

TỐI ƯU HÓA NĂNG LƯỢNG TIÊU THỤ CẢNH TAY MÁY BẰNG CÁCH THIẾT KẾ BỔ SUNG CƠ CẤU CÂN BẰNG ĐỐI TRỌNG OPTIMIZATION OF ENERGY CONSUMPTION IN ROBOTIC ARM: DESIGN OF A COUNTER-BALANCING SYSTEM

Trần Ngọc Đảm, Nguyễn Thị Thu Hiền
Trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật TP.HCM

Ngày tòa soạn nhận được bài 12/6/2014, ngày phản biện đánh giá 20/7/2014, ngày chấp nhận đăng 30/8/2014

TÓM TẮT

Trong tương lai, việc giảm năng lượng tiêu thụ của thiết bị công nghiệp là rất quan trọng. Hiện nay hầu hết các robot làm việc trong công nghiệp không được tối ưu năng lượng tiêu thụ. Trong bài báo này, năng lượng tiêu thụ của robot được tối ưu để giải quyết vấn đề năng lượng bằng cách thêm vào một hệ thống cân bằng đối trọng là một lò xo nối giữa trục quay và tay robot. Chuyển động của tay robot là chuyển động xoay của một vật rắn quanh một điểm cố định được mô tả bằng góc giữa trục hoành và tay robot. Khi tay robot di chuyển xuống, lò xo bù một phần khối lượng của robot và do đó giảm bớt tải đặt trên động cơ. Mô hình toán và hàm tiêu thụ năng lượng được sử dụng. Các tham số của lò xo và điểm kết nối giữa lò xo và tay robot được tối ưu hoá sử dụng phương pháp tối ưu hoá toán học. Mô hình thật tay robot với cơ cấu cân bằng đối trọng được xây dựng cho việc kiểm tra. Kết quả cho thấy tổng năng lượng tiêu thụ của tay robot phụ thuộc mạnh mẽ vào chiều dài và vị trí điểm đặt lò xo. Với giải pháp này, năng lượng tiêu thụ của robot có thể giảm xuống từ 10% đến 20% phụ thuộc vào khối lượng robot.

Từ khóa: Robot, tối ưu năng lượng, điều khiển kín, mô hình robot.

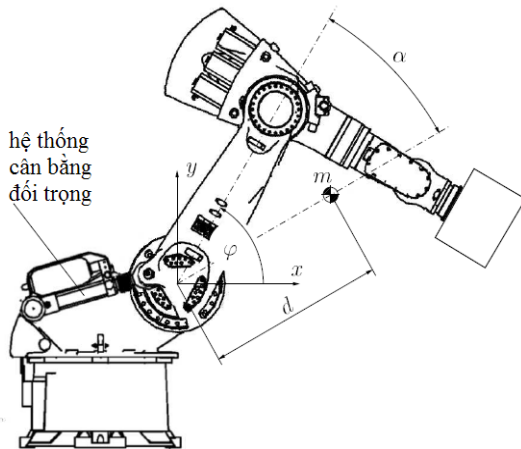
ABSTRACT

For reaching a sustainable energy, the reduction of consumed energy is very important. However, almost robotics working in industry has not optimized energy. In this study, the consumed energy of robots was optimized to solve about disadvantages by adding a counterbalancing system that is a spring suspended between the rotating column and the link arm of the robot. The motion of the robot arm is a rotation of a rigid body about the fixed point described by the angle measured between the horizontal axis and the link arm. When the link arm is moved down this spring compensates a part of the weight of the robot arm and thus reduces the load on the motor actuating the second axis. The mathematical model and the consumed energy function of the robot arm with the counterbalancing system were used. The parameters of spring and the connection point between spring and link arm are to be optimized using numerical optimization methods. The real model of the robot arm with the counterbalancing system was setup of testing. The results show that total consumed energy of robot strongly depends on the undeflected length l , and connected point between spring and link arm and between spring and based arm. The optimal consumed energy by adding counterbalancing system is easily and efficiently and can be solved for all kind of robot. At the optimal solution, the consumed energy of robot can be reduced about 10% to 20% dependence on total mass of robot.

