

# ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG CHO HỆ CHUYỂN ĐỘNG TAY MÁY ALMEGA 16

## A NOVEL APPLICATION ROBUST CONTROL ALGORITHM FOR THE MOTION SYSTEM OF ALMEGA16 MANIPULATORS

**Hà Trung Kiên, Đoàn Đức Thắng**

Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

Ngày nhận bài: 20/5/2018, Ngày chấp nhận đăng: 02/7/2018, Phản biện: TS. Mai Hoàng Công Minh

### **Tóm tắt:**

Bài báo này đề cập đến việc ứng dụng thuật toán điều khiển bền vững cho hệ chuyển động tay máy Almega16 ở không gian khớp. Phương pháp điều khiển bền vững trên tiêu chuẩn Lyapunov này có điểm mạnh là giảm thiểu các tính toán on-line, ổn định khi thêm vào nhiễu ngoại, đồng thời không cần biết trước các tham số bất định động lực học và đảm bảo được ổn định tiệm cận. Kết quả được biểu diễn qua mô phỏng trên phần mềm Matlab/Simulink cho thấy hệ chuyển động Robot Almega16 đã đáp ứng được yêu cầu điều khiển, đảm bảo sai số của các khớp quay và vị trí của khâu tác động cuối nhanh chóng đạt tới không trong thời gian quá độ nhỏ làm cho hệ thống kín ổn định.

### **Từ khóa:**

Điều khiển bền vững, tiêu chuẩn Lyapunov, robot Almega16.

### **Abstract:**

This paper presents an application of robust control algorithm for the motion system of Almega16 manipulator in joint space . The control method has strengths that minimize the on-line calculations and is stable when external noise are added, and it does not need to know previously the dynamic uncertain parameters and it guarantee asymptotic stability. The results are presented through out Matlab/Simulink simulations and show that the motion system of Robot Almega16 satisfies the control requirement: the cartesian position steady state errors of rotating joints and the last stage of act upon quickly converge to zero within a short transient time, so that closed-loop system is stable.

### **Keywords:**

Robust control, Lyapunov method, robot Almega16.

## **1. ĐẶT VẤN ĐỀ**

Robot công nghiệp - robot Almega16 là một đối tượng có tính phi tuyến cao với nhiều thông số bất định, chịu tác động xen kẽ giữa các khớp với nhau đó là các nguyên nhân gây ra độ sai lệch bám quỹ đạo nên việc nghiên cứu nâng cao chất

lượng điều khiển chuyển động bám quỹ đạo chính xác của robot công nghiệp luôn được nhiều nhà khoa học trong và ngoài nước quan tâm [4, 5]. Có nhiều phương pháp đã nghiên cứu và áp dụng điều khiển bám quỹ đạo cho hệ chuyển động của tay máy công nghiệp và mỗi phương pháp được áp dụng lại có những ưu điểm và

nhược điểm khác nhau [6] và được áp dụng tùy theo ứng dụng cụ thể, cũng như tùy thuộc vào bài toán kinh tế cần giải quyết. Vì vậy nội dung bài báo lựa chọn đề cập tới vấn đề điều khiển chuyển động của robot công nghiệp là đề xuất và ứng dụng giải pháp điều khiển nâng cao chất lượng chuyển động của robot công nghiệp trong không gian khớp, điều khiển bền vững có ưu điểm là không cần phải biết chính xác thông số của đối tượng, khi đối tượng thực tế lại có thông số thay đổi và nhiễu không xác định trong môi trường làm việc.

## 2. ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG TRONG HỆ CHUYỂN ĐỘNG ROBOT CÔNG NGHIỆP

### 2.1. Giới thiệu về ổn định bền vững và ổn định bền vững bằng phương pháp Lyapunov cho tay máy công nghiệp

Bộ điều khiển bền vững có nghĩa là nếu có thể xác định được một mặt trượt và đưa ra giới hạn về độ bất định của mô hình hệ thống, tìm ra mômen để lái tín hiệu sai số tới điểm giao của mặt trượt [4]. Như vậy bộ điều khiển này loại bỏ được ảnh hưởng tính phi tuyến của các khớp bằng cách đặt mômen hệ thống điều khiển chuyển động các góc khớp tới từ mặt trượt. Luật điều khiển này cũng được xây dựng dựa trên tiêu chuẩn ổn định Lyapunov.

Xuất phát từ phương trình động lực học tổng quát của hệ tay máy công nghiệp viết dưới dạng [5]:

$$\tau = M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (1)$$

Trong đó:

$\tau$ : momen đặt lên khớp  $i$  khi thực hiện chuyển động quay;

$M$ : ma trận quán tính;

$C$ : vectơ tương hỗ và ly tâm;

$G$ : vectơ trọng trường;

$q$ : biến khớp.

