

Ứng dụng thuật toán giảm bậc cho bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh

Ths Vũ Ngọc Kiên

Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp - Đại học Thái Nguyên

e-Mail: atv324@gmail.com

Tóm tắt: Điều khiển cân bằng xe hai bánh hiện nay đang được nhiều nhà khoa học quan tâm. Một khó khăn cho bài toán điều khiển này là đối tượng điều khiển là khâu không ổn định và luôn bị nhiễu tác động. Để giải quyết bài toán này, các tác giả thường sử dụng thuật toán điều khiển bền vững H_∞ . Tuy nhiên bộ điều khiển cân bằng xe hai bánh theo thuật toán điều khiển bền vững H_∞ thường có bậc cao nên độ phức tạp lớn khi lập trình cho bộ điều khiển và ảnh hưởng tới chất lượng trong quá trình điều khiển thực. Bài báo đã đề xuất một thuật toán mới về giảm bậc mô hình nói chung và ứng dụng cho việc giảm bậc bộ điều khiển trong điều khiển cân bằng xe hai bánh nói riêng. Thuật toán giảm bậc mô hình đã đề xuất có thể ứng dụng trong các lĩnh vực khác như: viễn thông, công nghệ thông tin và toán ứng dụng.

Từ khoá: Giảm bậc mô hình, điều khiển bền vững, xe hai bánh

Abstract: Development of balanced control for the two-wheeled bicycle has attracted many researchers in the recent years. One difficulty for this control problem is that the controlling object is always unstable and is affected by interferences. To solve this problem, the authors in previous researches offer use sustainable control algorithm H_∞ . However, the two-wheeled bicycle balancing controller under H_∞ sustained control algorithms often has high order, complexity which will be significant when programming for controller and impact on quality in the process of factual control. This paper has proposed a new algorithm for reducing model orders in general and applying to reduce orders of controller in balance control of two-wheeled bicycle in particular. Proposed order reduction model algorithm can be applied in other fields such as telecommunications, information technology.

Key word: reduction order model, sustainable control, the two-wheeled bicycle

I. Đặt vấn đề

Trong những năm gần đây, nghiên cứu về xe hai bánh tự cân bằng đã được nhiều nhà khoa học trên thế giới quan tâm. Trong đó, một vấn đề khó khăn là nghiên cứu điều khiển cân bằng xe hai bánh. Việc điều khiển cân bằng cho xe hai bánh có thể được ứng dụng để điều khiển cho robot đi bằng hai chân, như robot ASIMO vì nguyên tắc điều khiển cân bằng là như nhau.

Có nhiều nghiên cứu về điều khiển cân bằng xe hai bánh, ví dụ như robot Murata Boy được phát triển tại Nhật bản năm 2005 [7].

Một số phương pháp được sử dụng để điều khiển cân bằng cho xe hai bánh là: cân bằng nhờ sử dụng một bánh đà, như trong các nghiên cứu của Beznos [1], Gallaspy năm 1999 [3], và Suprpto năm 2006 [9]; cân bằng bằng cách di chuyển tâm trọng lực của Lee và Ham năm 2006 [4] và cân bằng nhờ lực hướng tâm của Tanaka và Murakami năm 2004 [10].

Trong số các phương pháp đó, cân bằng nhờ sử dụng bánh đà có ưu điểm là đáp ứng nhanh và có thể cân bằng ngay cả khi xe không di chuyển.

Có nhiều thuật toán điều khiển xe hai bánh đã được đề xuất như điều khiển phi tuyến của Beznol năm 1998 [1], Lee và Ham năm 2002 [4], thiết kế bù bằng cách sử dụng phương pháp tiếp cận quỹ đạo gốc của Gallaspy năm 1999 [3] và điều khiển PD của Surpato năm 2006 [9]. Tuy nhiên, những thuật toán điều khiển đó không bền vững, xe không thể mang tải với các tải trọng biến đổi, và không thể làm việc trong môi trường có nhiễu loạn. Vì vậy các thuật toán điều khiển bền vững cho xe hai bánh là rất cần thiết.