Keywords: Industrial robotic, optimal energy, feedback control, modeling robotic.

I. GIỚI THIỆU

Robot được ứng dụng rất rộng rãi trong công nghiệp, và cũng tiêu thụ một lượng năng lượng điện rất lớn. Để giải quyết vấn đề năng lượng, rất nhiều loại robot cần có hệ thống cân bằng để giảm năng lượng tiêu thụ. Robot như trong hình 1 được trang bị một hệ thống cân bằng đối trọng. Hệ thống cân bằng đối trọng được nối giữa cột xoay và cánh tay của robot. Khi cánh tay di chuyển xuống (góc của trục robot thứ hai φ giảm xuống) đối trọng này bù một phần khối lượng của cánh tay robot và do đó giảm tải trọng đặt lên động cơ tác động lên trục thứ hai. Tuy nhiên cơ cấu cân bằng đối trọng được thiết kế và lắp ráp như thế nào để tối ưu năng lượng điện sử dụng của cánh tay là rất cần thiết. Trong nghiên cứu này trình bày cách thiết kế cơ cấu đối trọng nhằm giải quyết yêu cầu trên.



Hình 1. Robot với hệ thống cân bằng đối trọng.

II. PHÂN TÍCH VÀ GIẢI QUYẾT VẤN ĐỀ

Qua khảo sát, góc quay thấp nhất của robot tốn nhiều năng lượng nhất do mang tổng khối lượng lớn nhất và cánh tay dài nhất do đó ta chọn khớp trong cùng của robot để khảo sát năng lượng tiêu tốn cho hệ thống.

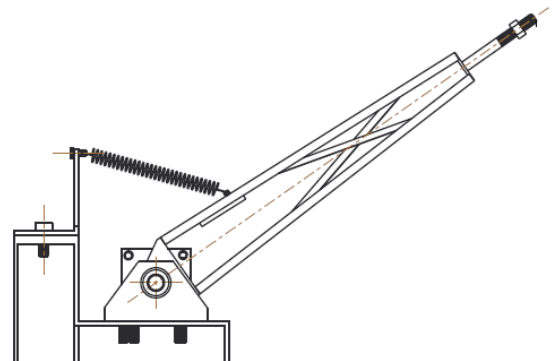
Từ đây ta tiến hành thiết kế mô hình tay máy để thực nghiệm.

Ở đây có thể có nhiều phương án giảm năng

lượng tiêu thụ ở khớp này, ví dụ như:

- Sử dụng động cơ phụ
- Ứng dụng các giải thuật điều khiển thông minh cho robot
- Sử dụng hệ thống cân bằng lò xo

Ta chọn phương án cuối cùng: hệ thống cân bằng bằng lò xo gắn vào như hình 2.



(a)

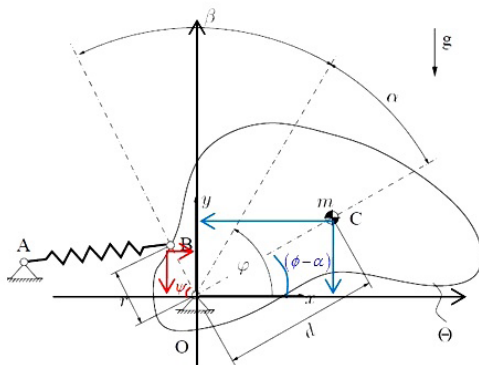


(b)

Hình 2: Mô hình tay máy thực nghiệm (a), mô hình thực (b).

Hình 3 mô hình động học cánh tay robot với cơ cấu cân bằng là lò xo. Hệ thống với sáu biến: vị trí điểm gốc lò xo (điểm A) trên trục xoay là X_r, Y_r ; chiều dài và độ cứng lò xo l, k ; và vị trí điểm đặt lò xo (điểm B) tọa độ r và góc β như trong hình 3.

