

ỨNG DỤNG TRÍ TUỆ NHÂN TẠO TRONG ĐIỀU KHIỂN ROBOT CHỊU NHIỀU BẤT ĐỊNH

ARTIFICIAL INTELLIGENCE APPLICATION IN CONTROLLING ROBOT AFFECTED BY UNCERTAINTY NOISE

Mai Tuấn Anh^{1,*}, Giáp Hải Bình²,
Vũ Xuân Thắng², Nguyễn Trọng Vũ², Nguyễn Văn Trường³

TÓM TẮT

Trong bài báo này, thuật toán điều khiển ứng dụng trí tuệ nhân tạo được đề xuất trong việc điều khiển robot chịu nhiễu bất định. Đại số gia tử được sử dụng để thiết kế bộ điều khiển có chất lượng tốt mà không phụ thuộc nhiều vào kiến thức chuyên gia. Hàm nội suy của đại số gia tử có thêm thành phần sai số giúp chống nhiễu bất định tốt hơn. Bên cạnh đó, giải thuật di truyền được sử dụng để tối ưu các thông số của hàm nội suy. Tính ổn định của hệ thống được đảm bảo bởi tiêu chuẩn Lyapunov. Pendubot, một mô hình hạt dẫn động điển hình, được sử dụng để kiểm chứng hiệu quả của bộ điều khiển. Kết quả mô phỏng cho thấy hệ thống cho kết quả tốt khi chịu nhiễu bất định.

Từ khóa: Trí tuệ nhân tạo, đại số gia tử, pendubot, nhiễu bất định.

ABSTRACT

In this paper, artificial intelligence application control algorithm is proposed in controlling robot affected by disturbances. Hedge algebra is utilized to design a controller had good quality without much dependence on expert knowledge. The interpolation function of the hedge algebra has an additional error component to better performance with uncertainty noise. Besides, genetic algorithm is adopted to optimized the parameters of interpolation function. The stability of system is guaranteed by Lyapunov method. Pendubot – an underactuated model- is used to verify the proposed controller's effectiveness. Simulation results show that the system gives good results when subjected to uncertainty noise.

Keywords: Artificial intelligence, hedge algebra, pendubot, uncertainty noise.

¹Lớp Cơ điện tử 01 - K13, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

²Lớp Cơ điện tử 02 - K13, Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

³Khoa Cơ khí, Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: maituan3107@gmail.com

1. GIỚI THIỆU

Đã có nhiều phương pháp điều khiển được nghiên cứu và phát triển để tăng chất lượng ổn định của các hệ thống. Tuy nhiên trong thực tế hoạt động, hệ thống thường xuyên chịu ảnh hưởng của các nhiễu không xác định. Và khi đó phần lớn các bộ điều khiển cho kết quả đáp ứng với nhiễu chưa tốt hoặc chỉ đáp ứng được với các nhiễu đơn giản, có một số giải thuật điều khiển có thể đáp ứng tốt hơn nhưng quá trình thiết kế là vô cùng phức tạp và cần nhiều thông tin tiên nghiệm. Do đó trong nghiên cứu này nhóm tác giả tập

trung xây dựng một bộ điều khiển cho khả năng đáp ứng với các nhiễu không xác định và có quá trình thiết kế không quá phức tạp. Để giải quyết vấn đề trên, bài báo nghiên cứu bộ điều khiển ứng dụng phương pháp đại số gia tử kết hợp giải thuật di truyền để tối ưu tham số. Thử nghiệm mô phỏng và thực tế để kiểm tra đáp ứng của bộ điều khiển với các nhiễu không xác định tác động lên hệ thống

2. PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

Trong phương pháp giải dựa trên lý thuyết tập mờ có rất nhiều yếu tố gây sai số và không dễ có trực quan. Điều này cần nhiều kinh nghiệm của chuyên gia cho việc lựa chọn như: xây dựng hàm thuộc; chọn cách giải nghĩa mệnh đề bằng quan hệ mờ (thực chất là chọn việc giải nghĩa toán tử kéo theo); chọn toán tử kết nhập (aggregation) các quan hệ chọn phép hợp thành để tính output; chọn phương pháp khử mờ và luật điều khiển. Vậy nên sử dụng điều khiển đại số gia tử làm cho việc xây dựng bộ điều khiển trở nên đơn giản vì đại số gia tử chỉ phải tập trung vào lựa chọn độ đo của các gia tử và chúng trở thành hệ tham số của phương pháp.

