

## ĐẢM BẢO TÍNH BỀN VỮNG CHO HỆ ĐIỀU KHIỂN THÍCH NGHI

Nguyễn Văn Vy\*, Nguyễn Quân Nhu, Nguyễn Văn Hùng  
*Trường Đại học Việt Bắc*

### TÓM TẮT

Điều khiển thích nghi là hệ điều khiển hiện đại, đảm bảo được chất lượng ra theo mong muốn khi tham số của đối tượng thay đổi và nhiễu tác động. Tuy nhiên, ngoài các ưu điểm thì nhược điểm cơ bản của Điều khiển thích nghi là không đảm bảo tính bền vững khi điều khiển các đối tượng có sai lệch mô hình. Bài báo tập trung nghiên cứu việc khắc phục nhược điểm trên bằng cách thiết kế bộ Điều khiển thích nghi bền vững : đảm bảo thỏa mãn tính thích nghi đối với sự thay đổi của các tham số theo thời gian và bền vững đối với sai lệch của mô hình và nhiễu. Tính bền vững ở đây đạt được bằng cách sử dụng luật thích nghi bền vững để ứng dụng vào sơ đồ điều khiển. Kết quả đề xuất trên được kiểm nghiệm bằng mô phỏng thể hiện tính bền vững của hệ được đảm bảo.

**Từ khóa:** Điều khiển tự động; Điều khiển thích nghi; Điều khiển thích nghi bền vững; hệ phi tuyến, sai lệch mô hình; nhiễu.

*Ngày nhận bài: 29/01/2019; Ngày hoàn thiện: 25/02/2019; Ngày duyệt đăng: 28/02/2019*

## ENSURE SUSTAINABLE FOR ADAPTIVE CONTROL SYSTEM

Nguyen Van Vy\*, Nguyen Quan Nhu, Nguyen Van Hung  
*Vietbac University*

### ABSTRACT

This paper proposes a design of robust adaptive controllers for systems with unknown time-varying parameters and unmodeled dynamics to overcome non-robustness of existing adaptive control. These controllers adapt to time-varying parameters and are robust to unmodeled dynamics via development of robust adaptive laws. Simulation results verify the proposed control design.

**Keywords:** Automatic control; adaptive control; robust adaptive control; nonlinear systems; unmodeled dynamics; Disturbance

*Received: 29/01/2019; Revised: 25/02/2019; Approved: 28/02/2019*

\* Corresponding author: Tel: 0913 595584; Email: [vyllh2014@gmail.com](mailto:vyllh2014@gmail.com)

## ĐẶT VẤN ĐỀ

Điều khiển thích nghi (ĐKTN) các hệ tuyến tính đã được nghiên cứu tương đối hoàn chỉnh và đã được áp dụng vào thực tế [1,2]. Tuy nhiên, trong thực tế các đối tượng cần điều khiển thường là phi tuyến có chứa các tham số không biết trước và các thành phần động học rất khó hoặc không thể mô hình hóa được. Khi sử dụng ĐKTN cho các đối tượng này sẽ không đảm bảo tính bền vững. Chính vì thế đã có nhiều công trình nghiên cứu nhằm nâng cao tính bền vững cho các hệ ĐKTN khi điều khiển các đối tượng phi tuyến mạnh [2], [3], [4] [5].

Hệ điều khiển thích nghi điển hình bao gồm hai phần chính : luật điều khiển và luật thích nghi (Luật đánh giá tham số). Vì vậy, bài toán đảm bảo tính bền vững cho hệ Điều khiển thích nghi cũng được nghiên cứu theo hai hướng sau đây:

- Tìm các bộ đánh giá tham số bền vững (luật thích nghi bền vững) để đạt được tính bền vững của hệ ĐKTN.
- Tìm các luật điều khiển bền vững để ứng dụng vào sơ đồ điều khiển thích nghi.

