

MỘT PHƯƠNG PHÁP TỔNG HỢP HỆ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHĨ BỀN VỮNG DỰA TRÊN THUẬT TOÁN SLIDING MODE CHO ROBOT CÓ KÈ ĐÊN TÁC ĐỘNG CỦA NGOẠI LỰC VÀ NHIỀU BÊN NGOÀI

Đặng Ngọc Trung
Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên,

TÓM TẮT

Bài báo đề xuất một phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi bền vững cho Robot có kè đèn tác động của ngoại lực và nhiều bên ngoài. Trong đó, ngoại lực và nhiều bên ngoài có thể có những đột biến và không đột biến. Nội dung bài báo đã giới thiệu và đề cập đến việc đánh giá nhiều và ngoại lực trên cơ sở bù trừ ảnh hưởng của các yếu tố này, từ đó để xuất thuật toán điều khiển trượt cho đối tượng Robot, đảm bảo tính bền vững với nhiều và áp dụng bằng minh họa cụ thể thông qua đối tượng cánh tay Robot có 2 bậc tự do để khẳng định tính đúng đắn của thuật toán.

Từ khóa: Điều khiển thích nghi bền vững, Robot, nhiều, nhiều ngoại lực đột biến, điều khiển trượt

1. MỞ ĐẦU

Với hy vọng các hệ Robot dần thay thế con người trong các hoạt động tay chân, vì thế việc tập trung nghiên cứu các phương pháp điều khiển nhằm nâng cao chất lượng của Robot luôn được quan tâm mỗi ngày. Robot nói chung và Robot công nghiệp nói riêng đều là những hệ thống phi tuyến có chứa các tham số bất định, chịu ảnh hưởng của nhiều và ngoại lực từ tài và môi trường bên ngoài. Việc sử dụng các bộ điều khiển kinh điển, như PID để điều khiển các đối tượng phức tạp như trên gặp rất nhiều khó khăn, thậm chí không thể mang lại kết quả mong đợi [1,11]. Trong khi đó, thực tế yêu cầu về chất lượng điều khiển Robot ngày càng đòi hỏi cao hơn. Chính vì vậy, việc xây dựng các thuật toán điều khiển thông minh cho Robot, đảm bảo độ chính xác cao, bền vững với nhiều thực sự là cấp thiết, thu hút các chuyên gia điều khiển [3–10]. Các thuật toán điều khiển thích nghi được đề xuất để điều khiển Robot tuy có thể nâng cao chất lượng, bù trừ được phần nào ảnh hưởng sự biến thiên của các thông số động học, song thường chịu gánh nặng về khối lượng tính toán, cản trở việc thực hiện chúng ở chế độ thời gian thực [8,9]. Có khá nhiều thuật toán điều khiển thông minh dành cho Robot được đề xuất trên cơ sở sử dụng Logic mờ [5,11]. Chất lượng của hệ thống điều khiển thực thi

các thuật toán điều khiển này còn phụ thuộc vào mức độ hợp lý của việc lựa chọn luật điều khiển mờ và các hàm liên thuộc, đồng thời bị giảm sút khi có các nhiễu bên ngoài tác động lên Robot. Chế độ trượt với các tính năng vượt trội [2,10] được áp dụng để tổng hợp các hệ điều khiển trượt [3,6,7] cho Robot. Các hệ này tuy có tính bắt biến đổi với sự thay đổi tham số động học của Robot, có tính kháng nhiễu tốt, song còn có nhược điểm do hiện tượng rung (chattering) gây ra. Điều khiển trượt – PID cho Robot được đề xuất trong các công trình [6,7]. Luật PID ở đây được áp dụng chỉ để hình thành mặt trượt và không trực tiếp tạo ra tín hiệu điều khiển. Vì vậy, tuy được gọi là điều khiển trượt – PID, nhưng không có sự kết hợp rõ nét ưu điểm của luật điều khiển PID với điều khiển trượt. Bộ điều khiển mạng Neron – Trượt – PID đề xuất trong [7] còn có nhược điểm là tốc độ hiệu chỉnh các trọng số của mạng Neron phụ thuộc vào hàm S, trong lúc hàm này thay đổi với tần số cao xung quanh mặt trượt $S = 0$, dẫn đến quá trình học của mạng chậm hôi tụ.

