

XÂY DỰNG HÀM NGỮ NGHĨA HOÁ VÀ GIẢI NGHĨA ÁP DỤNG CHO PHƯƠNG PHÁP SUY DIỄN DỰA TRÊN ĐẠI SỐ GIA TỬ

Trần Đình Khang¹, Nguyễn Tiến Duy^{2*}, Đỗ Lê Quang¹

¹Trường Đại học Bách khoa Hà Nội,

²Trường Đại học Kỹ thuật Công nghiệp – ĐH Thái Nguyên

TÓM TẮT

Để thiết kế bộ điều khiển theo đại số gia tử làm việc hiệu quả, chính xác cần tinh chỉnh các tham số sao cho mô hình tính toán phản ánh chân thực quy luật của hệ thống. Trong bài báo này, tác giả đề xuất sử dụng hàm ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa phi tuyến thay cho phép chuẩn hoá và giải chuẩn tuyến tính. Hàm phi tuyến được đề xuất cho cả phép ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa là dạng hàm mũ với cùng một tham số mũ. Đề xuất này đã được áp dụng để thiết kế và mô phỏng bộ điều khiển cho đối tượng lò nhiệt. Ngoài ra, giải thuật di truyền còn được sử dụng để tối ưu các tham số mũ này. So sánh kết quả mô phỏng với các bộ điều khiển, thấy rằng khi sử dụng phép ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa dùng hàm phi tuyến cho đáp ứng điều khiển tốt hơn khi dùng hàm chuẩn hoá và giải chuẩn tuyến tính.

Từ khóa: đại số gia tử; suy luận xấp xỉ; ngữ nghĩa hoá; giải nghĩa; nội suy mờ

Ngày nhận bài: 15/11/2020; Ngày hoàn thiện: 30/11/2020; Ngày duyệt đăng: 30/11/2020

CONSTRUCTING THE FUNCTIONS FOR SEMANTIZATION AND DESEMANTIZATION IN HEDGE-ALGEBRAS-BASED REASONING METHODS

Tran Dinh Khang¹, Nguyen Tien Duy^{2*}, Do Le Quang¹

¹Hanoi University of Science and Technology,

²TNU - University of Technology

ABSTRACT

To design the controller according to hedge algebra to effective and accurate working, it is necessary for turning the parameters so that the model truly reflects the system's rules. In this paper, the author proposes to use the nonlinear semantization and desamentization nonlinear functions instead of the linear normalization and desamentization nonlinear functions. Nonlinear functions are proposed for both semantization and desamentization that are exponential with the same exponential parameter. This proposal was applied to design and simulate a controller for a furnace object. In addition, the genetic algorithms is also used to optimize these exponential parameters. Comparing the simulation results with the controllers, we found that when using the semantization and desamentization nonlinear function gave a better control response when using the linear normalization functions.

Keywords: hedge algebra; approximate reasoning; semantization; desamentization; fuzzy interpolation

Received: 15/11/2020; Revised: 30/11/2020; Published: 30/11/2020

* Corresponding author: Email: duy.infor@tnut.edu.vn

1. Giới thiệu

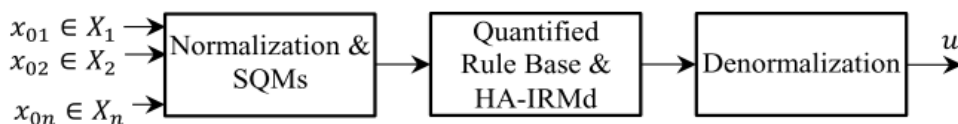
Trong thời kỳ mà thông tin trở thành một tài nguyên có giá trị thì vai trò của các phương pháp biểu diễn và xử lý thông tin càng trở nên quan trọng. Tiếp cận tập mờ [1] đem lại một công cụ biểu diễn được các thông tin không chắc chắn, không đầy đủ, gần gũi với cách biểu đạt thông tin của con người. Các phương pháp suy luận xấp xỉ xử lý các thông tin mờ cho ta mô hình toán học, sử dụng các công cụ tính toán, đem lại khả năng mô hình hoá giúp giải quyết các bài toán, các quá trình xảy ra trong thực tiễn.