Trong khuôn khổ bài báo, nội dung nghiên cứu đi theo hướng thứ nhất là hướng đang được nhiều người quan tâm và có nhiều triển vọng. Bộ đánh giá tham số bền vững ở đây dùng thuật toán nhận dạng bình phương tối thiểu cải tiến bằng cách đưa thêm vào bộ đánh giá “vùng tắt đánh giá”. Chức năng của “vùng tắt đánh giá” dùng để đóng, cắt quá trình cập nhật thích nghi tham số. Quá trình thích nghi chỉ xảy ra khi sai số của tín hiệu ra lớn hơn một giá trị ngưỡng nào đó. Giá trị này được gọi là “vùng tắt đánh giá”. Để chọn được kích thước của “vùng tắt đánh giá” thích hợp cần phải biết giá trị chặn trên của nhiễu và thành phần động học không mô hình hóa được. Bộ đánh giá loại này đảm bảo tính bị chặn của các tín hiệu trong mạch vòng thích nghi và do đó hệ Điều khiển thích nghi ổn định bền vững [2], [3].

## CẤU TRÚC HỆ ĐKTN BỀN VỮNG

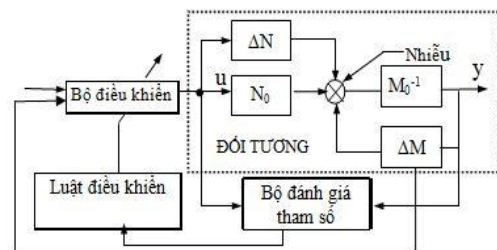
Giả thiết mô hình tham số của đối tượng được biểu diễn như sau:

$$(M_0 + \Delta M) y(t) = (N_0 + \Delta N)u(t) + d_1(t) \quad (1)$$

Trong đó:

- $M_0$  và  $N_0$  - là các đa thức Hurwitz đối với  $Z^{-1}$  và nguyên tố cùng nhau;
- $\Delta M$  và  $\Delta N$  - thành phần động học rất khó hoặc không mô hình hóa được;
- $Z^{-1}$  - toán tử trễ đơn vị;
- $d_1(t)$  là thành phần nhiễu tác động vào đối tượng.

Từ (1) ta xây dựng được sơ đồ khối của hệ ĐKTN bền vững trên hình H.1.



**Hình 1.** Sơ đồ hệ ĐKTN bền vững

Các đa thức  $M_0$  và  $N_0$  được viết như sau:

$$N_0(Z^{-1}) = b_1 Z^{-1} + b_2 Z^{-2} + \dots + b_m Z^{-m}$$

$$M_0(Z^{-1}) = 1 + a_1 Z^{-1} + a_2 Z^{-2} + \dots + a_n Z^{-n} \quad (2)$$

Với  $n > m$ , thông thường trong điều khiển  $n = m + 1$

Đối tượng chuẩn  $P(Z^{-1})$  được xác định là :

$$P(Z^{-1}) = M_0^{-1}N_0 \quad (3)$$

Véc tơ tham số có dạng như sau:

$$\theta = [-a_1, \dots, -a_n, b_1, \dots, b_m]^T \quad (4)$$

Véc tơ tín hiệu có dạng như sau:

$$\phi^T(t-1) = [y(t-1), \dots, y(t-n), u(t-1), \dots, u(t-m)]^T \quad (5)$$

## BỘ ĐÁNH GIÁ THAM SỐ BỀN VỮNG

Khi giải bài toán ổn định bền vững của hệ ĐKTN ta có các giả thiết sau:

- $A_1$  - Tham số  $\theta$  nằm trên miền lồi  $\Omega$ ,
- $A_2$  -  $\Delta M$  và  $\Delta N$  là ổn định, LTI, có kích thước hữu hạn và thỏa mãn:

$$\left\| \begin{matrix} \Delta_N \\ \Delta_M \end{matrix} \right\|_B < D_3; D_3 \text{ là giá trị cho trước}$$