Mô hình được lựa chọn để thiết kế bộ điều khiển là pendubot. Đây là một hệ hạt dẫn động điển hình, có tính phi tuyến cao, thường được sử dụng để kiểm chứng chất lượng của bộ điều khiển. Phương trình trạng thái của hệ thống pendubot thể hiện như sau [1]:

$$\begin{aligned} \dot{x}_1 &= x_2 \\ \dot{x}_2 &= \ddot{q}_1 = \frac{1}{\theta_1 \theta_2 - \theta_3^2 \cos^2(q_2)} \begin{bmatrix} \theta_2 \tau_1 + \theta_2 \theta_3 (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \sin q_2 \\ + \theta_3^2 \dot{q}_1^2 \sin q_2 \cos q_2 - \theta_2 \theta_3 g \cos q_1 \\ + \theta_3 \theta_3 g \cos q_2 \cos(q_1 + q_2) \end{bmatrix} \\ \dot{x}_3 &= x_4 \end{aligned} \quad (1)$$

$$\dot{x}_4 = \ddot{q}_2 = \frac{1}{\theta_1 \theta_2 - \theta_3^2 \cos^2(q_2)} \begin{bmatrix} (-\theta_2 - \theta_3 \cos q_2) \tau_1 \\ - \theta_3 (\theta_2 + \theta_3 \cos q_2) (\dot{q}_1 + \dot{q}_2)^2 \sin q_2 \\ - \theta_2 g (\theta_1 + \theta_3 \cos q_2) \cos(q_1 + q_2) \\ + \theta_3 g (\theta_2 + \theta_3 \cos q_2) \cos q_1 \\ - \theta_3 \dot{q}_1^2 \sin q_2 (\theta_1 + \theta_3 \cos q_2) \end{bmatrix}$$

Thiết kế bộ điều khiển cho hệ thống như sau:

a) Xác định tham số và định lượng mờ nghĩa

Biến trạng thái:

$$x_1 = \frac{\pi}{2} - q_1 : \text{sai số góc khâu 1}$$

$$x_2 = \frac{\pi}{2} - q_1 - q_2 : \text{sai số góc khâu 2}$$

$$x_3 = -\dot{q}_1 : \text{sai số vận tốc góc khâu 1}$$

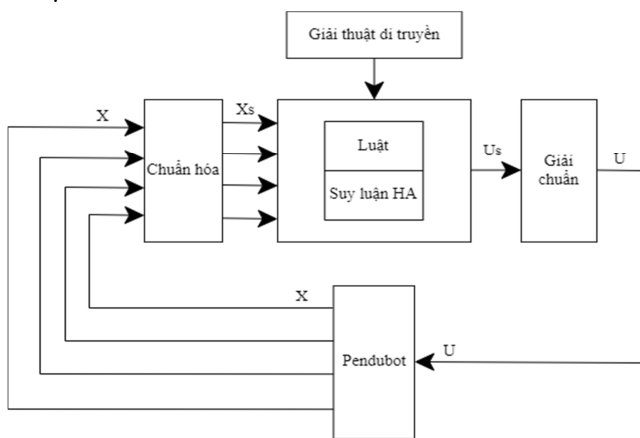
$$x_4 = -\dot{q}_1 - \dot{q}_2 : \text{sai số vận tốc góc khâu 2}$$

Biến điều khiển:

$$x_5 = \tau_1 : \text{Moment tác dụng vào khâu 1}$$

Xét AX của biến ngôn ngữ X: AX = (X, G, C, H, ≤)

Trong đó : $G = \{c^-, c^+\} = \{\text{Negative, Positive}\}$ là tập các nhãn gốc; $C = \{0, W, 1\}$ với 0, W và 1 lần lượt là các hằng số absolutely Negative, neutral và absolutely Positive; $H = H^- \cup H^+ = \{\text{Very, Little}\}$ là tập các gia tử; ≤ là quan hệ thứ tự của X.



Hình 1. Sơ đồ điều khiển đại số gia tử tối ưu

Áp dụng lý thuyết định lượng trong [2], các giá trị ánh xạ ngôn ngữ định lượng (SQMs) được xác định. Trong trường hợp $\mu(\text{Negative}) = 0,5$ và $\mu(\text{Little}) = 0,5$, các giá trị ngôn ngữ điển hình của biến ngôn ngữ X được thể hiện qua bảng 1 và các giá trị ngôn ngữ được lựa chọn cho từng biến ngôn ngữ được biểu diễn qua bảng 2.