Có thể thấy rằng, cho đến nay vẫn chưa giải quyết được thỏa đáng vấn đề đảm bảo chất lượng cao cho các hệ điều khiển Robot với động học phức tạp, tham số thay đổi trong phạm vi rộng, chịu tác động của ngoại lực và nhiễu từ bên ngoài, đặc biệt là trường hợp các tác động nhiễu từ bên ngoài có các đột biến và không đột biến. Dưới đây đề xuất phương

* Tel 0982252710, Email trungcskt@gmail.com

pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi bền vững cho Robot trên cơ sở sử dụng trượt, nhận dạng và bù nhiễu.

2. ĐẶT VẤN ĐỀ

Động học của Robot với n – khớp được mô tả bằng phương trình Lagrange – Euler [1].

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

Trong đó $\mathbf{M}(q) \in \mathbb{R}^{nn}$ là ma trận quan tính có các vectơ $q, \dot{q}, \ddot{q} \in \mathbb{R}^n$ là vị trí, tốc độ và gia tốc của các khớp tương ứng; $\mathbf{C}(q, \dot{q}) \in \mathbb{R}^{nn}$ là ma trận Coriolis và lực ly tâm; $\mathbf{G}(q) \in \mathbb{R}^n$ là vectơ lực trọng trường; $\mathbf{F}(\dot{q}) \in \mathbb{R}^n$ là vectơ biểu diễn động học ma sát; $\tau_s \in \mathbb{R}^n$ là vectơ ngoại lực và nhiễu từ bên ngoài (external disturbances); $\tau \in \mathbb{R}^n$ là vectơ momen cấp cho Robot. Đáng chú ý là τ_s là hàm bắt định, có thể là hàm không trơn và có khả năng có những độ biến. Điều này làm cho bài toán tổng hợp hệ thống điều khiển chất lượng cao cho đối tượng (1) càng phức tạp thêm. Vấn đề đặt ra là phải tổng hợp hệ điều khiển cho Robot (1), đảm bảo bám sát theo quỹ đạo mong muốn, có tính thích nghi, kháng nhiễu tốt.

3. TỔNG HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI KHÁNG NHIỄU TRÊN CƠ SỞ ĐÁNH GIÁ NHIỄU VÀ SỬ DỤNG ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT

Động học của Robot theo (1) là động học phi tuyến với nhiều yếu tố bắt định. Các thành phần bắt định cần được quan tâm hàng đầu là τ_s và $\mathbf{F}(\dot{q})$. Đây là hai thành phần không đo được. Tính bắt định và tính không trơn với khả năng xuất hiện đột ngột của các thành phần ngoại lực và nhiễu bên ngoài τ_s , gây ảnh hưởng rất lớn lên hệ thống. Để tiện cho việc theo dõi, ta gọi tổng của các thành phần bắt định đó là nhiễu (disturbances) T_d :

$$T_d = \mathbf{F}(\dot{q}) + \tau_d, T_d \in \mathbb{R}^n \quad (2)$$

Khi đó phương trình (1) được viết lại dưới dạng:

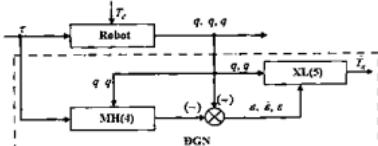
$$\mathbf{M}_*(q)\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}_*(q, \dot{q})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}_*(q) + T_d = \tau \quad (3)$$

Để đảm bảo chất lượng cao cho hệ thống điều khiển đối tượng (3), với những tính phức tạp của T_d như đã nêu ở phần trên, chúng ta sẽ