$A_3$  - Giả thiết  $d_1(t) \in L^\infty$ , tức là  $d_1(t)$  bị chặn và thỏa mãn:

$$|d_1(t)| \leq D_1 \text{ với } D_1 \text{ biết trước}$$

Bài toán đặt ra ở đây là tìm bộ đánh giá thông số (bộ đánh giá bền vững) sao cho các tín hiệu của hệ kín là bị chặn với các giả thiết  $A_1 - A_3$  được đáp ứng, khi đó hệ ĐKTN sẽ ổn định bền vững [3].

Từ mô hình tham số (1) ta có thể viết lại như sau:

$$M_0 y(t) = N_0 u(t) + \Delta N u(t) - \Delta M y(t) + d_1(t)$$

$$y(t) = (1 - M_0) y(t) + N_0 u(t) + \Delta N u(t)$$

$$- \Delta M y(t) + d_1(t)$$

Từ (4), (5) có thể viết mô hình tham số khi có thành phần không mô hình hóa được và có nhiễu tác động:

$$y(t) = \phi^T(t-1)\theta + d_2(t) + d_1(t), \quad (6)$$

$$\text{với } d(t) = d_2(t) + d_1(t), \quad (7)$$

$$\text{khi đó: } y(t) = \phi^T(t-1)\theta + d(t) \quad (8)$$

Công thức (8) có dạng mô hình dạng hồi quy tuyến tính (ARX) cộng thêm một số hạng mô tả thành phần nhiễu  $d(t)$ . Như vậy (8) có dạng hồi quy tuyến tính chuẩn cộng thêm thành phần sai số

Từ (8) có thể xác định được giá trị đánh giá của vectơ tham số  $\theta$  ở thời điểm  $t$  như sau:

$$\hat{\theta}(t) = \begin{bmatrix} -\hat{a}_1(t), \dots, \hat{a}_n(t); \hat{b}_1(t), \dots, \hat{b}_m(t) \end{bmatrix}^T \quad (9)$$

Vậy đánh giá của tín hiệu ra  $y(t)$  có thể tính như sau:

$$\hat{y}(t) = \phi^T(t-1) \hat{\theta}(t-1) \quad (10)$$

Gọi sai số đoán trước là sai số giữa giá trị thật và giá trị đánh giá của tín hiệu tại thời điểm  $(t-1)$  là  $\varepsilon(t)$ .

Khi đó  $\varepsilon(t)$  được tính như sau:

$$\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t)$$

Sai số đoán trước do cả sai số thông số và sai lệch mô hình sinh ra

Giá trị chặn trên của nhiễu  $d_2(t)$  là  $D_2$  và được xác định như sau:

$$d_2(t) = \begin{bmatrix} \Delta N \\ -\Delta M \end{bmatrix}^T \begin{bmatrix} u(t) \\ y(t) \end{bmatrix} \text{ và } \left| \frac{\Delta N}{\Delta M} \right| \leq D_3$$

Ta có:

$$|d_2(t)| \leq D_2; D_2 \text{ là hàm chặn trên của } [d_2]$$

Luật đánh giá tham số sử dụng thuật toán bình phương tối thiểu kết hợp với thuật toán chiếu và vùng "tắt đánh giá" được đề nghị như sau:

$$\hat{\theta}(t) = \hat{\theta}(t-1) + \frac{v(t).P(t-2).P(t-1)}{1 + \phi^T(t-1)P(t-2)\phi(t-1)} \varepsilon(t)$$

Và:

$$P(t) = P(t-1) - \frac{v(t).P(t-1)\phi(t)\phi^T(t).P(t-1)}{1 + \phi^T(t)P(t-1)\phi(t)} \quad (11)$$