Lý thuyết điều khiển bền vững H_∞ là một lý thuyết điều khiển hiện đại cho việc thiết kế các bộ điều khiển tối ưu và bền vững cho các đối tượng điều khiển có thông số thay đổi hoặc chịu tác động của nhiễu bên ngoài. Tuy nhiên, trong phương pháp thiết kế H_∞

mà McFarlane và Glover lần đầu tiên đưa ra vào năm 1992 [5] và kể cả các nghiên cứu sau này về lý thuyết điều khiển H_∞ [2] bộ điều khiển thu được thường có bậc cao (bậc của bộ điều khiển được xác định là bậc của đa thức mẫu). Bậc của bộ điều khiển cao có nhiều bất lợi khi chúng ta đem thực hiện điều khiển trên xe, vì mã chương trình phức tạp, thời gian tính toán lâu nên đáp ứng của hệ thống sẽ bị chậm. Vì vậy, việc giảm bậc bộ điều khiển mà vẫn đảm bảo chất lượng có một ý nghĩa thực tiễn.

Trong bài báo này, nhóm tác giả lựa chọn phương pháp điều khiển cân bằng cho xe hai bánh có ứng dụng thuật toán giảm bậc mô hình theo hai bước như sau:

a, Thiết kế bộ điều khiển H_∞ để điều khiển cân bằng cho xe hai bánh, bộ điều khiển tìm được gọi là bộ điều khiển đủ bậc.

b, Đề xuất thuật toán giảm bậc bộ điều khiển H_∞ đủ bậc về bộ điều khiển có bậc thấp hơn mà vẫn đảm bảo chất lượng. Việc giảm bậc này có ý nghĩa là giảm thời gian đáp ứng của hệ.

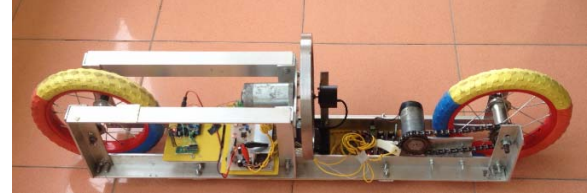
1.1 Mô hình động lực và mô hình toán học xe hai bánh tự cân bằng

Mô hình xe hai bánh được xây dựng dựa trên cơ sở định luật bảo toàn động lượng có cơ sở là: Nếu không có một mô men xoắn (mô men lực) bên ngoài nào tác động lên một đối tượng hay hệ thống (hoặc tổng mô men xoắn - mô men lực tác động vào một đối tượng bằng không) thì tổng mô men động lượng của đối tượng đó sẽ được bảo toàn.

Xe hai bánh tự cân bằng trang bị một bánh đà và sử dụng bánh đà để duy trì cân bằng của xe. Một động cơ một chiều có tác dụng tạo ra mô men xoắn cho bánh đà và do đó khi xe bị nghiêng khỏi vị trí cân bằng thì động cơ xe quay bánh đà và gây ra một mô men xoắn tương ứng tác động lên xe theo chiều ngược chiều nghiêng của xe có tác dụng kéo xe trở lại vị trí cân bằng.

Để điều khiển gia tốc của bánh đà, ta sử dụng một động cơ một chiều DC với điện áp đặt lên động cơ là U , khi này ta đưa bài toán

điều khiển cân bằng xe về bài toán điều khiển góc nghiêng γ (đầu ra) bằng cách điều khiển điện áp U (đầu vào) đặt lên động cơ DC. Nhiệm vụ đặt ra là phải thiết kế một bộ điều khiển để giữ cho xe cân bằng tức là giữ cho góc (đầu ra) luôn tiến tới không. Mô tả chi tiết cấu tạo xe hai bánh cân bằng có trong hình 1.



