



ƯỚC LƯỢNG NHIỄU GÂY RA BỞI ĐỘ LỆCH TÂM CỦA THIẾT BỊ CƠ KHÍ TRONG HỆ THỐNG ĐIỀU KHIỂN

Ngô Quang Hiếu¹

¹ Khoa Công nghệ, Trường Đại học Cần Thơ

Thông tin chung:

Ngày nhận: 08/01/2013

Ngày chấp nhận: 19/08/2013

Title:

Disturbance estimation induced by eccentricity in control system

Từ khóa:

Độ lệch tâm, ước lượng nhiễu, điều khiển thích nghi

Keywords:

Eccentricity, disturbance estimation, adaptive control

ABSTRACT

In this paper, a method of disturbance estimating caused by eccentricity of a mechanism impacted on control systems is presented. By applying the adaptive control law, the disturbance is estimated, including frequency and amplitude. This method is evaluated by simulation on a specific system. Simulation results show the effectiveness of the estimation method.

TÓM TẮT

Trong bài báo này, phương pháp ước lượng nhiễu gây ra bởi độ lệch tâm của chi tiết cơ khí tác động vào hệ thống điều khiển được trình bày. Bằng cách áp dụng luật điều khiển thích nghi, nhiễu được ước lượng bao gồm tần số và biên độ. Phương pháp này được đánh giá nhờ vào việc mô phỏng một hệ thống cụ thể. Kết quả mô phỏng cho thấy tính hiệu quả của phương pháp ước lượng.

1 GIỚI THIỆU

Trong thiết bị cơ khí, việc gia công chi tiết luôn tồn tại sai số hay còn gọi là dung sai. Với các hệ quay dạng con lăn, việc gia công sai lệch sẽ dẫn đến độ lệch tâm. Độ lệch tâm này sẽ ảnh hưởng đến việc điều khiển chính xác vị trí, vận tốc cũng như lực tác động lên các con lăn. Hình 1 mô tả hệ thống mạ thép tấm, trong đó các con lăn được sử dụng như là phần tử chủ yếu của hệ thống. Việc tồn tại độ lệch tâm trong các con lăn sẽ làm cho dao động của tấm thép theo phương ngang càng lớn và việc làm giảm dao động của tấm thép càng trở nên cần thiết để việc mạ thép tấm thêm phần ổn định. Nhiễu gây ra bởi độ lệch tâm của hệ cơ học là một hàm số tuần hoàn theo thời gian với biên độ và tần số chưa được xác định. Do đó, việc ước lượng nhiễu này bao gồm việc xác định độ lớn cũng như tần số (vận tốc góc) của nhiễu. Việc xác định nhiễu một cách chính xác để bộ điều khiển có thể bù vào hệ thống trong quá trình vận hành là rất cần thiết.

2 THIẾT LẬP VẤN ĐỀ

Xem xét hệ thống bậc hai có mô tả như sau:

$$\ddot{x} = f(x, \dot{x}) + u + d(t), \quad (1)$$

Trong đó, x là trạng thái hệ thống, u là ngõ vào điều khiển và $d(t)$ là nhiễu hệ thống biến đổi theo thời gian được định nghĩa như sau:

$$d(t) = A \cos(\omega t + \phi). \quad (2)$$

Giả thiết rằng biên độ A , tần số ω , và pha ϕ của nhiễu $d(t)$ là không xác định. Nhiễu hệ thống này có thể được xem như là do độ lệch tâm của thiết bị cơ khí gây ra. Nếu tín hiệu nhiễu $d(t)$ có thể được ước lượng chính xác là $\hat{d}(t)$ thì ngõ vào điều khiển có thể được thiết kế một cách dễ dàng bằng phương pháp hồi tiếp tuyến tính (feedback linearization):

$$u = \ddot{x}_d - k_1(\dot{x} - \dot{x}_d) - k_2(x - x_d) - f(x, \dot{x}) - \hat{d}(t), \quad (3)$$

với k_1 và k_2 là các thông số điều khiển có giá trị hằng số dương, x_d là quỹ đạo mong muốn. Thay phương trình (3) vào (1):

$$\ddot{x} - \ddot{x}_d + k_1(\dot{x} - \dot{x}_d) + k_2(x - x_d) = 0. \quad (4)$$