Tín hiệu thích nghi  $v(t)$  là một hàm được định nghĩa như sau:

$$v(t) = \frac{\alpha f\{\beta[D_2(t) + D_1]\varepsilon(t)\}}{|\varepsilon(t)|} \quad (12)$$

$$f\{\beta[D_2 + D_1], \varepsilon(t)\} =$$

$$\begin{cases} \varepsilon(t) - \beta[D_2(t) + D_1] & \text{nếu } \varepsilon(t) > \beta(D_2 + D_1) \\ 0 & \text{nếu } |\varepsilon(t)| \leq \beta(D_2 + D_1) \\ \varepsilon(t) + \beta(D_2 + D_1) & \text{nếu } \varepsilon(t) < -\beta(D_2 + D_1) \end{cases}$$

Trong đó:

$$\beta = \sqrt{\frac{1}{1-\alpha}}$$

với  $\alpha \in (0, 1)$  - là hệ số cập nhật

Cơ chế đánh giá và thích nghi như sau:

- Khi sai số  $|\varepsilon| \geq \beta(D_2(t) + D_1)$  tức là giá trị đánh giá của tín hiệu ra  $\hat{y}(t)$  khác xa với giá trị thực  $y(t)$ , hệ số thích nghi  $\alpha$  tiến dần đến 1 tức  $\beta \gg 1$ , quá trình thích nghi xảy ra nhanh hơn, quá trình cập nhật tham số d ra chậm hơn.

Ngược lại nếu  $|\varepsilon| < \beta (D_2(t) + D_1)$  thì hệ số thích nghi  $\alpha = 0$  quá trình thích nghi xảy ra chậm và tiến tới ngừng hẳn. Quảng thời gian ứng với  $\alpha = 0$  được gọi là vùng “tắt đánh giá”. Trong thời gian này quá trình thích nghi diễn ra chậm nhưng quá trình cập nhật đánh giá diễn ra với tần số cao.

Như vậy bộ đánh giá tham số là một dạng thuật toán bình phương tối thiểu có cải tiến bằng cách đưa thêm vào vùng “tắt đánh giá”. Đồng thời bằng cách chọn vùng chết thích hợp chúng ta có thể điều chỉnh được quá trình thích nghi và đảm bảo ổn định cho hệ.

### MÔ PHỎNG

Giả thiết đối tượng cần điều khiển có dạng sai lệch mô hình và nhiễu mô tả bởi :

$$(M_0 + \Delta M)y(t) = (N_0 + \Delta N)u(t) + d_1(t)$$

Sau khi chuyển về mô hình tham số có các thông số như sau :

$$(1 - 0.9366z^{-1} + 0.1616z^{-2})y(t) = (0.1974z^{-1} + 0.1988z^{-2})u(t) + d(t)$$

Như vậy :

$$M_0(z^{-1}) = 1 - 0.9366z^{-1} + 0.1616z^{-2} \text{ và } N_0(z^{-1}) = 0.1974z^{-1}$$

Thành phần sai số của mô hình do phần động học rất khó hoặc không thể mô hình hoá được gây ra :

$$\Delta M = 0.1616z^{-2}, \quad \Delta N = 0.1988z^{-2}$$

Theo giả thiết ta có :

$$\left\| \begin{matrix} \Delta_N \\ \Delta_M \end{matrix} \right\|_B < D_3$$

Trong đó  $D_3 = 0.03$  là giá trị cho trước.

Giá trị chặn trên của nhiễu cho trước là :

$$d(t) \leq 0.01, \forall t.$$

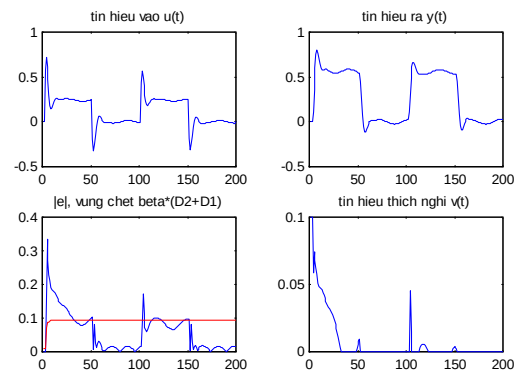
Chương trình mô phỏng được viết bằng ngôn ngữ MATLAB, bước tính 0.1 sec, số bước mô phỏng là 200.