Hình 1. Mô hình chi tiết xe hai bánh tự cân bằng

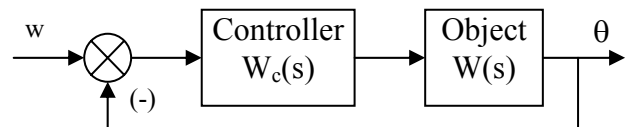
Mô hình hóa xe hai bánh tự cân bằng với các thông số danh định, tác giả thu được mô hình hàm truyền danh định của hệ thống cân bằng xe như sau:

$$W(s) = \frac{\theta(s)}{U(s)} = \frac{-0.2962s - 3.288e-017}{s^3 + 0.2148s^2 - 42.67s - 8.633} \quad (3)$$

1.2 Bộ điều khiển H_∞ đủ bậc của xe hai bánh cân bằng

Từ mô hình hàm truyền của hệ thống cân bằng xe cho ta thấy đối tượng điều khiển là hệ thống không ổn định. Ngoài ra, hệ thống cân bằng chịu nhiều tác động nhiễu loạn. Đồng thời tải trọng của xe cân bằng cũng có thể thay đổi nên dẫn tới mô hình của hệ thống cân bằng cũng thay đổi. Do vậy thuật toán điều khiển bền vững là tối ưu nhất để điều khiển hệ thống cân bằng xe.

Cấu trúc hệ thống điều khiển như hình 1:



Hình 2: Cấu trúc hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh

Thiết kế bộ điều khiển hệ thống cân bằng xe theo thuật toán điều khiển bền vững H_∞ đủ bậc theo phương pháp tham số hóa Youla và cân bằng mô hình theo tài liệu [14], bộ điều khiển H_∞ đủ bậc được thiết kế như sau:

$$W_c(s) = \frac{H(s)}{D(s)} \quad (4)$$

$$\begin{aligned}
H(s) &= 1.26s^{15} + 110.4s^{14} + 3959s^{13} + 8.089e4s^{12} + 1.078e6s^{11} + 1.006e7s^{10} + 6.869e7s^9 \\
&\quad + 3.547e8s^8 + 1.419e9s^7 + 4.478e9s^6 + 1.116e10s^5 + 2.142e10s^4 + 2.96e10s^3 \\
&\quad + 2.616e10s^2 + 1.183e10s + 1.536e9 \\
D(s) &= -0.0001185s^{15} - 0.02028s^{14} - 1.051s^{13} - 22.89s^{12} - 222.5s^{11} - 165.6s^{10} + 1.999e4s^9 \\
&\quad + 2.433e5s^8 + 1.533e6s^7 + 5.942e6s^6 + 1.438e7s^5 + 2.042e7s^4 + 1.401e7s^3 \\
&\quad + 2.108e6s^2 + 1.49e - 8s
\end{aligned}$$

Bộ điều khiển đủ bậc có bậc 15 sẽ dẫn tới nhiều bất lợi khi chúng ta đem thực hiện điều khiển cân bằng xe vì mã chương trình phức tạp làm thời gian xử lý sẽ tăng lên, tốc độ đáp ứng của hệ thống điều khiển bị chậm và không đáp ứng tốt yêu cầu về thời gian thực của bộ điều khiển và có thể làm hệ thống cân bằng mất ổn định. Chính vì vậy để nâng cao chất lượng bộ điều khiển này cần phải thực hiện giảm bậc bộ điều khiển để mã chương trình trở lên đơn giản hơn, giảm thời gian xử lý, tăng tốc độ đáp ứng mà vẫn thoả mãn được yêu cầu ổn định bền vững của hệ thống.

II. Thuật toán giảm bậc mô hình dựa theo phân tích Schur

2.1 Bài toán giảm bậc mô hình

Cho một hệ tuyến tính, liên tục, tham số bất biến theo thời gian, có nhiều đầu vào, nhiều đầu ra, mô tả trong không gian trạng thái bởi hệ phương trình sau:

$$\begin{aligned}
\dot{x} &= Ax + Bu \\
y &= Cx
\end{aligned} \quad (5)$$

trong đó, $x \in \mathbb{R}^n$, $u \in \mathbb{R}^p$, $y \in \mathbb{R}^q$, $A \in \mathbb{R}^{n \times n}$, $B \in \mathbb{R}^{n \times p}$, $C \in \mathbb{R}^{q \times n}$.