Đặt $e = x - x_d$, phương trình (4) được viết lại:

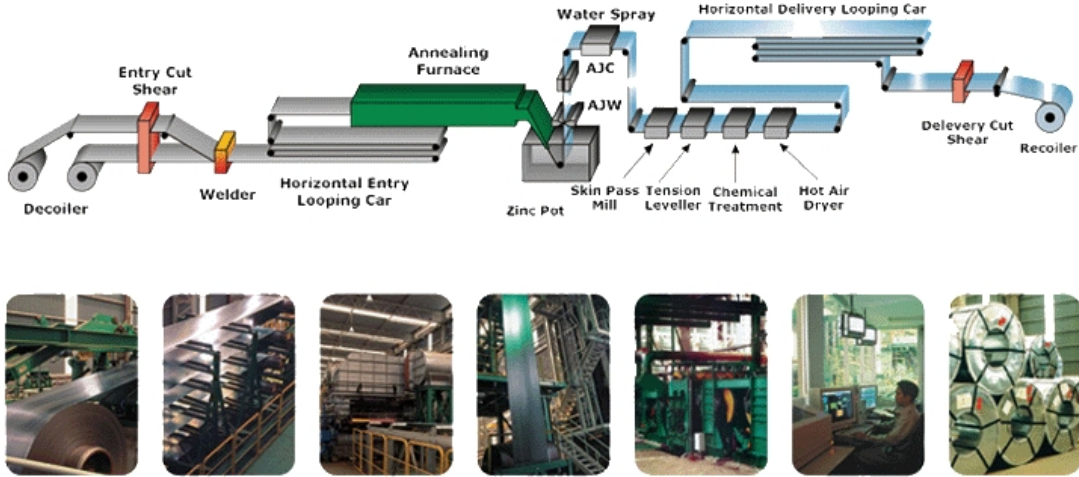
$$\ddot{e} + k_1\dot{e} + k_2e = 0. \quad (5)$$

Phương trình vi phân cấp hai (5) luôn tồn tại nghiệm với mọi k_1, k_2 dương và nghiệm e luôn hội

tụ về 0. Tốc độ hội tụ của e phụ thuộc vào giá trị của k_1, k_2 ; giá trị của k_1, k_2 càng lớn, tốc độ hội tụ càng nhanh.

Tín hiệu nhiễu (2) được định nghĩa bởi biến trạng thái như sau:

$$\begin{aligned} z_1 &= d(t) = A \cos(\omega t + \phi), \\ z_2 &= -\frac{A}{\omega} \sin(\omega t + \phi). \end{aligned} \quad (6)$$



Hình 1: Mô hình mạ thép tấm liên tục

Khi đó, biểu diễn trong không gian trạng thái của nhiễu là:

$$\dot{z}_1 = \omega^2 z_2, \quad (7)$$

$$\dot{z}_2 = -z_1, \quad (8)$$

$$d(t) = z_1. \quad (9)$$

Tín hiệu nhiễu được ước lượng bởi mô hình thích nghi như sau:

$$\dot{\hat{z}}_1 = \hat{d}(t) = \hat{\theta} z_2 + \dot{e}, \quad (10)$$

$$\dot{\hat{z}}_2 = -\hat{z}_1, \quad (11)$$

với $\hat{\theta}$ là giá trị ước lượng của $\theta = \omega^2$.