sử dụng điều khiển trượt. Điều khiển trượt có những ưu điểm nổi trội như: bắt biến đổi với sự thay đổi của các tham số động học của đối tượng, bắt biến đổi với nhiễu tác động lên hệ thống [2,10]. Tuy nhiên nếu không có thêm các giải pháp nhận dạng – đánh giá và bù trừ nhiễu thì đòi hỏi thành phần điều khiển Relay trong luật điều khiển trượt có biên độ lớn (với độ lớn tương ứng với cường độ nhiễu), dẫn đến hiện tượng rung. Độ rung càng lớn khi biên độ của thành phần Relay càng lớn. Nếu giảm biên độ của thành phần này thì ảnh hưởng của nhiễu tăng lên, đồng thời kéo dài thời gian để hệ thống chuyển động từ trạng thái ban đầu về đến mặt trượt. Đó là những nhược điểm và là điều không mong đợi. Nhằm khắc phục các nhược điểm nêu trên, dưới đây đề xuất phương pháp đánh giá nhiễu và luật điều khiển trượt mới, trong đó sử dụng kết quả đánh giá nhiễu và thành phần bổ sung, nhờ vậy cho phép giảm biên độ của thành phần Relay trong luật điều khiển trượt mà hệ thống vẫn chuyển động nhanh về mặt trượt.

Đánh giá nhiễu tác động lên hệ thống

Trên H.1 là sơ đồ cấu trúc của khối đánh giá nhiễu tác động lên Robot.



H.1 Sơ đồ cấu trúc khối đánh giá nhiễu (DGN)

Khối đánh giá nhiễu (DGN) được xây dựng trên cơ sở của khối mô hình (MH) và khối xử lý (XL). Động học của mô hình được mô tả bằng phương trình:

$$\mathbf{M}_*(q)\ddot{\mathbf{q}} + \mathbf{C}_*(q, \dot{q})\dot{\mathbf{q}} + \mathbf{G}_*(q) = \tau \quad (4)$$

Trong đó:

$$\mathbf{M}_*(q) = \mathbf{M}(q), \quad \mathbf{C}_*(q) = \mathbf{C}(q), \quad \mathbf{G}_*(q) = \mathbf{G}(q)$$

Từ các phương trình (3) và (4) ta thu được: $-\mathbf{M}(q)\ddot{q} - \mathbf{C}(q)\dot{q} = \hat{T}_s, \quad \hat{T}_s \in \mathbb{R}^n$

với $\epsilon = q - q_s$; \hat{T}_s là nhiễu đánh giá của T_d . Như vậy, giá trị đánh giá nhiễu \hat{T}_s được xác định trên cơ sở các tín hiệu sai lệch giữa trạng thái của Robot với trạng thái của mô hình

$\varepsilon, \dot{\varepsilon}, \ddot{\varepsilon}$. Khởi XL (5) thực hiện việc biến đổi các tín hiệu đó theo thuật toán xử lý (5) để cho ra đánh giá nhiễu \hat{T}_s . Giả sử sai lệch đánh giá là $\Delta = \hat{T}_s - T_s \in \mathbb{R}^n$.

$$\Delta = T_s - \hat{T}_s, |\Delta| \leq |\Delta|_{\max} \quad (6)$$

Kết quả đánh giá nhiễu \hat{T}_s sẽ được sử dụng để tổng hợp luật điều khiển trượt trong phần tiếp theo.

Tổng hợp hệ điều khiển thích nghi kháng nhiễu trên cơ sở sử dụng điều khiển trượt

Giả sử vectơ sai lệch bám là e

$$e = q_d - q, e \in \mathbb{R}^n, \quad (7)$$

Trong đó q_d là quỹ đạo mong muốn. Robot sẽ bám chính xác quỹ đạo mong muốn $q \rightarrow q_d$ nếu chúng ta tổng hợp được điều khiển, sao cho $e(t) \rightarrow 0, \dot{e}(t) \rightarrow 0$.

Ở chế độ trượt động học của hệ thống phụ thuộc chủ yếu vào thông số của các mặt trượt [2, 10]. Vì vậy phải chọn mặt trượt đáp ứng được yêu cầu đặt ra là $e(t) \rightarrow 0, \dot{e}(t) \rightarrow 0$. Điều đó có nghĩa là phải xác định các điều kiện để trạng thái của hệ luôn luôn bị "hút" về mặt trượt, và mặt trượt phải đảm bảo hệ thống ổn định. Nói cách khác cần xác định điều kiện tồn tại chế độ trượt trên các mặt $S = 0$ và điều kiện để hệ thống chuyển động trên mặt trượt về gốc tọa độ.