Mục tiêu của bài toán giảm bậc đối với mô hình mô tả bởi hệ phương trình đã cho trong (5) là tìm mô hình mô tả bởi hệ các phương trình:

$$\begin{aligned}
\dot{x}_r &= A_r x_r + B_r u \\
y_r &= C_r x_r
\end{aligned} \quad (6)$$

trong đó, $x_r \in \mathbb{R}^r$, $u \in \mathbb{R}^p$, $y_r \in \mathbb{R}^q$, $A_r \in \mathbb{R}^{r \times r}$, $B_r \in \mathbb{R}^{r \times p}$, $C_r \in \mathbb{R}^{q \times r}$, với $r \leq n$;

Sao cho mô hình mô tả bởi phương trình (6) có thể thay thế mô hình mô tả bởi phương trình trong (5) ứng dụng trong phân tích, thiết kế, điều khiển hệ thống.

2.2 Thuật toán giảm bậc mô hình dựa theo phân tích Schur

Hầu hết các thuật toán giảm bậc mô hình được công bố trên thế giới đều chỉ áp dụng cho các đối tượng ổn định (tức là các

nhịệm của đa thức đặc trưng luôn có phần thực âm). Tuy nhiên trong thực tế, bài toán giảm bậc bộ điều khiển (mục I của bài báo này) thì bộ điều khiển gốc bậc cao có thể không ổn định vì thế thuật toán giảm bậc cần giảm bậc được cho cả hệ không ổn định để có thể áp dụng thuật toán giảm bậc cho mọi đối tượng của bài toán giảm bậc (đối tượng ổn định hoặc không ổn định).

Để thực hiện giảm bậc cho hệ không ổn định thì có hai phương pháp cơ bản: Phương pháp giảm bậc gián tiếp và phương pháp giảm bậc trực tiếp. Trong nội dung bài báo này, tác giả xây dựng một thuật toán giảm bậc mới áp dụng cho hệ không ổn định theo phương pháp giảm bậc gián tiếp. Nội dung cụ thể của thuật toán mới như sau:

Đầu vào: Hệ không ổn định được mô tả trong (5)

Bước 1: Phân tách hệ không ổn định thành hai phân hệ ổn định và không ổn định theo thuật toán như sau:

Thuật toán 2.2.1: Thuật toán phân tách hệ không ổn định

Đầu vào: Hệ (A, B, C) được mô tả trong (5) (hệ không ổn định)

Bước 1: Chuyển hệ thống về dạng tựa tam giác ta thu được hệ thống có dạng

$$A_t = \begin{bmatrix} A_{t11} & A_{t12} \\ 0 & A_{t22} \end{bmatrix}; B_t = \begin{bmatrix} B_{t1} \\ B_{t2} \end{bmatrix}; C_t = [C_{t1} \quad C_{t2}]$$

với $A_{t11} \in \mathbb{R}^{m \times m}$ (với m là các điểm cực ổn định), $A_{t12} \in \mathbb{R}^{m \times (n-m)}$,

$$A_{t22} \in \mathbb{R}^{(n-m) \times (n-m)}; B_{t1} \in \mathbb{R}^{m \times p}; B_{t2} \in \mathbb{R}^{(n-m) \times p},$$

$$C_{t1} \in \mathbb{R}^{q \times m}; C_{t2} \in \mathbb{R}^{q \times (n-m)}.$$

Bước 2: Tính S từ phương trình Lyapunov sau

$$A_{t11}S - SA_{t22} + A_{t12} = 0$$

Bước 3: Xác định ma trận chuyển trạng thái

$$W = \begin{bmatrix} I_r & . & S \\ \dots & . & \dots \\ 0 & . & I_{n-r} \end{bmatrix}$$

Với I_m và I_{n-m} tương ứng là ma trận đơn vị kích thước $m \times m$ và $(n-m) \times (n-m)$

Bước 4:

Tính $(A_d, B_d, C_d) = (W^{-1}A_tW, W^{-1}B_t, C_tW)$

Bước 5: Phân tách hệ (A_d, B_d, C_d, D) về dạng

$$A_d = \begin{bmatrix} A_{d11} & 0 \\ 0 & A_{d22} \end{bmatrix}; B_d = \begin{bmatrix} B_{d1} \\ B_{d2} \end{bmatrix}; C_d = [C_{d1} \quad C_{d2}]$$

với $A_{d11} \in R^{m \times m}$, $A_{d22} \in R^{(n-m) \times (n-m)}$

$B_{d1} \in R^{m \times p}$, $B_{d2} \in R^{(n-m) \times p}$,

$C_{d1} \in R^{q \times m}$, $C_{d2} \in R^{q \times (n-m)}$.