Bảng 1. Giá trị ngôn ngữ điển hình

Giá trị ngôn ngữ	VN	N	LN	W	LP	P	VP
SQMs	0,125	0,25	0,375	0,5	0,625	0,75	0,875

Bảng 2. Giá trị ngôn ngữ được lựa chọn

Biến ngôn ngữ	VN:0,125	N:0,25	LN:0,375	W:0,5	LP:0,625	P:0,75	VP:0,875
x_1		•		•		•	
x_2		•		•		•	
x_3		•		•		•	
x_4		•		•		•	
u	•	•	•	•	•	•	•

Chuẩn hóa và giải chuẩn của biến ngôn ngữ, chuyển đổi miền giá trị xác định sang miền giá trị SQM và ngược lại được thể hiện qua công thức:

$$\text{Chuanhoa}(x) = s_0 + \frac{s_1 - s_0}{x_1 - x_0} (x - x_0) \quad (2)$$

$$\text{Giaichuan}(s) = x_0 + \frac{x_1 - x_0}{s_1 - s_0} (s - s_0) \quad (3)$$

Trong đó biến ngôn ngữ X thuộc khoảng thực $[x_0, x_1]$ và các nhãn ngôn ngữ của nó nhận giá trị định lượng trong khoảng ngữ nghĩa định lượng tương ứng $[s_0, s_1]$.

b) Thiết kế bộ điều khiển Balancing sử dụng đại số gia tử

Khoảng làm việc của biến được xác định:

$$x_1 = \left(-\frac{\pi}{4}; \frac{\pi}{4}\right) (\text{rad})$$

$$x_2 = \left(-\frac{\pi}{8}; \frac{\pi}{8}\right) (\text{rad})$$

$$x_3 = (-20; 20) (\text{rad/s})$$

$$x_4 = (-20; 20) (\text{rad/s})$$

$$x_5 = (-30; 30) (\text{N.m})$$

Từ việc tham khảo tài liệu [2] ta rút ra bộ luật Balancing gồm 81 luật:

Bảng 3. Bộ luật Balancing

TT	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	TT	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	TT	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5
1	N	N	N	N	VP	28	N	N	W	N	VP	55	N	N	P	N	VP
2	N	W	N	N	VP	29	N	W	W	N	VP	56	N	W	P	N	P
3	N	P	N	N	VP	30	N	P	W	N	VP	57	N	P	P	N	LP
4	W	N	N	N	VP	31	W	N	W	N	VP	58	W	N	P	N	VP
5	W	W	N	N	VP	32	W	W	W	N	VP	59	W	W	P	N	P
6	W	P	N	N	VP	33	W	P	W	N	VP	60	W	P	P	N	LP
7	P	N	N	N	VP	34	P	N	W	N	VP	61	P	N	P	N	VP
8	P	W	N	N	VP	35	P	W	W	N	VP	62	P	W	P	N	P
9	P	P	N	N	VP	36	P	P	W	N	VP	63	P	P	P	N	LP
10	N	N	N	W	VP	37	N	N	W	W	LP	64	N	N	P	W	W
11	N	W	N	W	P	38	N	W	W	W	W	65	N	W	P	W	N
12	N	P	N	W	P	39	N	P	W	W	W	66	N	P	P	W	VN
13	W	N	N	W	VP	40	W	N	W	W	LP	67	W	N	P	W	W
14	W	W	N	W	P	41	W	W	W	W	W	68	W	W	P	W	N
15	W	P	N	W	LP	42	W	P	W	W	W	69	W	P	P	W	VN
16	P	N	N	W	VP	43	P	N	W	W	LP	70	P	N	P	W	N
17	P	W	N	W	P	44	P	W	W	W	W	71	P	W	P	W	N
18	P	P	N	W	LP	45	P	P	W	W	W	72	P	P	P	W	VN
19	N	N	N	P	W	46	N	N	W	P	VN	73	N	N	P	P	VN
20	N	W	N	P	N	47	N	W	W	P	VN	74	N	W	P	P	VN
21	N	P	N	P	VN	48	N	P	W	P	VN	75	N	P	P	P	VN
22	W	N	N	P	W	49	W	N	W	P	VN	76	W	N	P	P	VN