Một vị trí tối ưu của điểm kết nối giữa lò xo và cánh tay được tính toán sử dụng các phương pháp tối ưu hóa số học.



Hình 3. Mô hình động học của robot.

III. MÔ HÌNH TOÁN CỦA ROBOT

Chuyển động của tay robot được xem là chuyển động xoay của một vật rắn quanh một điểm cố định O mô tả bởi góc φ đo được giữa trục x nằm ngang và tay robot như hình 3.

Vị trí của trọng tâm C được cho bởi khoảng cách d_m và góc α .

Khối lượng của toàn bộ tay robot với tải trọng $m = 5\text{kg}$,

Moment quán tính theo trục xoay là $\theta = 0.27\text{kg m}^2$.

Vị trí của điểm B được mô tả bởi β và r

Điểm A được cho theo khung tọa độ $\{O, x, y\}$ bởi vector $r = [-0.085, 0.145, 0]^T \text{ m}$,

Lò xo có chiều dài là l_0 .

Độ cứng lò xo $k = \frac{1.5 \times 10^3 \text{ N}}{m}$.

$x_C = d \cdot \cos(\varphi - \alpha)$

$y_C = d \cdot \sin(\varphi - \alpha)$

α là hằng số: góc lệch giữa trọng tâm C và góc quay φ

Phương trình cân bằng động học của cánh tay robot được biểu diễn như hình 4, hệ thống cân bằng đối trọng.

Tọa độ điểm A và B:

$$x_B = r \cdot \cos(\varphi + \beta)$$

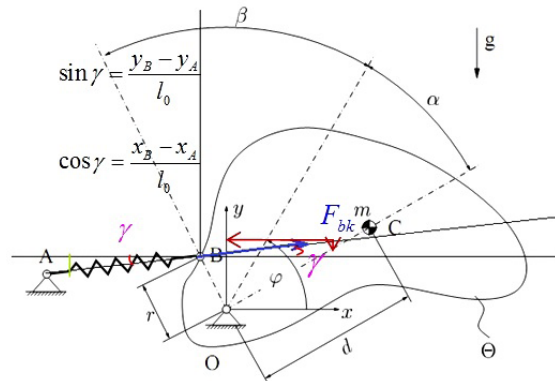
$$y_B = r \cdot \sin(\varphi + \beta)$$

$r_A = [x_A ; y_A]$: vị trí của điểm A

$r_B = [x_B ; y_B]$: vị trí của điểm B

Khoảng cách từ A tới B

$$L_{AR} = \sqrt{(x_A - x_R)^2 + (y_A - y_R)^2}$$



Hình 4. Hệ thống cân bằng đối trọng.

$$F_b = -(r_B - r_A) \cdot k \cdot \Delta l_0$$

k : độ cứng lò xo

l_0 : độ dài lò xo

$\Delta l_0 = \frac{L_{AB} - l_0}{L_{AB}}$: độ biến dạng lò xo

Moment gây ra bởi hệ thống cân bằng đối trọng

$$M_b = F_b \times r$$

Moment gây ra bởi khối lượng m (hay trọng tâm C):

$$M_m = m \cdot g \cdot d_m \cdot \cos(\varphi - \alpha)$$

Momen gây ra bởi hệ số tắt dần khớp (ví dụ ma sát nhớt trong hộp số)

$$M_d = d \cdot \omega \cdot (\text{gear}R)^2 \cdot \theta$$

Momen gây ra bởi moment quán tính của tay robot

$$M_\theta = \theta \cdot \omega_d \cdot (\text{gear}R)^2$$

Với $\text{gear}R = \frac{1}{9}$ là hệ số khớp

Moment cân bằng trong robot

$$M = M_\theta + M_d + M_b + M_m$$

Với động cơ ta có:

$$M = C.i_a$$

M : moment ngõ ra của robot

i_a dòng điện phản ứng động cơ

K hằng số động cơ

L_e điện cảm cuộn dây kích thích

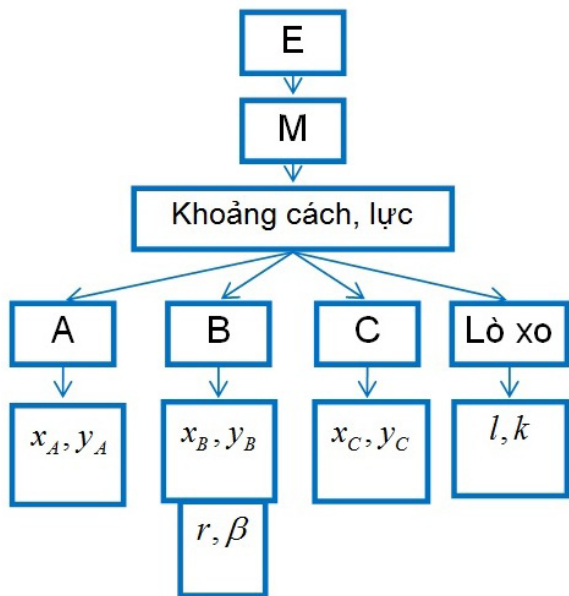
i_e dòng kích thích

$$i_e = \frac{U_e}{R_e}$$

$$C = K.L_e.i_e$$

Giải thuật tính toán

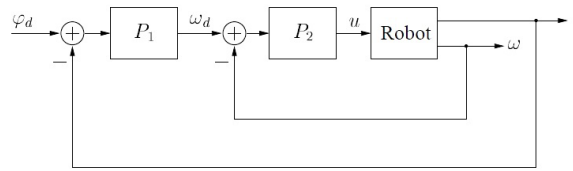
Phương trình năng lượng tiêu thụ của cánh tay



Hình 5: Lưu đồ giải thuật tính toán.

Sơ đồ điều khiển

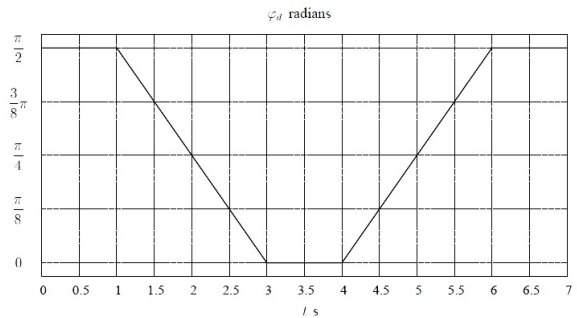
Robot được dẫn động bởi một động cơ. Động cơ được điều khiển bởi một bộ điều khiển liên tục theo thời gian (hình 6) với hai bộ điều khiển tỉ lệ đơn giản. Bộ điều khiển bên trong để điều khiển điện áp phản ứng của động cơ u và bộ điều khiển bên ngoài tính toán tốc độ động cơ yêu cầu ω_d từ sai số bám vị trí.



Hình 6: Điều khiển hồi tiếp.

IV. KẾT QUẢ

Để đánh giá chất lượng của một điểm B được chọn, tay robot di chuyển lên xuống theo góc φ_d mong muốn trong hình 7

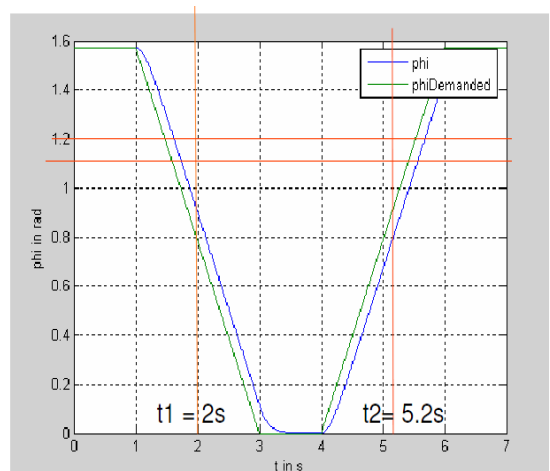


Hình 7: Góc quay yêu cầu.