Đầu ra: Hệ ổn định $(A_{d11}, B_{d1}, C_{d1})$

Hệ không ổn định $(A_{d22}, B_{d2}, C_{d2})$

Bước 2: Thực hiện chuyển đổi ma trận A của phân hệ ổn định $(A_{d11}, B_{d1}, C_{d1})$ về dạng ma trận tam giác trên dựa theo phân tích Schur theo thuật toán sau:

Thuật toán 2.2.2: Thuật toán đưa hệ về dạng tam giác

Đầu vào: Hệ gốc $(A_{d11}, B_{d1}, C_{d1})$ là đầu ra của thuật toán 2.2.1.

Bước 1: Tính phân tích Schur của ma trận A_{d11} : $A_{d11} = U\Delta U^T$, trong đó U là ma trận unitary và Δ là ma trận tam giác trên.

Bước 2: Tính Gramian quan sát Q của hệ từ phương trình Lyapunov

$$\Delta Q + Q\Delta + (CU)^T(CU) = 0$$

Bước 3: Phân tích Cholesky của $Q = R^T R$, trong đó R là ma trận tam giác trên

Bước 4: Tính ma trận không suy biến $T = UR^{-1}$

Bước 5:

Tính $(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C}) = (T^{-1}A_{d11}T, T^{-1}B_{d1}, C_{d1}T)$

Đầu ra: Hệ tương đương $(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})$

Sau đó, thực hiện sắp xếp các giá trị điểm cực theo tính chất quan trọng giảm dần trên

đường chéo chính của ma trận tam giác trên A theo thuật toán sau:

Thuật toán 2.2.3. Thuật toán sắp xếp lại điểm cực theo thước đo tính trội R_i

Đầu vào: Hệ $(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})$ là đầu ra của thuật toán 2.2.2.

Bước 1: Với mỗi điểm λ_i , với $i=1, \dots, n$ ta tính toán thước đo tính trội tương ứng

$$R_i = \frac{\|\tilde{C}_i \tilde{B}_i\|_2}{\|\text{Re } \lambda_i\|}$$

Bước 2: Chọn thước đo tính trội lớn nhất R_{i_1}

Bước 3: Sắp xếp lại điểm cực λ_{i_1} (và liên hợp của nó $\bar{\lambda}_{i_1}$, nếu cần thiết) thành vị trí đầu tiên trên đường chéo của ma trận \tilde{A} bằng ma trận unitary (unitary matrix) U_1 :

$$U_1^* \tilde{A} U_1 = \begin{bmatrix} \lambda_{i_1} & * & * & * & * \\ & \bar{\lambda}_{i_1} & * & * & * \\ \hline & & * & * & * \\ & & & \ddots & * \\ & & & & * \end{bmatrix}$$

Bước 4: Tính hệ thống tương đương mới $(U_1^T \tilde{A} U_1, U_1^T \tilde{B}, \tilde{C} U_1)$.

Bước 5: Bỏ đi hai hàng và cột đầu tiên của $(U_1^T \tilde{A} U_1, U_1^T \tilde{B}, \tilde{C} U_1)$ ta thu được một hệ thống nhỏ $(\hat{A}, \hat{B}, \hat{C})$ với kích cỡ $n-2$.

Bước 6: Lặp lại quá trình trên từ bước 1 đến 5 cho hệ thống nhỏ $(\hat{A}, \hat{B}, \hat{C})$ và tiếp tục vòng lặp cho đến khi tất cả các điểm cực được sắp xếp lại theo độ lớn giảm dần của thước đo tính trội.

Đầu ra: Hệ tương đương $(\tilde{A}, \tilde{B}, \tilde{C})$ với các điểm cực được sắp xếp lại theo độ lớn giảm dần của thước đo tính trội.

Điểm mới quan trọng nhất của **bước 2** là khả năng sắp xếp theo tính chất quan trọng giảm dần của các điểm cực trên đường chéo chính của ma trận tam giác trên A và khả năng bảo lưu các điểm cực quan trọng của mô hình gốc trong mô hình giảm bậc.

