$$

Các tham số được cập nhập và đưa vào bộ

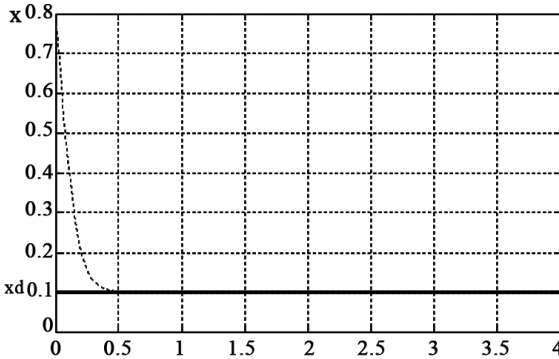
$$\text{điều khiển là: } P = [m_2; m_3; \hat{I}_1; \hat{I}_2; \hat{I}_3]^T$$



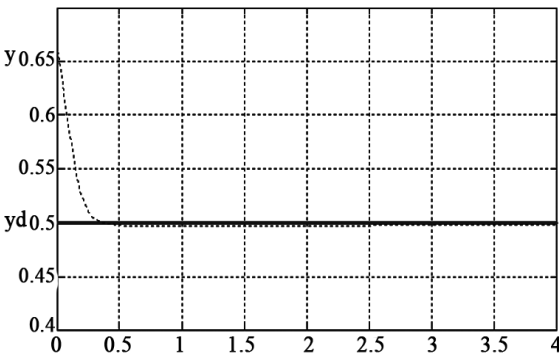
Hình 2. Sơ đồ điều khiển robot RRT trong không gian Decac

**3.3. Kết quả mô phỏng ứng dụng thuật toán cho robot RRT**

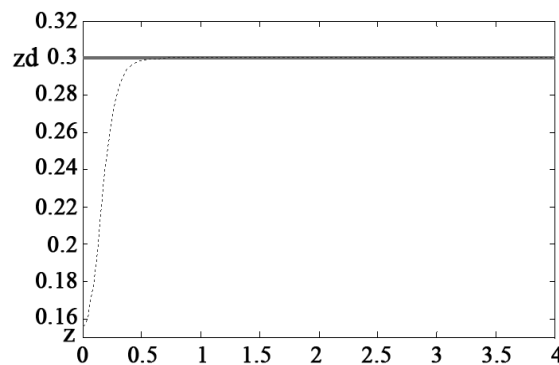
**3.3.1. Kết quả các đáp ứng của vị trí tay kẹp robot trong hệ trục tọa độ gốc**



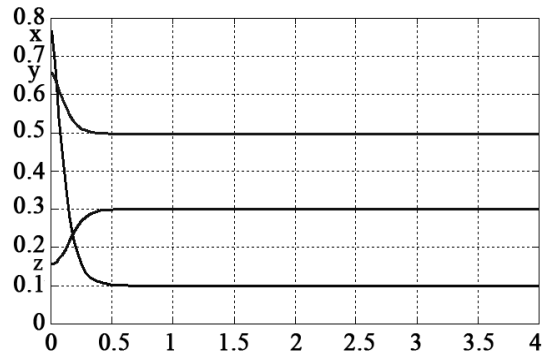
Hình 3. Đáp ứng theo trục x  
 $Kd=[20\ 0\ 0; 0\ 20\ 0; 0\ 0\ 20]$   
 $L=[10\ 0\ 0; 0\ 10\ 0; 0\ 0\ 10]$



Hình 4. Đáp ứng theo trục y  
 $Kd=[20\ 0\ 0; 0\ 20\ 0; 0\ 0\ 20]$   
 $L=[10\ 0\ 0; 0\ 10\ 0; 0\ 0\ 10]$



Hình 5. Đáp ứng theo trục z  
 $Kd=[20\ 0\ 0; 0\ 20\ 0; 0\ 0\ 20]$   
 $L=[10\ 0\ 0; 0\ 10\ 0; 0\ 0\ 10]$



Hình 6. Đáp ứng theo trục x, y, z  
 $Kd=[20\ 0\ 0; 0\ 20\ 0; 0\ 0\ 20]$   
 $L=[10\ 0\ 0; 0\ 10\ 0; 0\ 0\ 10]$

**3.3.2. Đánh giá kết quả mô phỏng trên robot RRT**

Với kết quả mô phỏng thu được trong Hình 3, Hình 4, Hình 5, Hình 6 ta thấy

- Tọa độ điểm tác động cuối của cánh tay máy bám theo tọa độ đặt trước  $(x_d, y_d, z_d) = (0.1, 0.3, 0.5)$
- Thời gian quá độ nhỏ (đều nhỏ hơn 0.5ms).
- Độ quá điều chỉnh thấp.

**4. Kết luận và đánh giá**

Bài báo trình bày tổng quan về ứng dụng thuật toán điều khiển thích nghi điều khiển chuyển động robot công nghiệp trong không gian Decac. Với kết quả thu được từ ứng dụng trên cánh tay robot RRT nhận thấy chất lượng điều khiển thu được khá tốt. Ưu điểm nổi bật của phương pháp này là hạn chế những ảnh hưởng của sự thay đổi các tham số động học của robot đến chất lượng chuyển động trong quá trình làm việc. Các tham số động học không cần xác định chính xác mà chỉ ước lượng một giá trị nào đó. Các tham số này sẽ được cập nhật thường xuyên bằng luật cập nhật tham số và được đưa vào bộ điều khiển. Điều này sẽ làm giảm sự ảnh hưởng của sự thay đổi các tham số động học của cánh tay robot trong quá trình làm việc.

Ngoài ra, với thuật toán này có thể phát triển thêm ứng dụng mạng Neural trong việc nhận dạng sự thay đổi các tham số động học trong phương pháp này thì chất lượng điều khiển thu được sẽ tốt hơn.

**Tài liệu tham khảo**

[1]. Nguyễn Mạnh Tiến, (2007), “Điều khiển Robot công nghiệp”, NXB KHKT, Hà Nội.  
 [2]. Phạm Đăng Phước, (2006), “Robot công nghiệp”, NXB KHKT, Hà Nội.

- [3]. Jean-Jacques, E.Slotine, Weiping Li, “*On the Adaptive Control of Robot Manipulator*”, the international Journal of Robotics Research, 1987, page 147-157.
- [4]. Bernard Hodges, (1992), “*Industrial Robotics*”, Oxford Newnes.
- [5]. Prankl-Lewis, (2004), “*Robot Manipulator Control Theory and Practice*”, Marcel Dekker.
- [6]. Wesley E. Snyder, (1985), “*Industrial Robots*”, Computer Interfacing and Control, Prentice-Hall, New Jersey.

### RESEARCH, APPLY ADAPTIVE ALGORITHM TO CONTROL MOVEMENTS OF ROBOT MANIPULATOR IN DEAC SPACE

**Abstract:**

*To improve the quality of industrial robot motion, the controller uses the control algorithm as sliding controller, PID offset gravity, exact linearization. However, the working conditions of industrial robots, the kinetic parameters such as changes in the weight of the robot arm to pick up objects, inertial torque changes affecting the motion of the robot. To mitigate and reduce the impact that the movement of the robot, using adaptive control algorithm with the aim to adapt with changes that kinetic parameters.*

**Keywords:** *Robot control, Adaptive control, Control systems that have variability parameters.*