23	W	W	N	P	N	50	W	W	W	P	VN	77	W	W	P	P	VN
24	W	P	N	P	VN	51	W	P	W	P	VN	78	W	P	P	P	VN
25	P	N	N	P	W	52	P	N	W	P	VN	79	P	N	P	P	VN
26	P	W	N	P	N	53	P	W	W	P	VN	80	P	W	P	P	VN
27	P	P	N	P	VN	54	P	P	W	P	VN	81	P	P	P	P	VN

Chọn hàm nội suy tín hiệu điều khiển có dạng:

$$u_s = \beta_0 + \beta_1 x_{1s} + \beta_2 x_{2s} + \beta_3 x_{3s} + \beta_4 x_{4s} \quad (4)$$

Áp dụng phương pháp nội suy đa biến và bảng luật (3), hệ số của hàm nội suy trên lần lượt là:

$$\begin{cases} \beta_0 = 1,5648 \\ \beta_1 = -0,0185 \\ \beta_2 = -0,2593 \\ \beta_3 = -0,5185 \\ \beta_4 = -1,3333 \end{cases}$$

c) Thiết kế bộ điều khiển Swing-up sử dụng đại số gia tử kết hợp giải thuật di truyền

Xác định tham số

Khoảng làm việc của biến được xác định:

$$x_1 = (-\pi; \pi) \text{ (rad)}$$

$$x_2 = (-\pi; \pi) \text{ (rad)}$$

$$x_3 = (-30; 30) \text{ (rad/s)}$$

$$x_4 = (-30; 30) \text{ (rad/s)}$$

$$x_5 = (-30; 30) \text{ (N.m)}$$

Từ việc tham khảo tài liệu [1], ta rút ra bộ luật swing-up gồm 81 luật:

Bảng 4. Bộ luật Swing-up

TT	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	TT	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅	TT	x ₁	x ₂	x ₃	x ₄	x ₅
1	N	N	N	N	VN	28	N	N	W	N	N	55	N	N	P	N	LN
2	N	W	N	N	VN	29	N	W	W	N	N	56	N	W	P	N	LN
3	N	P	N	N	N	30	N	P	W	N	LN	57	N	P	P	N	LN
4	W	N	N	N	N	31	W	N	W	N	LN	58	W	N	P	N	W
5	W	W	N	N	N	32	W	W	W	N	LN	59	W	W	P	N	W
6	W	P	N	N	LN	33	W	P	W	N	LN	60	W	P	P	N	W
7	P	N	N	N	LN	34	P	N	W	N	W	61	P	N	P	N	LP
8	P	W	N	N	LN	35	P	W	W	N	W	62	P	W	P	N	LP
9	P	P	N	N	LN	36	P	P	W	N	W	63	P	P	P	N	LP
10	N	N	N	W	N	37	N	N	W	W	LN	64	N	N	P	W	W
11	N	W	N	W	N	38	N	W	W	W	LN	65	N	W	P	W	W
12	N	P	N	W	N	39	N	P	W	W	LN	66	N	P	P	W	W
13	W	N	N	W	LN	40	W	N	W	W	W	67	W	N	P	W	LP
14	W	W	N	W	LN	41	W	W	W	W	W	68	W	W	P	W	LP
15	W	P	N	W	LN	42	W	P	W	W	W	69	W	P	P	W	LP
16	P	N	N	W	W	43	P	N	W	W	LP	70	P	N	P	W	P
17	P	W	N	W	W	44	P	W	W	W	LP	71	P	W	P	W	P

18	P	P	N	W	W	45	P	P	W	W	LP	72	P	P	P	W	P
19	N	N	N	P	LN	46	N	N	W	P	W	73	N	N	P	P	LP
20	N	W	N	P	LN	47	N	W	W	P	W	74	N	W	P	P	LP
21	N	P	N	P	LN	48	N	P	W	P	W	75	N	P	P	P	LP
22	W	N	N	P	W	49	W	N	W	P	LP	76	W	N	P	P	LP
23	W	W	N	P	W	50	W	W	W	P	LP	77	W	W	P	P	P
24	W	P	N	P	W	51	W	P	W	P	LP	78	W	P	P	P	P
25	P	N	N	P	LP	52	P	N	W	P	LP	79	P	N	P	P	P
26	P	W	N	P	LP	53	P	W	W	P	P	80	P	W	P	P	VP
27	P	P	N	P	LP	54	P	P	W	P	P	81	P	P	P	P	VP