Bước 3: Giảm bậc phân hệ ổn định theo thuật toán sau:

Thuật toán 2.2.4 Rút gọn hệ tương đương

Điều vào: Hệ tương đương $(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C})$ thu được từ Thuật toán 2.2.3.

Bước 1: Chọn số bậc cần rút gọn r sao cho $r < n$

Bước 2: Biểu diễn $(\bar{A}, \bar{B}, \bar{C})$ ở dạng khối nhau sau

$$\bar{A} = \begin{bmatrix} A_{11} & A_{12} \\ 0 & A_{22} \end{bmatrix}; \bar{B} = \begin{bmatrix} B_1 \\ B_2 \end{bmatrix}; \bar{C} = [C_1 \quad C_2]$$

trong đó $A_{11} \in R^{r \times r}$, $B_1 \in R^{r \times p}$, $C_1 \in R^{q \times r}$.

Bậc	Mô hình hàm truyền – $W_{cr}(s)$
8	$\frac{-1.063e4s^8 + 4.176e007s^7 - 2.651e010s^6 - 2.611e12s^5 - 7.835e13s^4 - 6.448e12s^3 + 8.468e015s^2 + 2.734e16s + 1.257e16}{s^8 - 675.7s^7 + 5.198e4s^6 + 1.858e7s^5 + 5.513e8s^4 - 1.7e9s^3 - 5.423e10s^2 - 7.834e10s - 1.938e10}$
5	$\frac{-1.063e4s^5 - 4.383e5s^4 - 2.877e6s^3 - 6.463e6s^2 - 2.638e007s - 2.638e7}{s^5 + 124.8s^4 + 2117s^3 - 3.62e4s^2 - 3.797e-010s - 1.666e-12}$
4	$\frac{-1.063e4s^4 - 6.758e4s^3 - 2.353e5s^2 - 7.301e4s - 7.515e5}{s^4 + 89.69s^3 - 1031s^2 - 7.028e-12s - 9.88e-14}$
3	$\frac{-1.063e4s^3 + 9.102e4s^2 - 7226s - 7515}{s^3 - 10.31s^2 - 7.027e-14s - 9.88e-16}$
2	$\frac{-1.063e4s^2 + 9.593e4s - 5.862e4}{s^2 - 10.31s - 4.031e-28}$

3.2 Sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 4, 5 điều khiển cân bằng xe hai bánh

Sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5 ở bảng 1 để điều khiển hệ thống cân bằng cho xe hai bánh có mô hình đối tượng điều khiển như (3). Để thấy rõ chất lượng, ta so sánh với bộ điều khiển đủ bậc (bậc 15).

Thực hiện mô phỏng với tham số của mô hình xe hai bánh là danh định và ban đầu xe lệch khỏi phương thẳng đứng một góc

$$\theta = \frac{\pi}{180} (rad) \text{ .Việc mô phỏng nhờ}$$

Matlab/Simulink, kết quả mô phỏng như hình 3.

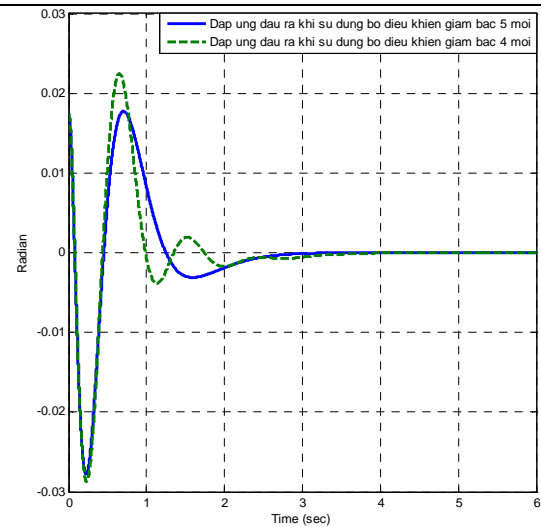
Điều ra: Hệ rút gọn (A_{11}, B_1, C_1) .