Giả định rằng quỹ đạo mong muốn x_d liên tục và tồn tại giới hạn cũng như đạo hàm bậc nhất và bậc hai của nó, khi đó tín hiệu điều khiển u được thiết kế như phương trình (3). Thay phương trình (3) vào phương trình (1), hệ thống trở thành

$$\ddot{x} - \ddot{x}_d + k_1(\dot{x} - \dot{x}_d) + k_2(x - x_d) = -\tilde{z}_1, \quad (12)$$

với $\tilde{z}_1 = \hat{z}_1 - z_1$ là sai số ước lượng. Phương trình (12) được viết lại theo biến sai số hệ thống e ,

$$\ddot{e} = -k_1\dot{e} - k_2e - \tilde{z}_1. \quad (13)$$

Trạng thái sai số ước lượng được xác định từ phương trình (7) - (11) và được cho như sau

$$\dot{\tilde{z}}_1 = \hat{\theta} z_2 + \tilde{\theta} z_2 + \dot{e}, \quad (14)$$

$$\dot{\tilde{z}}_2 = -\tilde{z}_1, \quad (15)$$

với $\tilde{z}_1 = \hat{z}_1 - z_1$, $\tilde{z}_2 = \hat{z}_2 - z_2$, và $\tilde{\theta} = (\hat{\theta} - \theta)$.

Phương pháp Lyapunov dùng để xác định tính ổn định hệ thống được sử dụng để đánh giá hiệu quả của phương pháp ước lượng. Hàm số sau được giới thiệu như là hàm Lyapunov với γ là hằng số dương.

$$\begin{aligned} V &= \frac{1}{2} k_2 e^2 + \frac{1}{2} \dot{e}^2 + \frac{1}{2} \tilde{z}_1^2 \\ &+ \frac{1}{2} \theta \tilde{z}_2^2 + \frac{1}{2\gamma} \tilde{\theta}^2. \end{aligned} \quad (16)$$

Đạo hàm theo thời gian của (16) với các giá trị được thay thế từ (13-15) xác định như sau:

$$\begin{aligned} \dot{V} = & k_2 e \dot{e} + \dot{e}(-k_1 \dot{e} - k_2 e - \tilde{z}_1) \\ & + \tilde{z}_1(\theta \tilde{z}_2 + \tilde{\theta} \dot{\tilde{z}}_2 + \dot{e}) - \theta \tilde{z}_2 \tilde{z}_1 + \frac{1}{\gamma} \tilde{\theta} \dot{\tilde{\theta}}. \end{aligned} \quad (17)$$

Rút gọn phương trình (17) được kết quả:

$$\dot{V} = -k_1 \dot{e}^2 + \tilde{\theta} \left(\dot{\tilde{z}}_2 \tilde{z}_1 + \frac{1}{\gamma} \dot{\tilde{\theta}} \right). \quad (18)$$

Luật thích nghi được thiết kế như sau:

$$\dot{\tilde{\theta}} = \dot{\hat{\theta}} = -\gamma \dot{\tilde{z}}_2 \tilde{z}_1. \quad (19)$$

Khi đó, đạo hàm theo thời gian của hàm Lyapunov là một hàm số không dương.

$$\dot{V} = -k_1 \dot{e}^2 \leq 0. \quad (20)$$

Các biến số trong phương trình Lyapunov (16) tồn tại giới hạn. Thêm vào đó, đạo hàm cấp hai của V , $\ddot{V} = -2k_1 \dot{e}(-k_1 \dot{e} - k_2 e - \tilde{z}_1)$, cũng tồn tại giới hạn. Theo định lý Barbalat thì có thể kết luận rằng \dot{e} , e , \tilde{z}_1 , \tilde{z}_2 và $\tilde{\theta}$ hội tụ tiệm cận về 0 khi $t \rightarrow \infty$ trong khi các biến số khác vẫn nằm trong giới hạn.