Để giải quyết bài toán bằng mô hình mờ thì cần: (i) biểu diễn các biến ngôn ngữ vào, ra bằng các tập mờ xác định trên không gian tham chiếu của từng biến ngôn ngữ; (ii) cần có cơ sở luật mờ thể hiện mối quan hệ giữa các biến, biểu đạt đặc trưng của bài toán; và (iii) cần một phương pháp suy luận xấp xỉ để tính toán giá trị đầu ra tương ứng với tình huống cho ở đầu vào.

Đại số gia tử [2] cho ta một công cụ biểu diễn các biến ngôn ngữ như một cấu trúc với các giá trị ngôn ngữ sinh từ phần tử sinh và chuỗi các gia tử tương ứng với từng biến ngôn ngữ. Phương pháp suy luận dựa trên đại số gia tử thường sử dụng cách lượng hoá các giá trị ngôn ngữ về miền $[0,1]$, sau đó dùng nội suy trên siêu mặt $[0,1]^{n+1}$, với n là số biến đầu vào và một biến đầu ra. Phương pháp này đã được nghiên cứu và thử nghiệm trong một số bài toán và thể hiện hiệu quả tốt khi so sánh với suy diễn mờ [3]-[7]. Như vậy, để giải quyết bài toán suy diễn dựa trên đại số gia tử, thì cần: (i) biểu diễn các biến ngôn ngữ vào,

ra bằng các giá trị ngôn ngữ trong các cấu trúc đại số gia tử; (ii) biểu diễn cơ sở luật mờ có các giá trị ngôn ngữ trong các cấu trúc đại số gia tử; và (iii) lựa chọn các tham số phù hợp cho phương pháp nội suy. Tóm lại, cần biểu diễn về cấu trúc đại số gia tử và nội suy. Bước biểu diễn bao gồm: chuyển các giá trị trong không gian nền của mỗi biến ngôn ngữ về miền $[0,1]$, gọi là bước chuẩn hoá và ngữ nghĩa hoá (Normalization & SQMs) và ngược lại, từ giá trị trong $[0,1]$ thành giá trị trong không gian tham chiếu của biến đầu ra, gọi là bước giải nghĩa, hay là giải chuẩn (Denormalization). Bước nội suy cần lựa chọn các tham số của các đại số gia tử (tham số về độ đo tính mờ của các phần tử sinh và của các gia tử) để có kết quả đầu ra phù hợp. Bước này thường sử dụng một phương pháp học và tối ưu tham số đại số gia tử với mục tiêu là tối thiểu sai số giữa đầu ra của mô hình và đầu ra thực. Hình 1 thể hiện các bước thực hiện suy luận dựa trên đại số gia tử.

Cho đến nay, trong các công bố về suy diễn dựa trên đại số gia tử thường dùng hàm tuyến tính, hoặc tuyến tính từng đoạn để chuyển đổi giữa các giá trị thuộc không gian của biến ngôn ngữ về $[0,1]$ và ngược lại trong bước chuẩn hoá (ngữ nghĩa hoá) và giải chuẩn (giải nghĩa). Việc điều chỉnh tham số áp dụng với các tham số đại số gia tử, bao gồm tham số độ đo tính mờ của phần tử sinh và độ đo tính mờ của gia tử ứng với mỗi biến ngôn ngữ. Giả sử bài toán có n biến đầu vào, một biến đầu ra, biến thứ i , có 2 phần tử sinh và p_i gia tử, thì mô hình suy diễn đại số gia tử sẽ có $\sum_{i=1}^{n+1} p_i$ tham số. Trong quá trình mô hình hoá, cần học và điều chỉnh thích nghi các tham số này.



Hình 1. Sơ đồ bộ suy luận dựa trên đại số gia tử

Có một vấn đề đặt ra là sử dụng hàm tuyến tính hay tuyến tính từng đoạn cho bước ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa có thể làm cho các tham số đại số gia tử trong mô hình “tốt” nhất trở nên phân bố không đều. Ví dụ, độ đo tính mờ của phần tử sinh dương nhỏ hơn rất nhiều so với tính mờ của phần tử sinh âm, gây lệch về ngữ nghĩa khi lượng hoá. Điều này được giải thích là do không gian của biến