Điều ra: Hệ rút gọn $((A_{11}, B_1, C_1) + (A_{d22}, B_{d2}, C_{d2}))$

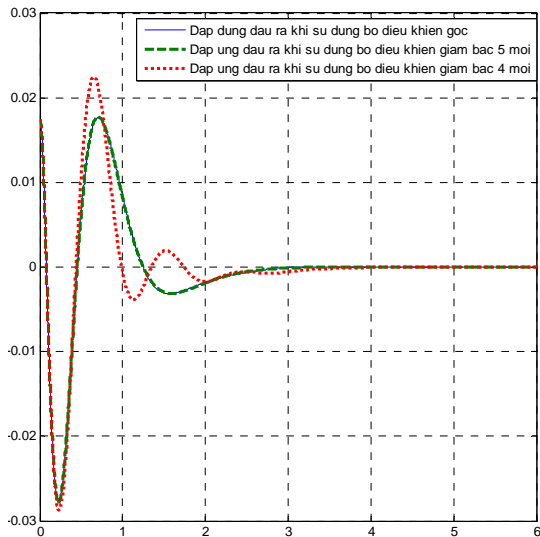
III. Ứng dụng thuật toán giảm bậc mới cho bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh

3.1 Kết quả giảm bậc bộ điều khiển cân bằng xe hai bánh

Bộ điều khiển H_∞ đủ bậc được thiết kế như (4), đó là bộ điều khiển bậc 15. Thực hiện giảm bậc bộ điều khiển H_∞ đủ bậc theo thuật toán giảm bậc đã nêu trên, ta được kết quả theo bảng sau:



Hình 3. Đáp ứng đầu ra của hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh khi sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5, 4

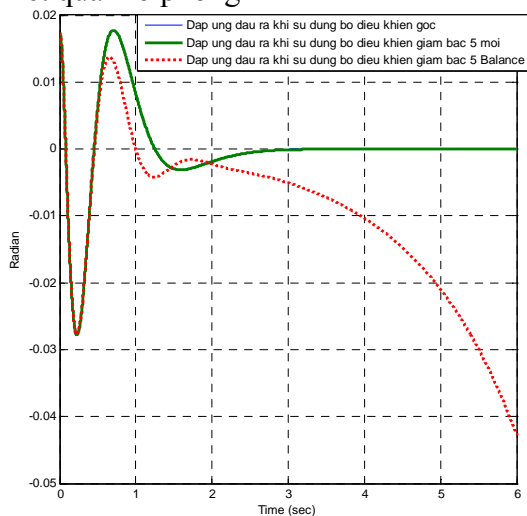


Hình 4. Đáp ứng đầu ra của hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh khi sử dụng bộ điều khiển gốc và bộ điều khiển giảm bậc 5, 4

- So sánh kết quả hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển gốc, bộ điều khiển giảm bậc theo phương pháp giảm bậc mới và phương pháp giảm bậc khác. Tác giả lựa chọn so sánh thuật toán giảm bậc mới với thuật toán cắt ngắn cân bằng của Moore [13], đây là thuật toán giảm bậc được sử dụng phổ biến nhất. Để thực hiện giảm bậc theo thuật toán cắt ngắn cân bằng trong Matlab ta sử dụng lệnh **balancmr**, kết quả thu được bộ điều khiển giảm bậc 5 như sau

$$R_{nb} = \frac{-1.063e4s^3 - 4.411e5s^4 - 2.89e6s^3 - 6.525e6s^2 - 2.656e7s - 2.658e7}{s^3 + 125.1s^4 + 2142s^3 - 3.649e4s^2 - 4.047e-10s + 6.265e-15}$$

Kết quả mô phỏng



Hình 5. Đáp ứng đầu ra của hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển gốc và các bộ điều khiển giảm bậc 5

3.3 Nhận xét kết quả

- Sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5,4 theo thuật toán mới có thể điều khiển cân bằng cho mô hình xe hai bánh, trong đó đáp ứng đầu ra của bộ điều khiển giảm bậc 5 hoàn toàn trùng khít với đáp ứng đầu ra của bộ điều khiển gốc, đáp ứng đầu ra của bộ điều khiển giảm bậc 4 có sự sai khác so với đáp ứng của bộ điều khiển gốc.