Từ đó xây dựng luật điều khiển bền vững theo Lyapunov như sau:

Luật điều khiển bền vững được đưa vào như sau:

$$\tau_{dk} = \hat{M}(q)\dot{v} + \hat{C}(q, \dot{q})v + \hat{G}(q) + K \operatorname{sgn}(r) \quad (2)$$

Trong đó:

$\tau_{dk}$ : momen điều khiển đặt lên khớp  $i$  khi thực hiện chuyển động quay;

$\hat{M}(q), \hat{C}(q, \dot{q}), \hat{G}(q)$ : các thành phần ước lượng của  $M(q), C(q, \dot{q}), G(q)$ .

$$v = \dot{q}_d + \Lambda(q_d - q) = \dot{q}_d + \Lambda e$$

$\Lambda$ : ma trận chéo, xác định dương

$$r = v - \dot{q}$$

$K$ : hệ số “damping”, là ma trận đường chéo, xác định dương [4].

$$\operatorname{sgn}(r) = [\operatorname{sgn}(r_1), \operatorname{sgn}(r_2), \dots, \operatorname{sgn}(r_n)]^T$$

$$\operatorname{sgn}(r_i) = \begin{cases} +1 & \text{nếu } r_i > 0 \\ -1 & \text{nếu } r_i < 0 \end{cases}$$

$$\tau_i = \begin{cases} \tau_i^+ & \text{nếu } r_i > 0 \\ \tau_i^- & \text{nếu } r_i < 0 \end{cases}$$

Chọn hàm Lyapunov xác định dương:

$$V = \frac{1}{2} r^T M(q) r \Rightarrow \dot{V} = r^T M(q) \dot{r} + \frac{1}{2} r^T \dot{M}(q) r \quad (3)$$

Kết hợp (1) và (2) được phương trình động lực học kín của robot như sau:

$$M(q)\ddot{q} + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) = \hat{M}(q)\dot{v} + \hat{C}(q, \dot{q})v + \hat{G}(q) + K \operatorname{sgn}(r) \quad (4)$$

$$\text{Đặt } \begin{cases} r = v - \dot{q} \\ \dot{r} = \dot{v} - \ddot{q} \end{cases} \text{ và } \begin{cases} \tilde{M} = M - \hat{M} \\ \tilde{C} = C - \hat{C} \\ \tilde{G} = G - \hat{G} \end{cases}$$

Thế vào phương trình (4) ta được:

$$\begin{aligned} M\dot{r} + Cr + K \operatorname{sgn}(r) &= \tilde{M}\dot{v} + \tilde{C}v + \tilde{G} \\ \Rightarrow M\dot{r} &= \tilde{M}\dot{v} + \tilde{C}v + \tilde{G} - Cr - K \operatorname{sgn}(r) \end{aligned} \quad (5)$$

Do  $S = C(q, \dot{q}) - \frac{1}{2}\dot{M}(q)$  theo [4, 5] nên

$$C(q, \dot{q}) - \frac{1}{2}\dot{M}(q) = 0$$

Kết hợp với (5), (6) ta được:

$$\dot{V} = r^T (\tilde{M}\dot{v} + \tilde{C}v + \tilde{G}) - \sum_{i=1}^n k_i |r_i| \quad (6)$$

Để  $\dot{V} \leq 0$  thì ta chọn hệ số

$$k_i \geq |[\tilde{M}\dot{v} + \tilde{C}v + \tilde{G}]_i + \eta_i| \text{ với } \eta_i > 0$$

Khi đó

$$\dot{V} \leq -\sum_{i=1}^n \eta_i |r_i| < 0 \quad (7)$$

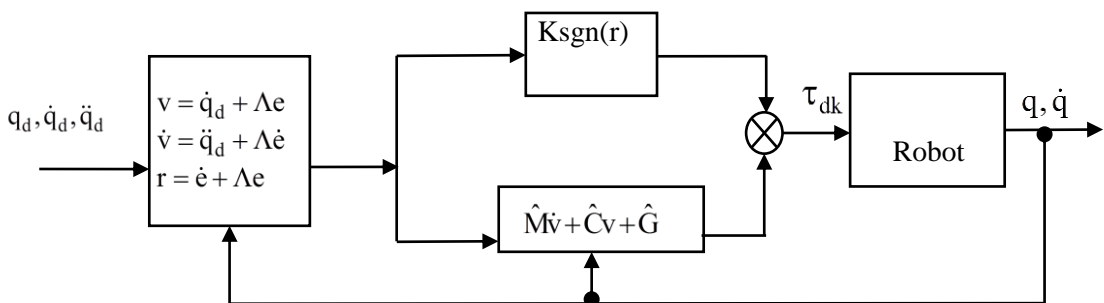
Do đó hệ thống sẽ ổn định theo tiêu chuẩn Lyapunov.