Chuyển động thực của tay robot chậm hơn hoặc sớm hơn chuyển động yêu cầu phụ thuộc vào chiều chuyển động của robot (robot di chuyển lên hoặc xuống)

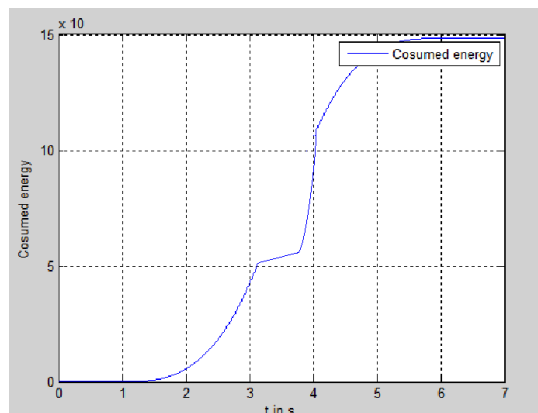
Tại thời điểm $t_1 = 2s$: $\text{phi} - \text{phiD demanded} = 0.5 \text{ rad}$

Tại thời điểm $t_2 = 5.2s$: $\text{phi} - \text{phiD demanded} = -0.5 \text{ rad}$

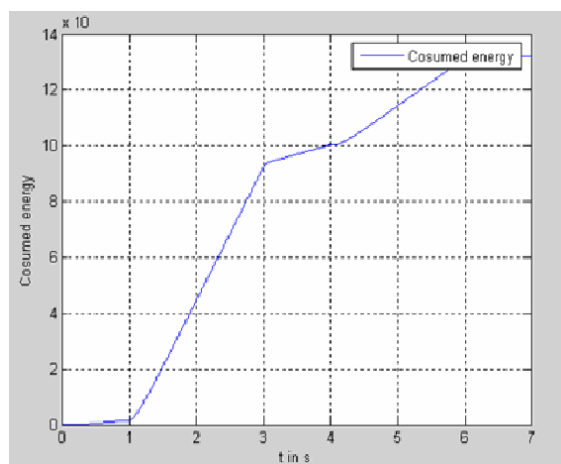


Hình 8: Chuyển động robot theo quỹ đạo.

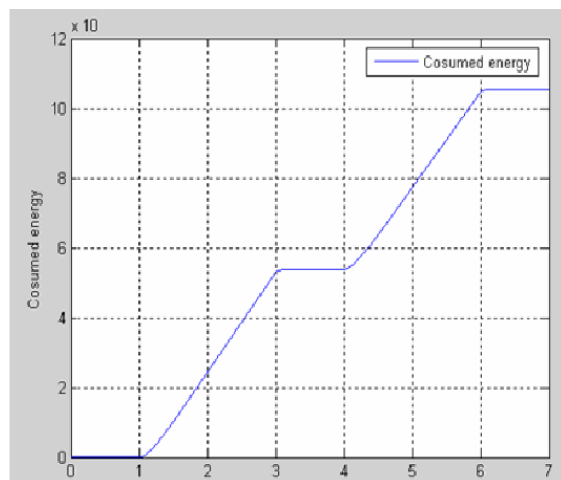
Thực hiện mô phỏng theo một chu kỳ quay



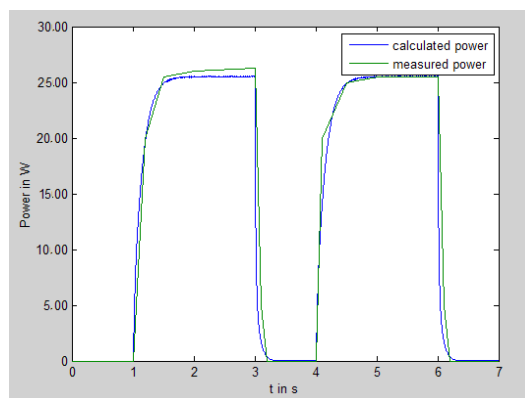
Hình 9: Năng lượng tiêu thụ của tay máy khi không có cơ cấu cân bằng đối trọng.