có thể không tuyến tính, việc dùng hàm tuyến tính cho bước ngữ nghĩa hoá làm cho sự không tuyến tính này dồn về các tham số đại số gia tử. Một ví dụ thực tiễn là biến ngôn ngữ biểu diễn về số ca mắc COVID-19 ở các nước trên thế giới, nước nhiều nhất 5.300.000 ca, nước ít nhất 0 ca, nếu dùng hàm tuyến tính thì nước có số ca nhiễm bệnh mức trung bình là 2.650.000 ca, nhưng thực tế thì nước đứng ở giữa bảng danh sách nhiễm bệnh có khoảng 5.000 ca. Điều này gây sai lệch khi hiểu ngữ nghĩa định lượng của biến ngôn ngữ khi biểu diễn trong cấu trúc đại số gia tử. Một vấn đề nữa là kiểu loại của các biến cũng đa dạng, biến có miền trị đơn điệu tăng, đơn điệu giảm, không đơn điệu, thang đo,... cần hướng sự chú ý nhiều hơn vào bước ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa.

Bài báo này thử nghiệm với một dạng hàm phi tuyến cho ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa, khi suy diễn dựa trên đại số gia tử. Các tham số đại số gia tử ở bước nội suy được để cân bằng và không cần điều chỉnh. Việc tối ưu mô hình tương ứng với học các tham số của hàm phi tuyến dùng cho ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa. Đóng góp của bài báo nêu lên tầm quan trọng của bước ngữ nghĩa hoá trong cải tiến các phương pháp suy diễn dựa trên đại số gia tử.

2. Phương pháp suy luận dựa trên đại số gia tử

2.1. Bài toán suy luận xấp xỉ

Bài toán suy diễn mờ đa điều kiện có tri thức được biểu diễn dưới dạng luật như sau:

R1: If $X_1 = A_{11}$ and $X_2 = A_{21}$ and ... and $X_n = A_{n1}$ then $Y = B_1$

R2: If $X_1 = A_{12}$ and $X_2 = A_{22}$ and ... and $X_n = A_{n2}$ then $Y = B_2$

...

Rn: If $X_1 = A_{1m}$ and $X_2 = A_{2m}$ and ... and $X_n = A_{nm}$ then $Y = B_m$

Với $X_1, X_2, \dots, X_n$ và Y là các biến ngôn ngữ, mỗi biến ngôn ngữ X_i thuộc không gian nền

U_i và biến ngôn ngữ Y thuộc không gian nền V ; A_{ij}, B_j ($i = 1, \dots, n, j = 1, \dots, m$) là các giá trị mờ thuộc không gian nền tương ứng.

2.2. Ứng dụng đại số gia tử giải bài toán suy luận xấp xỉ

Để áp dụng suy diễn với đại số gia tử, cần chuyển các tập mờ A_{ij}, B_j thành các phần tử thuộc các đại số gia tử.

$A_{11}, A_{12}, \dots, A_{1m}$ là các phần tử của đại số gia tử $\mathcal{AX}1$ cho biến ngôn ngữ X_1 ,

$A_{21}, A_{22}, \dots, A_{2m}$ là các phần tử của đại số gia tử $\mathcal{AX}2$ cho biến ngôn ngữ X_2 ,

...

$A_{n1}, A_{n2}, \dots, A_{nm}$ là các phần tử của đại số gia tử $\mathcal{AX}n$ cho biến ngôn ngữ X_n ,

$B_1, B_2, \dots, B_m$ là các phần tử của đại số gia tử $\mathcal{AY}$ cho biến ngôn ngữ Y .

Với mỗi luật "If .. then", xác định được một "điểm mờ" trong không gian $Dom(X_1) \times Dom(X_2) \times \dots \times Dom(X_n) \times Dom(Y)$. Khi này mô hình mờ có thể được xem như một "siêu mặt" S_{fuzz}^{n+1} trong không gian này. Xây dựng đại số gia tử cho các biến ngôn ngữ và sử dụng hàm ánh xạ ngữ nghĩa định lượng, chuyển mỗi điểm mờ trên thành một điểm thực trong không gian $[0,1]^{n+1}$. Khi đó, mô hình mờ trên được biểu diễn tương ứng thành một "siêu mặt" thực S_{real}^{n+1} .

Cho các đầu vào $x_{01}, x_{02}, \dots, x_{0n}$, sử dụng phép chuẩn hoá (normalization) các giá trị đó về miền giá trị của đại số gia tử, được $x_{01s}, x_{02s}, \dots, x_{0ns}$ tương ứng. Việc giải bài toán suy luận xấp xỉ mờ đa điều kiện được chuyển về bài toán nội suy trên S_{real}^{n+1} . Giá trị nội suy nhận được trong miền $[0,1]$ là giá trị ngữ nghĩa định lượng của biến ngôn ngữ đầu ra Y cần được chuyển về miền biến thiên thực của giá trị điều khiển ở đầu ra, đó là phép giải chuẩn (denormalization).