## 2.2. Ưu nhược điểm của ổn định bền vững bằng phương pháp Lyapunov

*Ưu điểm:* Bộ điều khiển này cũng giống với bộ điều khiển thích nghi Li-Slotine [5], có nghĩa là ta không cần phải biết chính xác các tham số động lực học của robot mà vẫn có thể ổn định được hệ thống, đảm bảo sai lệch giữa giá trị đặt và giá trị thực giảm về 0 nhanh chóng, từ đó ổn định được hệ thống ngay cả khi có nhiễu tác động vào.

*Nhược điểm:* Việc xác định vùng bao, vùng giới hạn mà trong đó hệ thống ổn định là rất khó khăn và không phải lúc nào cũng xác định được, thậm chí là không thể xác định được. Để hạn chế được nhược điểm này thì cách tốt nhất là ta có thể kết hợp với bộ điều khiển thích nghi vì bộ điều khiển thích nghi có khả năng xác định được sự thay đổi của vùng bao và do đó mà hệ thống có thể ổn định được [4, 5].

Sơ đồ cấu trúc của bộ điều khiển bền vững như sau:



Hình 1. Sơ đồ cấu trúc của luật điều khiển bền vững

Trong đó

$q$ : Góc khớp thực;

$\dot{q}$ : Vận tốc khớp thực;

$e$ : sai số của các khớp quay.

### 3. ỨNG DỤNG THUẬT TOÁN ĐIỀU KHIỂN BỀN VỮNG TRONG HỆ CHUYỂN ĐỘNG ROBOT ALMEGA 16

#### 3.1. Xây dựng mô hình hệ chuyển động robot Almega trên phần mềm Matlab Simulink

Để áp dụng thuật toán điều khiển bền vững theo phương pháp Lyapunov ta sử dụng phương trình động lực học của đối tượng chọn điều khiển tay máy Almega 16 với 3 khớp (khớp 1, khớp 2, khớp 3) đã thiết lập ở [6].

Thông số của robot Almega 16: Do tổng khối lượng của tay máy Almega 16 là 250 kg và dựa vào số liệu của 3 khớp nên ta có thể tính được gần đúng các thông số cơ bản của 3 khớp như sau [6]:

$$\hat{m}_1 = 67 \text{ [kg]}; \hat{m}_2 = 52 \text{ [kg]}; \hat{m}_3 = 16 \text{ [kg]},$$

$$\hat{l}_1 = 0,1 \text{ [m]}; \hat{a}_2 = 0,065; \hat{a}_3 = 0,047$$

Từ việc tính toán tham số và khảo sát hệ thống bằng phần mềm Matlab/Simulink và Matlab/Simechanic, kết hợp với bảng

tham số của bộ điều khiển bền vững (bảng 1) được mô phỏng biểu diễn như hình 2.

Trong đó:

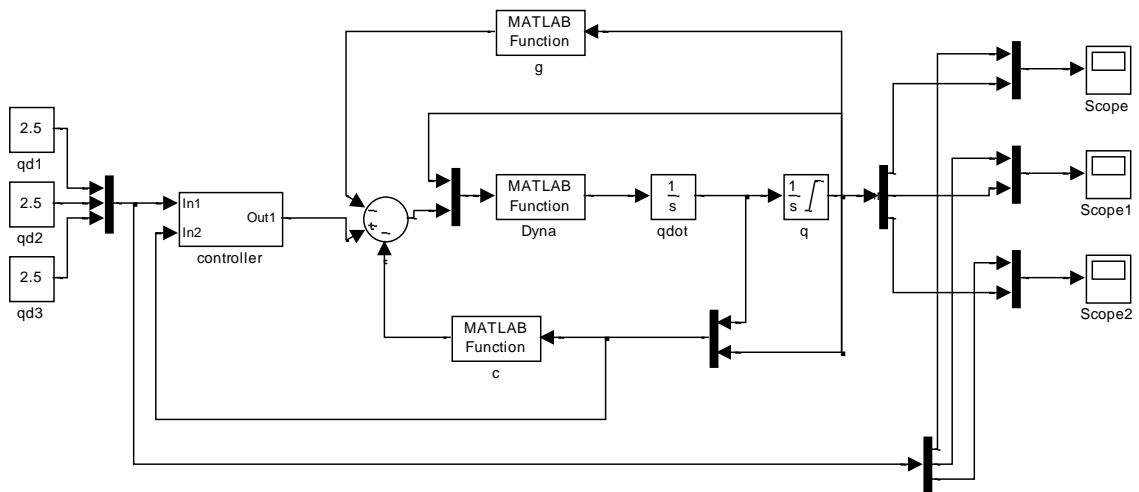
$g, c, Dyna$ : các hàm tính ma trận  $G, C$ , và hàm để tính  $\ddot{q}$ ;