Chọn hàm nội suy tín hiệu điều khiển có dạng:

$$u_s = \alpha_0 + \alpha_1 x_{1s} + \alpha_2 x_{2s} + \alpha_3 x_{3s} + \alpha_4 x_{4s} + \varphi$$

Trong đó: φ là sai số của phép nội suy đa biến

Tính toán tương tự bộ balancing, ta có:

$$\begin{cases} \alpha_0 = -0,2130 \\ \alpha_1 = 0,4630 \\ \alpha_2 = 0,5560 \\ \alpha_3 = 0,4630 \\ \alpha_4 = 0,4444 \end{cases}$$

Ứng dụng giải thuật di truyền

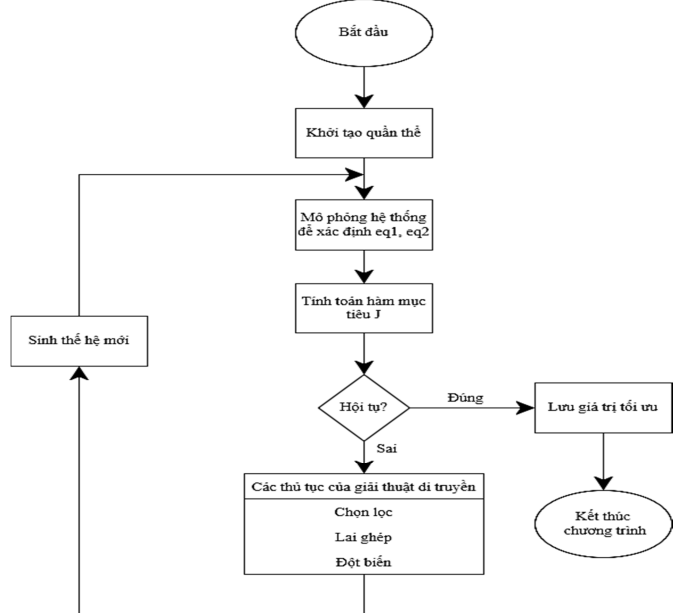
Trong bài toán này, ta sử dụng giải thuật di truyền ta tối ưu tham số φ thỏa mãn hàm mục tiêu:

$$\text{Min}(J = e_{q_1}^2 + e_{q_2}^2)$$

Chọn bộ tham số cho giải thuật di truyền như sau:

- Generations = 50
- Populationsize = 20
- Crossover = 0,8
- Mutate = 0,2
- Range = [0,0001 0,0003]

Lưu đồ giải thuật di truyền:



Hình 2. Lưu đồ thuật toán bộ điều khiển đại số gia tử

3. KẾT QUẢ

Mô phỏng hệ thống khi có nhiễu:

*) *Nhiều bất định*

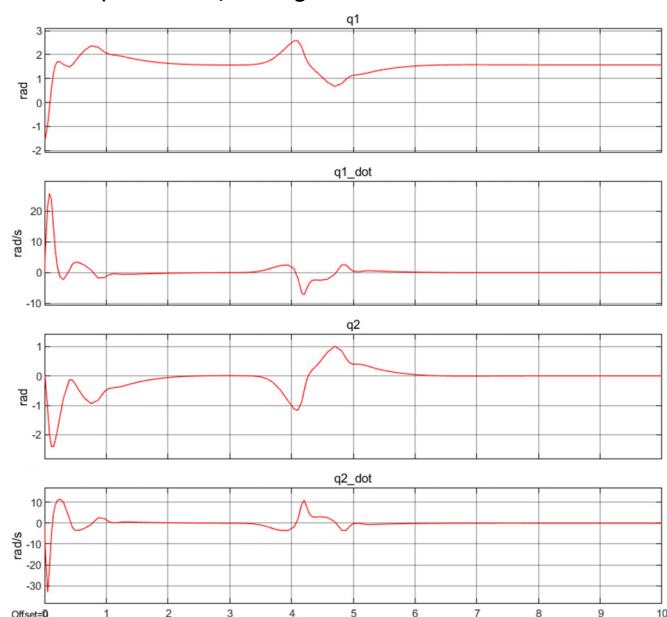
Tác dụng vào khâu 2 nhiễu qua phương trình:

$$q_{2e}(t) = q_2(t) + e(t)$$

$$\text{Với } e(t) = 20 \times \frac{\pi}{180} \times \exp\left(\frac{-(t-5)^2}{0,5 \times 0,5^2}\right) \text{ (rad)}$$

Trong đó, t là thời gian (s).