Các bước thiết kế bộ suy luận xấp xỉ theo đại số gia tử như sau:

1) Thiết kế các đại số gia tử $\mathcal{AX}i$, ($i = 1, \dots, n$) và $\mathcal{AY}$ cho các biến X_i và Y .

2) Chuyển đổi hệ luật trong mô hình mờ thành hệ luật với các giá trị ngôn ngữ trong đại số gia tử một cách tương ứng.

3) Tính toán giá trị ngữ nghĩa định lượng cho các nhãn ngôn ngữ trong hệ luật trong đại số gia tử. Xây dựng “siêu mặt” S_{real}^{n+1} .

Bộ suy luận xấp xỉ được thực hiện bởi phép nội suy trên “siêu mặt” S_{real}^{n+1} . Các thành phần của bộ suy luận bao gồm, như ở Hình 1:

- Normalization & SQMs: chuẩn hoá các biến vào và tính toán giá trị ngữ nghĩa định lượng cho các nhãn ngôn ngữ, xây dựng “siêu mặt” S_{real}^{n+1} .

- Quantified Rule Base & HA-IRMd: nội suy trên “siêu mặt” S_{real}^{n+1} .

- Denormalization: chuyển đổi giá trị điều khiển ngữ nghĩa về miền giá trị biến thiên thực của biến đầu ra.

2.3. Tối ưu các tham số

Với bài toán có n biến đầu vào, một biến đầu ra, biến thứ i , $i = 1, \dots, n + 1$, có 2 phần tử sinh và p_i gia tử, thì mô hình suy diễn đại số gia tử sẽ có $\sum_{i=1}^{n+1} p_i$ tham số. Với đại số gia tử thứ i thì có 1 tham số là độ đo tính mờ của phần tử sinh âm và $p_i - 1$ tham số là độ đo tính mờ của các gia tử dùng trong đại số gia tử đó.

Áp dụng giải thuật di truyền với hàm thích nghi cực tiểu bình phương sai số giữa đầu ra của mô hình và đầu ra thực, để tìm ra bộ tham số đại số gia tử phù hợp.

Trên đây là các bước xây dựng mô hình suy diễn dựa trên đại số gia tử hiện nay, thường tập trung vào điều chỉnh tham số đại số gia tử trong bước nội suy, mà chưa khảo sát các tham số trong các bước chuẩn hoá (ngữ nghĩa hoá) và giải chuẩn (giải nghĩa).

3. Hàm ngữ nghĩa hoá, giải nghĩa

Hàm ngữ nghĩa hoá chuyển không gian $[a, b]$ của một biến ngôn ngữ về khoảng $[a_s, b_s] \subset [0, 1]$, hàm giải nghĩa chuyển ngược lại, từ $[a_s, b_s]$ về không gian $[a, b]$. Ở đây, ta giả

thiết rằng các miền giá trị của các biến ngôn ngữ đều đơn điệu, giả sử đơn điệu tăng. Trong trường hợp không đơn điệu thì cần chuyển về miền đơn điệu trước khi xử lý.

3.1. Hàm ngữ nghĩa hoá, giải nghĩa tuyến tính

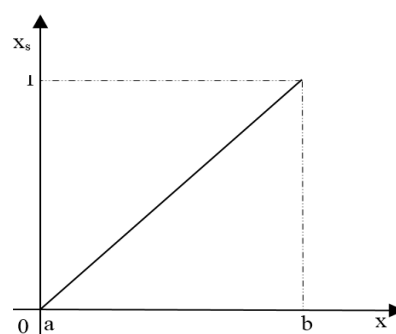
Hàm ngữ nghĩa hoá tuyến tính cho miền trị đơn điệu tăng có dạng:

$$LinearSematization(x) = x_s = a_s + (b_s - a_s) \frac{x-a}{b-a} \quad (1)$$

Hàm giải nghĩa tuyến tính có dạng

$$LinearDesematization(x_s) = x = a + (b - a) \frac{x_s - a_s}{b_s - a_s} \quad (2)$$

Với $a_s = 0$ và $b_s = 1$ thì các hàm trên trở thành hàm chuẩn hoá và giải chuẩn (Hình 2).