$In1, In2$ : lần lượt là các giá trị đặt các biến khớp và các giá trị thực của các biến khớp;

Controller: bộ điều khiển bền vững (bộ điều khiển này được tính như ở phương trình số (2)).

**Bảng 1. Tham số của bộ điều khiển**

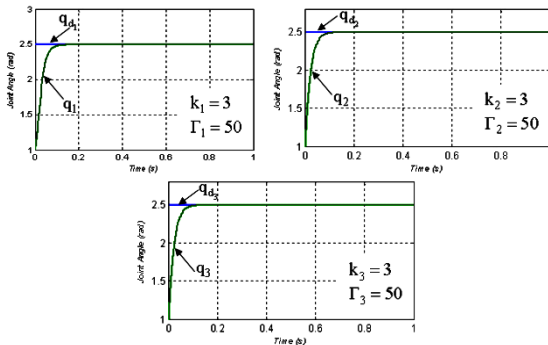
Ký hiệu	Tên tham số	Giá trị tham số các trục khớp
K	Hệ số “damping”	$K_1 = 3, K_2 = 3, K_3 = 3$
$q_d$	Giá trị đặt	$q_{d1} = 2.5(\text{rad}),$ $q_{d2} = 2.5(\text{rad}),$ $q_{d3} = 2.5(\text{rad})$
$\Gamma$	Ma trận chéo dương	$\lambda_1 = 50, \lambda_2 = 50, \lambda_3 = 50$



**Hình 2. Mô hình Simulink mô phỏng luật điều khiển bền vững**

### 3.2. Kết quả mô phỏng

#### 3.2.1. Kết quả mô phỏng trong trường hợp không có nhiễu tác động



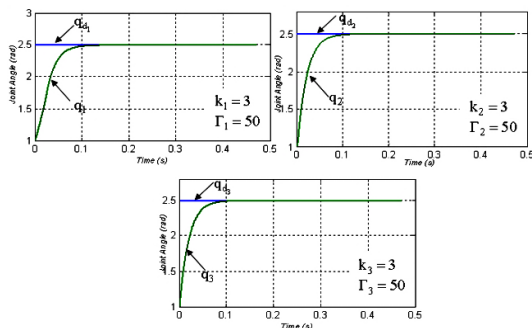
Hình 3. Sai lệch 3 góc khớp khi không có nhiễu tác động

#### 3.2.2. Kết quả mô phỏng trong trường hợp có nhiễu nhỏ tác động

Nhiễu ngoại là vectơ  $n \times 1$  chưa biết, được xác định:  $\|\tau_d\| \leq d$ ,  $d$ : hàm vô hướng không đổi, được tính trong trường hợp tay máy cụ thể. Giá trị nhiễu nhỏ tác động chuyển động 3 góc khớp được chọn là:

$$\tau_d = \begin{bmatrix} 2\sin(10t) \\ 2\sin(10t) \\ 2\sin(10t) \end{bmatrix}$$

#### ▪ Quỹ đạo đặt là hàm 1(t)



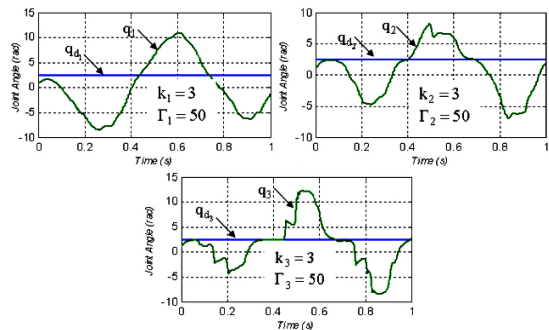
Hình 4. Sai lệch 3 góc khớp khi có nhiễu nhỏ tác động

#### 3.2.3. Kết quả mô phỏng trong trường hợp có nhiễu tác động lớn

Giá trị nhiễu lớn tác động chuyển động 3 góc khớp được chọn là:

$$\tau_d = \begin{bmatrix} 1000\sin(10t) \\ 1000\sin(10t) \\ 1000\sin(10t) \end{bmatrix}$$