Chọn các mặt trượt S dạng:

$$S = \dot{e} + C_1 e \quad (8)$$

Khi ở trên mặt trượt, ta có phương trình:

$$S = \dot{e} + C_1 e = 0 \quad (9)$$

Các điều kiện để hệ thống chuyển động theo các mặt trượt $S=0$ về gốc tọa độ được xác định sao cho nghiệm của phương trình đặc tính của (9) nằm trên nửa trái của mặt phẳng phức. Bằng cách chọn thông số C_1 của các mặt trượt chúng ta hoàn toàn xác định được các điều kiện này.

Vẫn đề tiếp theo là phải xác định luật điều khiển, đảm bảo tồn tại chế độ trượt trên các mặt $S = 0$. Chọn luật điều khiển dạng:

$$r = \tau_{eq} + \tau_b + KS + AsignS, \quad (10)$$

với τ_{eq} - điều khiển tương đương;

τ_b - thành phần bù nhiễu;

KS - thành phần điều khiển tỷ lệ với mục đích đưa điểm làm việc nhanh chóng về mặt trượt (khi $S \neq 0$); với K là ma trận đường chéo: $K = diag [K_1 K_2 \dots K_n], K_i > 0$;

$AsignS$ - thành phần Relay với ma trận biên độ, để đảm bảo cho điểm làm việc luôn bị hút trên mặt trượt khi đã về đến mặt trượt (hay còn gọi là *hiện tượng Chattering*).

$$A = diag [a_1 a_2 \dots a_n], A = A_0 + \delta I;$$

$$A_0 = diag [a_{01} a_{02} \dots a_{0n}]; a_i > 0, a_{0i} > 0, i = 1, 2, \dots, n, \delta > 0$$

Điều khiển tương đương τ_{eq} xác định theo phương pháp tính momen [12] còn phải thỏa mãn điều kiện $S = 0$ [2, 10]:

$$\tau_{eq} = M(q)\ddot{q} + C(q,\dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (11)$$

Trong đó \ddot{q} thỏa mãn điều kiện $S = 0$, hai thành phần thứ 2 và thứ 3 có tác dụng bù trừ các đặc tính phi tuyến. Từ (9) ta có:

$$\dot{S} = \dot{e} + C_1 \dot{e} = 0 \quad (12)$$

Thế $\ddot{e} = \ddot{q}_d - \ddot{q}$ từ (7) vào (12), sau khi biến đổi thu được:

$$\ddot{q} = \ddot{q}_d + C_1 \dot{e} \quad (13)$$

Điều khiển tương đương τ_{eq} (11) có tính đến (13) sẽ là:

$$\tau_{eq} = M(q)[\ddot{q}_d + C_1 \dot{e}] + C(q, \dot{q})\dot{q} + G(q) \quad (14)$$

Thành phần thứ hai τ_b trong luật điều khiển (10) được thiết lập trên cơ sở kết quả đánh giá nhiễu \hat{T}_s :

$$\tau_b = K_s \hat{T}_s \quad (15)$$

Định lý sau đây xác định điều kiện đủ cho sự tồn tại chế độ trượt trong hệ thống phi tuyến (3) với luật điều khiển (10), (14), (15).

Định lý: Xét hệ phi tuyến bất định (3). Luật điều khiển (10), (14), (15) đảm bảo sự tồn tại chế độ trượt cho hệ thống trên các mặt trượt (9) mỗi khi thỏa mãn các điều kiện $A_{0i} = |\Delta|_{\max}$, và $\delta > 0$ nhỏ tùy ý.

Chứng minh:

Thế (14) vào (15) và (10), kết quả thu được lại thế vào (3). Sau đó biến đổi ta có:

$$M(q)\ddot{q} + T_s = M(q)\ddot{q}_d + M(q)C_1 \dot{e} + K_s \hat{T}_s + KS + AsignS \quad (16)$$

Tiếp tục biến đổi (16) có chú ý đến (7) và (8) ta thu được:

$$\dot{S} = M(q)^{-1}[T_s - K_s \hat{T}_s - KS - AsignS] \quad (17)$$

Chọn hàm Lyapunov dạng:

$$V = \frac{1}{2} S^T S \quad (18)$$

Lấy đạo hàm theo thời gian của hàm Lyapunov (18), ta có:

$$\dot{V} = \dot{S}' \dot{S} = \dot{S}' M(q)^{-1} [T_s - K_s \dot{T}_s - K_S - A_{sign} S] \quad (19)$$