Luật thích nghi (19) có thể áp dụng trực tiếp nếu đạo hàm cấp hai của e có thể đo được. Ngược lại, luật thích nghi được biến đổi sang dạng khác bằng cách thay phương trình (13) vào phương trình (19).

$$\dot{\hat{\theta}} = \gamma \dot{\tilde{z}}_2 (k_1 \dot{e} + k_2 e) + \gamma \dot{\tilde{z}}_2 \ddot{e}. \quad (21)$$

Thêm vào đó, đạo hàm cấp hai của sai lệch được xác định như sau:

$$\gamma \dot{\tilde{z}}_2 \ddot{e} = \frac{d}{dt} (\gamma \dot{\tilde{z}}_2) + \gamma \dot{\tilde{z}}_1 \dot{e}. \quad (22)$$

Vì vậy, luật thích nghi được xác định:

$$\dot{\hat{\lambda}} = \gamma \dot{\tilde{z}}_2 (k_1 \dot{e} + k_2 e) + \gamma \dot{\tilde{z}}_1 \dot{e}, \quad (23)$$

với

$$\hat{\lambda} = \hat{\theta} - \gamma \dot{\tilde{z}}_2. \quad (24)$$

Kết quả chính của bài toán được kết luận trong định lý sau.

Định lý: Xem xét hệ thống (1) với nhiễu được định nghĩa như (2). Hệ điều khiển vòng kín được thiết kế là

$$\begin{aligned} u = & \ddot{x}_d - k_1(\dot{x} - \dot{x}_d) - k_2(x - x_d) \\ & - f(x, \dot{x}) - \hat{z}_1, \\ \dot{\hat{z}}_1 = & (\hat{\lambda} + \gamma \dot{\tilde{z}}_2) \dot{\tilde{z}}_2 + \dot{e}, \\ \dot{\hat{z}}_2 = & -\hat{z}_1, \\ \dot{\hat{\lambda}} = & \gamma \dot{\tilde{z}}_2 (k_1 \dot{e} + k_2 e) + \gamma \dot{\tilde{z}}_1 \dot{e}, \end{aligned} \quad (25)$$

với γ , k_1 và k_2 là các hằng số dương. Khi đó sai lệch hệ thống e và sai số ước lượng \tilde{z}_1 hội tụ tiệm cận về 0 trong khi các biến số khác vẫn nằm trong miền giới hạn.

3 KẾT QUẢ MÔ PHỎNG

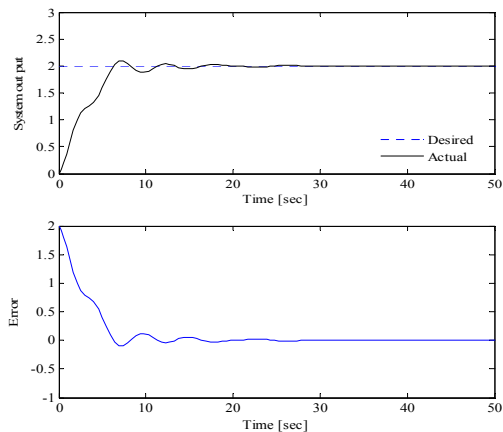
Để minh họa tính hiệu quả của bộ điều khiển và phương pháp ước lượng nhiễu (25), việc mô phỏng hệ thống được thực hiện. Hệ thống, nhiễu và biên điều khiển được cho như sau:

$$\begin{aligned} f(x, \dot{x}) = & \dot{x} - x^2 - x + \cos(x), \\ d(t) = & \cos(t + \pi/2), \\ k_1 = & 3, \quad k_2 = 1, \quad \text{và} \quad \gamma = 0.5 \end{aligned}$$