#### ▪ Quỹ đạo đặt là hàm 1(t)



Hình 5. Sai lệch 3 góc khớp khi có nhiễu tác động lớn với quỹ đạo là hàm 1(t)

**Nhận xét:** Từ kết quả mô phỏng phương pháp điều khiển bền vững ở trên với robot Almega16, (hình 3, hình 4, hình 5) cho thấy là bộ điều khiển này chỉ có khả năng ổn định hệ thống trong một vùng bao nào đó của các thành phần trong phương trình động lực học (1), [4]. Trong vùng bao đó thì dù có nhiễu tác động thì hệ thống vẫn ổn định, sai lệch góc khớp giữa giá trị đặt và giá trị thực không tiến về 0, và không xuất hiện dao động. Còn ngoài vùng bao giới hạn đó thì bộ điều khiển bền vững không ổn định được hệ thống, sai lệch không tiến về 0 mà dao động rất mạnh. Mô phỏng trên trong trường hợp có nhiễu lớn tác động thì không có bất cứ tham số nào của bộ điều khiển có thể làm cho hệ thống ổn định (hình 5). Điều này dẫn đến

việc khó khăn khi áp dụng vào hệ thống robot thật vì khi robot hoạt động thì có nhiều tác động và nhiễu này không được xác định chính xác dẫn đến sẽ có lúc vượt khỏi vùng bao gây ra mất ổn định cho hệ thống, [4].

#### 4. KẾT LUẬN

Bài báo đề cập đến vấn đề chứng minh lại thuật toán điều khiển bền vững bằng mô hình mô phỏng cho robot Almega16 trong không gian khớp để từ đó thấy rằng: Đảm bảo chất lượng bám chính xác quỹ đạo mà không phụ thuộc vào tham số hằng bất định của mô hình động lực học (1) và chịu tác động các thành phần xen kênh giữa các trục khớp ( $C(q, \dot{q})\dot{q}$ ). Ưu điểm

của phương pháp điều khiển là việc giảm đáng kể khối lượng tính toán online so với phương pháp điều khiển thích nghi [6], giúp hệ thống nhanh chóng ổn định đảm bảo tính thời gian thực trong xử lý điều khiển là rất quan trọng với các hệ thống công nghiệp nói chung và là yếu tố quyết định đối với khả năng đáp ứng các yêu cầu công nghệ của robot thế hệ mới nói riêng. Tuy nhiên việc tính toán chính xác các vùng bao, giới hạn trong điều khiển bền vững cũng gặp nhiều khó khăn, đôi khi không thể thực hiện được. Qua đó có thể đúc kết kinh nghiệm thiết kế và ứng dụng thuật toán điều khiển bền vững phù hợp cho hệ chuyển động tay máy công nghiệp (TMCN) nhiều bậc tự do.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [8] Nguyễn Mạnh Tiến, Điều khiển robot công nghiệp, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2007.
- [9] Nguyễn Thiện Phúc, Robot công nghiệp, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2004.
- [10] Nguyễn Phùng Quang, MATLAB & SIMULINK dành cho kỹ sư điều khiển tự động, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2006.
- [11] Neil Munro, Frank L.Lewis, Robot Manipulator Control Theory and Practice, Marcel Dekker 2004.
- [12] John J. Craig, Introduction to robotics: mechanics and control, 1995. Mark W. Spong, F. L. Lewis, C. T. Bdallah, Robot control: Dynamic, Motion planning, and Analysis, 1992.
- [13] Ha.V.Th., Một số giải pháp điều khiển nhằm nâng cao chất lượng chuyển động của tay máy công nghiệp, luận án tiến sĩ, 2012.

#### Giới thiệu tác giả:



Tác giả Hà Trung Kiên tốt nghiệp đại học chuyên ngành tự động hóa năm 2001, nhận bằng Thạc sĩ Tự động hóa năm 2008 tại Trường Đại học Bách khoa Hà Nội. Hiện nay đang là giảng viên tại Khoa Điện - Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: các vấn đề liên quan đến tự động hóa quá trình công nghệ, điều khiển robot công nghiệp, các ứng dụng của điện tử công suất.



Tác giả Đoàn Đức Thắng tốt nghiệp đại học chuyên ngành thiết bị điện - điện tử năm 2004, nhận bằng Thạc sĩ chuyên ngành điện - tự động hóa năm 2010 tại Trường Đại học Hàng Hải Việt Nam. Hiện nay đang là giảng viên tại Khoa Điện – Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội.

Lĩnh vực nghiên cứu: các lĩnh vực liên quan đến Robot, tối ưu cho cánh tay robot công nghiệp.