Ta chọn K_b là ma trận đơn vị I , và chọn ma trận $A = A_0 + \delta I$, trong đó A_0 là ma trận đường chéo với các thành phần đường chéo là:

$$a_{ii} = |T_s - \dot{T}_s|_{max} = |\Delta|_{max}, \quad A_0 = |\Delta|_{max} I \quad (20)$$

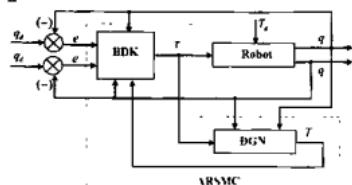
δ - là đại lượng dương nhủ tùy ý.

Thế $K_s = I$, $A = A_0 + \delta I$ theo (20) vào (19) và lưu ý rằng ma trận $M(q)^{-1}$ luôn là ma trận xác định dương [7], kết quả ta thu được:

$$\dot{V} = S' \dot{S} < 0 \quad (21)$$

Điều đó đảm bảo tồn tại chế độ trượt [2,10] của hệ (3) với luật điều khiển (10), (14), (15) trên các mặt trượt (9). Định lý đã được chứng minh.

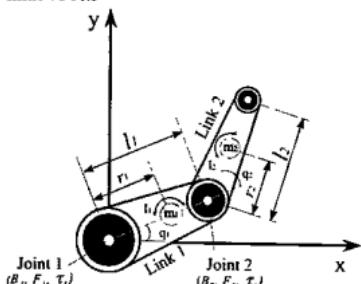
Sơ đồ cấu trúc hệ thống được thể hiện trên H. 2



H. 2 Sơ đồ cấu trúc hệ thống

Mô phỏng

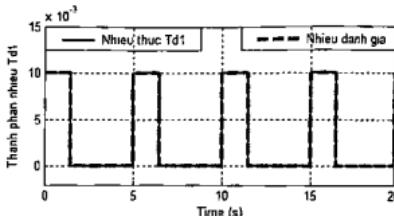
Đối tượng mô phỏng là Robot 2 bậc tự do như hình vẽ H.3



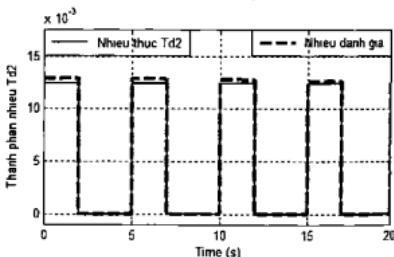
H. 3 Robot hai bậc tự do dạng tay nối tiếp

Bảng thông số của Robot và số liệu mô phỏng:

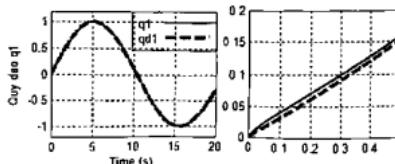
Thông số	Giá trị
q_d	$[1\sin(0.3t) \quad 2\sin(0.4t)]$
C_I	1.0
aI	0.001
δ	0.0002
$I_1; I_2$	0.2 (m)
r_1 và r_2	0.1 (m) và 0.082 (m)
m_1 và m_2	0.72 (kg) và 0.48 (kg)
I_I và I_2	0.0050191(kg.m ²) và 0.0031088(kg.m ²)



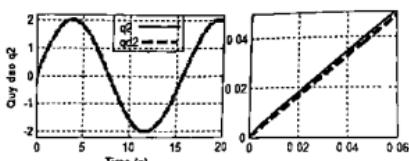
H. 4 Tín hiệu nhiễu thực và nhiễu đánh giá của thành phần nhiễu T_{d1}



H. 5 Tín hiệu nhiễu thực và nhiễu đánh giá của thành phần nhiễu T_{d2}



H. 6 Quỹ đạo chuyển động khớp thứ nhất (q_1) của Robot



H. 7 Quỹ đạo chuyển động khớp thứ hai (q_2) của Robot

Nhận xét: Quan sát kết quả mô phỏng trên hình H.4 và H.5 với dạng nhiễu tác động lên Robot là đột biến và không trơn đã cho thấy giải pháp đánh giá nhiễu có hiệu lực tốt. Bên cạnh đó qua kết quả mô phỏng H.6 và H.7 cũng khẳng định được tính ưu việt của thuật toán đề xuất đảm bảo cho quỹ đạo của Robot bám chính xác theo quỹ đạo đặt trước.