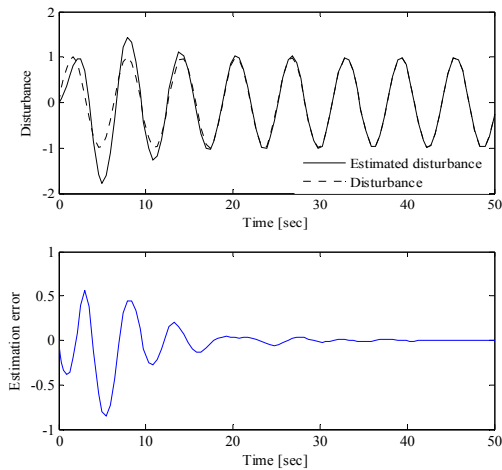
Kết quả mô phỏng đầu tiên được thực hiện với quỹ đạo mong muốn là hằng số, $x_d = 2$. Kết quả mô phỏng thứ hai được trình bày với quỹ đạo mong muốn là hàm biến đổi tuần hoàn. Từ kết quả mô phỏng cho thấy rằng nhiễu của hệ thống được ước lượng chính xác và bộ điều khiển bù nhiễu để đưa đáp ứng hệ thống về quỹ đạo mong muốn.

4 KẾT LUẬN

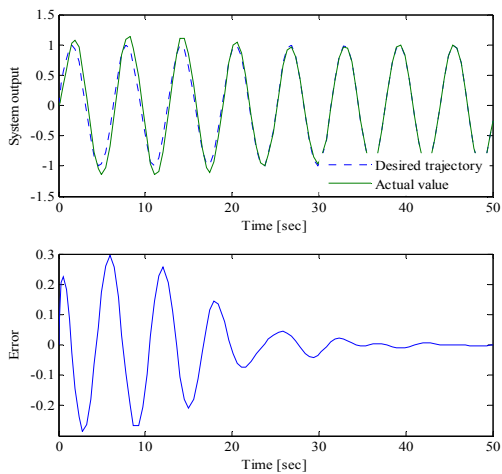
Bằng cách dùng thuật toán thích nghi, nhiễu gây ra bởi độ lệch tâm của các chi tiết cơ



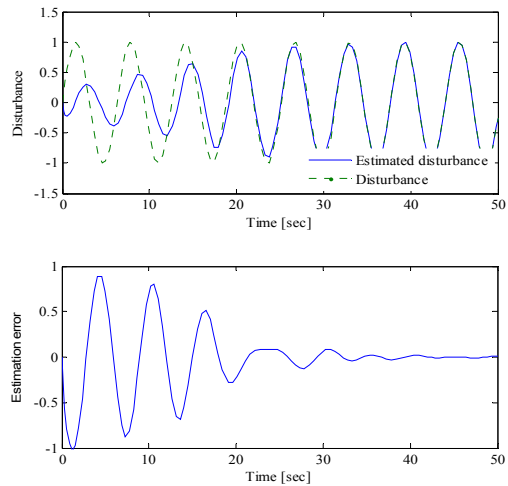
Hình 2: Đáp ứng và sai số của hệ thống với quỹ đạo mong muốn là hằng số



Hình 3: Nhiễu và sai số ước lượng với quỹ đạo mong muốn là hằng số



Hình 4: Đáp ứng và sai số của hệ thống với quỹ đạo mong muốn là hàm theo thời gian



Hình 5: Nhiễu và sai số ước lượng với quỹ đạo mong muốn là hàm theo thời gian

khí được ước lượng một cách chính xác. Việc ước lượng này sẽ nâng cao độ chính xác của bộ điều khiển.

LỜI CẢM TẠ

Tác giả chân thành cảm ơn Trường Đại học Cần Thơ đã cấp kinh phí để thực hiện nghiên cứu này. Nghiên cứu được thực hiện dưới sự tài trợ từ Đề tài nghiên cứu cấp Trường năm 2013 (Mã số đề tài: T2013 - 06).

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Ahmed, I., Ahmed, M., Imran, K., Khan, M. S., Akhtar, S. J. (2011). Detection of eccentricity faults in machine using frequency spectrum technique, International Journal of Computer and Electrical Engineering, 3 (1), 111-119.
2. Chicharo, J. F., Ng, T. S. (1990). A roll eccentricity sensor for steel-strip rolling mills, IEEE Transactions on Industry Applications, 26 (6), 1063-1069.