Kết quả thu được trong hình 3.

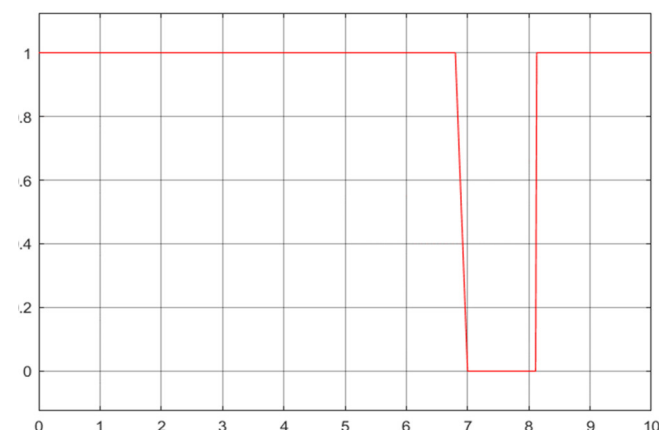


Hình 3. Đáp ứng của hệ thống với nhiễu bất định

Nhận xét: hệ thống đáp ứng được tín hiệu nhiễu với cường độ lớn nhất 0,4(rad) trong thời gian tối đa là 3(s) để có thể trở về ổn định.

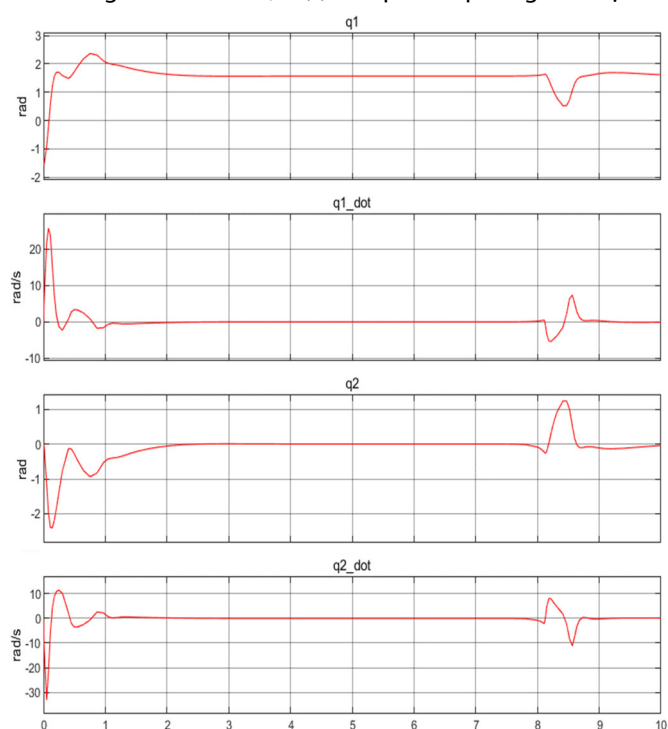
*) *Nhiều fault*

Mô phỏng nhiễu fault bằng cách nhân tín hiệu điều khiển với giá trị 0 trong một khoảng thời gian. Tín hiệu nhiễu $e_i(t)$ mô phỏng trong hình 4. Nhiễu Fault trong thời gian từ 7s đến 8,12(s):



Hình 4. Nhiễu fault từ giây thứ 7 đến 8,12

Thời gian từ 7 đến 8,12(s) kết quả mô phỏng thể hiện:

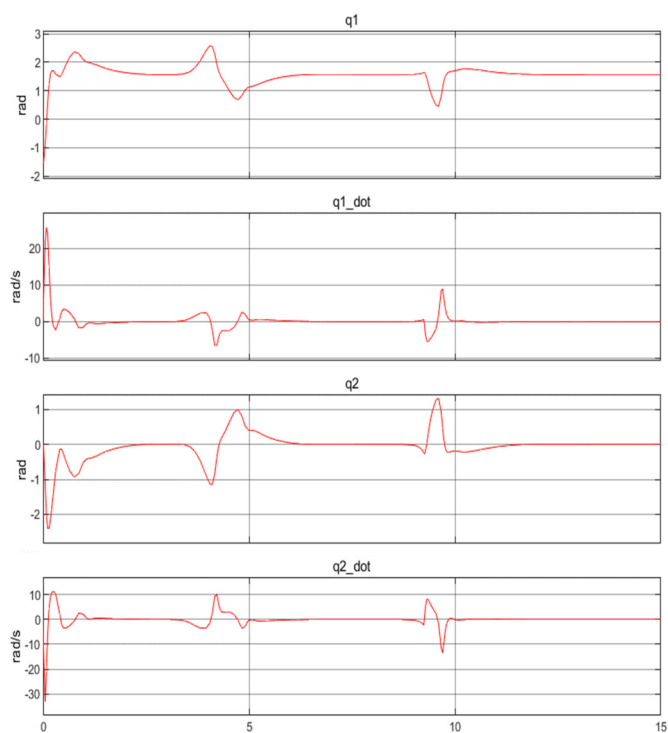


Hình 5. Đáp ứng hệ thống với nhiễu fault từ giây thứ 7 đến 8,12

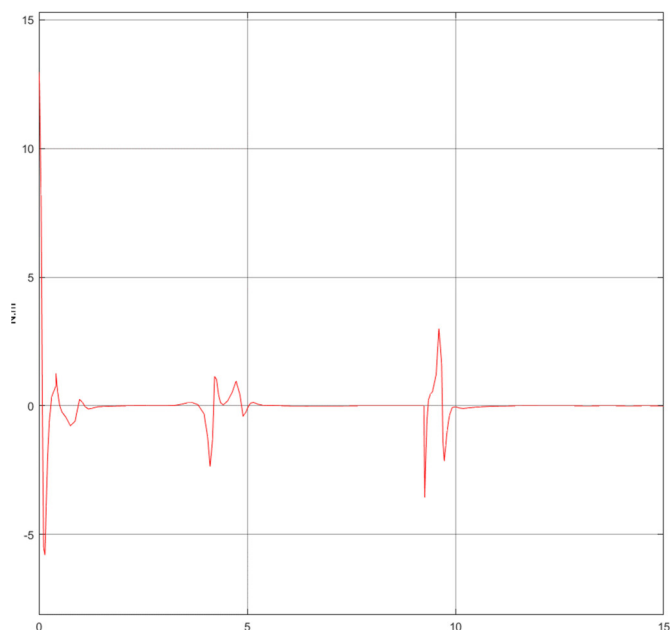
Nhận thấy, thời gian cho phép nhiễu fault lớn nhất là 1,12s ứng với thời gian từ 7 đến 8,12(s)

*) *Nhiều tổng hợp*

Cho mô hình chịu đồng thời 2 tín hiệu nhiễu như trên cụ thể nhiễu hệ thống từ giây thứ 3 đến giây thứ 5 và nhiễu fault từ giây thứ 8 đến 9,25s kết quả thể hiện qua:



Hình 6. Đáp ứng của hệ thống với nhiễu tổng hợp



Hình 7. Tín hiệu điều khiển với nhiễu tổng hợp

Đánh giá hệ thống: Hệ thống khi mô phỏng hoạt động ổn định trong nhiều trường hợp có tác động nhiễu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã trình bày thiết kế bộ điều khiển ứng dụng trí tuệ nhân tạo trong điều khiển Pendubot trong trường hợp chịu nhiễu bất định. Bộ điều khiển sử dụng đại số gia tử tối ưu bằng giải thuật di truyền. Kết quả mô phỏng và thực nghiệm chứng minh chất lượng tốt của bộ điều khiển được đề xuất.

Hướng phát triển tiếp theo của bài báo là ứng dụng bộ điều khiển cho các hệ thống khác nhau. Bên cạnh đó thay thế giải thuật di truyền bằng các thuật toán khác để tối ưu tốt hơn bộ đại số gia tử.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. D. J. Block, 1991. *Mechanical design and control of pendubot*.
- [2]. Cat Ho Nguyen, Nhu Lan Vu, Viet Le Xuan, 2008. *Optimal hedge-algebras-based controller: Design and application*.
- [3]. C. H. Nguyen, 2012. *Hedge algebras: An algebraic approach to structure of sets of linguistic truth values*.