KẾT LUẬN

Bài báo đề xuất phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi bền vững cho Robot dưới tác động của ngoại lực và nhiễu bất định không do được từ bên ngoài. Trong đó xây dựng được thuật toán đánh giá nhiễu và ngoại lực làm cơ sở cho việc bù trừ ảnh hưởng của các yếu tố này. Với kết quả mô phỏng đã khẳng định được tính đúng đắn của thuật toán đánh giá nhiễu và phương pháp điều khiển thích nghi bền vững sử dụng điều khiển trượt cho Robot đảm bảo tính bền vững với nhiễu

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] M. W. Spong and M. Vidyasaga (1989), *Robot Dynamics and Control*, Wiley, New York.
- [2] V. I. Utkin, *Sliding Mode and their Application in Variable Structure Systems*, MIR publishers, Moscow, 1978.
- [3] M. Zhang, Z. Yu, H. Huan and Y. Zhou (2008), *The sliding mode variable structure control base on composite reaching law of active magnetic bearing*, ICIC Express Letters, Vol. 2, No. 1, pp. 59 – 63.
- [4] O. Kaynak, K. Erbatur and M. Ertugrul (2001), *The fusion off computationally intelligent methodologies and Sliding mode control: A survey*, IEEE Trans. On Industrial Electronics, Vol. 48, No. 1, pp 4 – 17.
- [5] P. Palm, D. Driankov and H. Hellendoorn (1997), *Model based Fuzzy control: Fuzzy Gain Schedulers and Sliding Mode Fuzzy Controllers*, Springer Verlag, Berlin Heidelberg, New York.
- [6] S. E. Shafiee and M. Ataci (2004), *Sliding Mode PID controller design for Robot manipulators by using fuzzy tuning approach*, Proc. of the 27th Chinese Control Conference, Kunming, China, pp. 170 – 174.
- [7] S. E. Shafiee and M. R. Soltanpour (2011), *Neural network Sliding – Mode – PID controller design for electrically driven Robot manipulators*, International Journal of Innovative Computing, Information and Control, Vol. 7, No. 2.
- [8] S. S. Ge, T. H. Lee and C. J. Harris (1998), *Adaptive Neural network control of Robotic Manipulators*, Singapore World Scientific.
- [9] M. J. Er and M. Gao (2003), *Robust adaptive control of Robot Manipulators using Generalized fuzzy Neural Networks*, IEEE trans. On Industrial Electronics, Vol. 50, No. 3, pp. 620 – 628.
- [10] Christopher Edwards and Sarah K. Spurgeon (1998), *Sliding Mode Control Theory and Application*, Taylor & Francis.
- [11] B. L. Chang, H. N. Kuan and M. J. Er (2004), *Real – time implementation of a dynamic fuzzy neural networks controller for a seara*, Journal of The Institution of Engineer, Singapore, Vol. 44, Issue 3.
- [12] L. L. Whitcomb, A. A. Rizzi and D. E. Koditschek (1993), *Comparative Experiments with a New adaptive Controller for Robot Arms*, IEEE Transaction on Robotics and Automation, Vol. 9, No 1, pp. 59 – 72.

SUMMARY**A SYNTHETIC METHOD ROBUST ADAPTIVE CONTROL SYSTEM BASED ON SLIDING MODE ALGORITHM FOR ROBOT HAS THE IMPACT OF EXTERNAL FORCES AND DISTURBANCES FROM OUTSIDE**

Dang Ngoc Trung
College of Technology – TNU

This article proposes a synthetic method robust adaptive control system for robots under the impact of external forces and disturbances from outside. In particular, external force and external disturbance may have sudden and are unmeasured. Contents of the article was to introduce the method identifying disturbances and external as a basis for the offsetting effects of these factors, which proposed sliding mode control algorithms for robots ensure robust with disturbances and apply on simulation with the arm robot object that it has 2 freedom level to determine an exacted algorithm.

Key word: *Robust adaptive control, robots, sudden external disturbances, sliding mode control*