Hình 10: Năng lượng tiêu thụ của tay máy khi có cơ cấu cân bằng đối trọng.



Hình 11: Năng lượng tiêu thụ của tay máy với cơ cấu cân bằng đối trọng đã tính toán tối ưu.



Hình 12. Công suất tiêu thụ của động cơ trên tính toán và thực tế.

Mô phỏng tính toán tối ưu hóa vị trí điểm B theo chuyển động cho trước với các giá trị khởi tạo ban đầu lần lượt là β và r , ta được:

Giá trị ban đầu [rad, m]	Giá trị tính toán [rad, m]	Năng lượng tiêu thụ [J]
[0.122;0.12]	[0.125; 0.13]	140
[0.349;0.15]	[0.125; 0.13]	140

Mô phỏng tính toán tối ưu hóa mở rộng với biến chiều dài lò xo l_0 :

Giá trị ban đầu [rad, m, m]	Giá trị tính toán [rad, m, m]	Năng lượng tiêu thụ [J]
[0.122;0.12;0.11]	[0.349; 0.12; 0.10]	105
[0.30;0.15;0.10]	[0.349; 0.12; 0.10]	105
[0.25;0.13;0.15]	[0.349; 0.12; 0.10]	105

Kết quả thực nghiệm

Tiến hành thực nghiệm kiểm chứng kết quả mô phỏng, ta thu được bảng giá trị sau:

Giá trị [rad, m, m]	Công suất tiêu thụ [W]
[0.125, 0.12, 0.08]	39.6
[0.225, 0.13, 0.09]	33
[0.349; 0.12; 0.10]	25.4
[0.300, 0.15, 0.12]	35.2
[0.320, 0.14, 0.11]	33

ta thấy với

$$\beta = 0.349; r = 0.12; l = 0.10$$

Thì tay máy tiêu thụ năng lượng ít nhất

V. KẾT LUẬN

Kết quả mô phỏng cho thấy đã xây dựng được

mô hình toán của tay máy với cơ cấu cân bằng đối trọng dùng lò xo; đồng thời thấy được năng lượng tiêu thụ của robot phụ thuộc mạnh mẽ vào chiều dài lò xo và điểm nối giữa cơ cấu và thân robot. Với giải pháp tối ưu hóa này, năng lượng tiêu thụ của robot có thể được giảm xuống đáng kể từ 10% đến 20% tùy thuộc vào tải trọng.

Kết quả thực nghiệm cho thấy tính đúng đắn của giải pháp. Từ đó ta có thể tiến hành tối ưu nhiều biến hơn như vị trí điểm đặt A và độ cứng lò xo để giảm đến mức thấp nhất năng lượng tiêu thụ của robot.

VI. LỜI CẢM ƠN

Xin chân thành cảm ơn đến thầy, cô trong khoa Cơ khí chế tạo máy, trường Đại học Sư phạm Kỹ thuật Tp.HCM đã hỗ trợ tôi trong suốt thời gian hoàn thành nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. PGS.TS. Đào Văn Hiệp, *Kỹ Thuật Robot*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.
- [2]. TS. Phạm Đăng Phước, *Robot công nghiệp*, Nhà xuất bản Khoa học kỹ thuật.
- [3]. D.B. Marghitu, *Kinematic Chains and Machine Component Design*, Elsevier, Amsterdam
- [4]. F. Reuleaux, *The Kinematics of Machinery*, Dover, New York
- [5]. R.L. Mott, *Machine Elements in Mechanical Design*, Prentice Hall, Upper Saddle River, NJ
- [6]. Design, Development and Manufacture of Engine and Gearbox Systems and Components