Kết quả mô phỏng như trên hình 2

chúng ta thấy rằng khi  $\varepsilon(t) < \beta(D_2 + D_1)$ , tức sai số nằm trong vùng tắt đánh giá, quá trình

thích nghi ngừng lại, tín hiệu thích nghi  $v(t) = 0$ , nhưng việc cập nhật tham số  $\theta$  diễn ra với tần số cao (tương đương  $\varepsilon(t) = y(t) - \hat{y}(t)$  được cập nhật).

Ngược lại khi  $\varepsilon(t) \geq \beta(D_2 + D_1)$ , quá trình thích nghi được thực hiện, lúc này tín hiệu thích nghi  $v(t)$  được tính theo công thức (12), nhưng quá trình cập nhật  $\theta$  diễn ra chậm.



Hình 2. Kết quả mô phỏng

Như vậy, nếu biết trước giá trị chặn trên của nhiễu  $D_1$  và thành phần động học không mô hình hoá được  $D_2$ , chúng ta có thể xác định được kích thước vùng “tắt đánh giá”. Thông thường người ta mong muốn vùng chết càng nhỏ càng tốt, nhưng trong thực tế khó có thể xác định một cách chính xác các chặn trên  $D_1$  và  $D_2$ . Đây cũng là nhược điểm của phương pháp này, cần tìm cách khắc phục.

Từ hình 2 chúng ta cũng thấy rằng tín hiệu ra  $y(t)$  bám sát tín hiệu vào  $u(t)$  và hệ thống ổn định. Điều đó chứng tỏ thuật toán đánh giá tham số làm việc tốt.

### KẾT LUẬN

Bài báo trình bày vấn đề ổn định của hệ điều khiển thích nghi. Để đảm bảo tính bền vững bài báo đi theo hướng tổng hợp bộ đánh giá tham số bền vững thay cho bộ đánh giá tham số thông thường để đạt được tính bền vững và ổn định của hệ điều khiển thích nghi. Bộ đánh giá tham số bền vững dùng thuật toán nhận dạng bình phương tối thiểu cải tiến bằng cách đưa thêm vào bộ đánh giá “vùng tắt đánh giá”. “Vùng tắt đánh giá” dùng để đóng cắt

quá trình cập nhật thích nghi tham số. Quá trình thích nghi chỉ xảy ra khi sai số của tín hiệu ra lớn hơn giá trị ngưỡng nào đó. Các phân tích và kết quả mô phỏng đã chứng tỏ bộ đánh giá tham số nói trên đảm bảo tính bền vững của hệ Điều khiển thích nghi.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Nguyễn Thương Ngô (2006), *Lý thuyết điều khiển tự động thông thường và hiện đại*, Nxb Khoa học và kỹ thuật, Hà Nội.
2. Åstrom K. J. and Wittenmark (1995), *Adaptive Control*, Addison-Wesley Publishing Company.
3. Pgvoulgaris, M.Danlen (1994), Robust adaptive control, , *Automatica*, pp.1455-14461
4. Nguyễn Duy Cương (2015), *Điều khiển thích nghi bền vững cho robot hai bánh tự cân bằng*, Hội nghị toàn quốc lần thứ 3 về Điều khiển và Tự động hoá –VCCA.
5. Đặng Ngọc Trung (2016), “Một phương pháp tổng hợp hệ điều khiển thích nghi bền vững dựa trên thuật toán Sliding mode cho robot có kê đến tác động của ngoại lực và nhiễu bên ngoài”, *Tạp chí Khoa học và công nghệ Đại học Thái Nguyên*, 147(02).