- So sánh chất lượng hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5 theo thuật toán mới với bộ điều khiển giảm bậc 5 theo thuật toán cắt ngắn cân bằng (balance) ta thấy: Hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5 theo thuật toán mới đảm bảo cân bằng ổn định được mô hình xe hai bánh khi xe lệch khỏi phương thẳng đứng và khi tham số của mô hình thay đổi. Hệ thống điều khiển cân bằng xe hai bánh sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5 theo thuật toán cắt ngắn cân bằng (balance) không đảm bảo ổn định được mô hình xe hai bánh khi xe lệch khỏi phương thẳng đứng và khi tham số của mô hình thay đổi.

IV. Kết luận

Bài báo đã đề xuất một thuật toán giảm bậc mô hình mới dựa theo phân tích Schur và áp dụng thành công trong bài toán điều khiển cân bằng xe hai bánh: chuyển bộ điều khiển đủ bậc theo H_∞ (bậc 15) về bộ điều khiển giảm bậc 5,4 với chất lượng hệ thống điều khiển vẫn được đảm bảo. Sử dụng bộ điều khiển giảm bậc 5, 4 sẽ làm mã chương trình đơn giản hơn, tăng tốc độ tính toán, thời gian xử lý nhanh hơn và đảm bảo tính thời gian thực của hệ thống điều khiển xe cân bằng. Các kết quả mô phỏng thể hiện tính đúng đắn của thuật toán giảm bậc đã đề xuất.

V. Tài liệu tham khảo

- [1] Beznos AV, Formalsky AM, Gurfinkel EV, Jicharev DN, Lensky AV, Savitsky K V, et al. (1998) "Control of autonomous motion of two-wheel bicycle with gyroscopic stabilization," In: Proceedings of the IEEE international conference on robotics and automation 1998, p. 2670-5.

- [2] Chu YC, Glover K, Dowling AP. (2003) "Control of combustion oscillations via H_∞ loop shaping, μ -analysis and integral quadratic constraints," *Automatica* 2003; 39(2): 219-31
- [3] Gallaspy JM. (1999) "Gyroscopic stabilization of an unmanned bicycle," M.S. Thesis, Auburn University
- [4] Lee S, Ham W. (2002) "Self-stabilizing strategy in tracking control of unmanned electric bicycle with mass balance," IEEE international conference on intelligent robots and systems 2002, p. 2200-5.
- [5] McFarlane D, Glover K. (1992) "A loop shaping design procedure using H_∞ synthesis," *IEEE Trans Automat Contr* 1992; 37(6): 759-69.
- [6] Minh H.B and Kiyotsuga Takaba.(2011) "Model reduction in Schur basic with pole retention and H_∞ - norm error bound," In: Proceedings of international workshop on Modeling, Systems, and Control 2011
- [7] Murata Boy Robot (2005) (www.murataboy.com).
- [8] Nguyễn Hữu Công, Vũ Ngọc Kiên, Đào Huy Du, *Nghiên cứu thuật toán giảm bậc mô hình theo phương pháp cân bằng*, Tạp chí Khoa học và Công nghệ các trường Đại học Kỹ thuật, số 80, trang 34-39, năm 2011
- [9] Suprpto S. (2006) "Development of a gyroscopic unmanned bicycle," M.Eng. Thesis, Asian Institute of Technology, Thailand.
- [10] Tanaka Y, Murakami T. (2004) "Self sustaining bicycle robot with steering controller," In: Proceedings of international workshop on advanced motion control 2004, p. 193-7
- [11] Thanh B.T, and Manukid Parnichkun. (2008) "Balancing control of Bicyrobo by particle swarm optimization – based structure-specified mixed H_2/H_∞ control," *International Journal of Advanced Robotic Systems* 2008; 5(4): 395- 402.
- [12] Y. Liu, and B. D. O. Anderson (1989), *Singular Perturbation Approximation of Balanced Systems*, *International Journal of Control*, Vol. 50, pp. 1379-1404, 1989.
- [13] A.C Antoulas, *Approximation of Large – Scale Dynamical Systems*, SIAM, 2005.
- [14] Nguyễn Doãn Phước, *Lý thuyết điều khiển nâng cao*, NXB Khoa học và Kỹ thuật, 2009