Hình 2. Hàm chuẩn hoá tuyến tính

Phần tiếp theo sẽ đề xuất một dạng hàm ngữ nghĩa hoá, giải nghĩa có thêm các tham số mũ và xét điểm trung bình.

3.2. Đề xuất dạng hàm ngữ nghĩa hoá, giải nghĩa phi tuyến

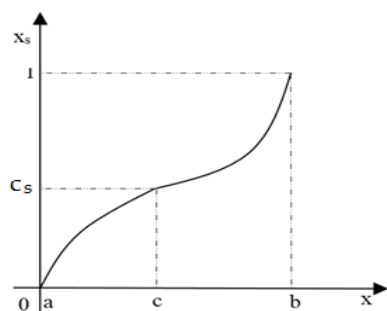
Ta chia khoảng $[a, b]$ thành hai khoảng nhỏ $[a, c]$ và $[c, b]$, với c là giá trị nằm giữa a và b , sử dụng tham số mũ sp cho các khoảng $[a, c]$ và $[c, b]$, thì hàm ngữ nghĩa hoá có dạng kiểu S (S-function). Như vậy, dạng đường cong của hàm ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa có tính đối xứng, phù hợp với đối tượng điều khiển trong nghiên cứu này.

$$Sematization(x) = x_s = \begin{cases} a_s + (c_s - a_s) \left(\frac{x-a}{c-a} \right)^{sp} & \text{với } a \leq x \leq c \\ c_s + (b_s - c_s) \sqrt[sp]{\frac{x-c}{b-c}} & \text{với } c \leq x \leq b \end{cases} \quad (3)$$

Hàm giải nghĩa có dạng:

$$\text{Desematization}(x_s) = x = \begin{cases} a + (c - a) \cdot \frac{sp \sqrt{x_s - a_s}}{\sqrt{c_s - a_s}} & \text{với } a_s \leq x_s \leq c_s \\ c + (b - c) \cdot \left(\frac{x_s - c_s}{b_s - c_s}\right)^{sp} & \text{với } c_s \leq x_s \leq b_s \end{cases} \quad (4)$$

Hình 3 thể hiện hàm chuẩn hoá phi tuyến.



Hình 3. Hàm chuẩn hoá sử dụng các tham số mờ

Về điểm giữa với tọa độ (c, c_s) , có thể lấy $c = \frac{a+b}{2}$ và c_s là một tham số cần điều chỉnh, hoặc đặt $c_s = \frac{a_s+b_s}{2}$ và c là tham số cần điều chỉnh. Giả sử đặt c là trung điểm của a và b , thì dạng hàm phi tuyến này có ba tham số là $\langle sp, c_s \rangle$. Cần điều chỉnh các tham số này với từng biến ngôn ngữ để có mô hình phù hợp.

Phần tiếp theo trình bày thực nghiệm vào bài toán điều khiển nhiệt độ ổn định cho lò nhiệt, tối ưu các tham số hàm ngữ nghĩa hoá và giữ các tham số đại số gia tử cân bằng, để so sánh với phương pháp ngữ nghĩa hoá tuyến tính và tối ưu tham số đại số gia tử.

4. Bài toán ứng dụng

4.1. Bài toán điều khiển ổn định nhiệt độ cho lò nhiệt

Xét lò nhiệt điện trở có công suất $P=1 \text{ KW}$, phạm vi nhiệt độ $25^\circ\text{C} - 250^\circ\text{C}$. Trong đó, giả thiết khi chưa điều khiển thì nhiệt độ lò đã bằng nhiệt độ môi trường là 25°C . Lò nhiệt có hàm truyền được nhận dạng gần đúng với các tham số như sau:

$$W(s) = \frac{909e^{-30s}}{1300s+1} \quad (5)$$

Bộ điều khiển có hai đầu vào: e là sai lệch điều khiển về giá trị nhiệt độ, xác định trong

khoảng $[-4, 4]$, ce là tốc độ biến thiên của e , xác định trong khoảng $[-50, 50]$ và đầu ra u để điều khiển điện áp của nguồn điện, xác định trong khoảng $[-4,5, 4,5]$.

Hệ luật điều khiển được cho dưới dạng các phát biểu trên ngôn ngữ như trong Bảng 1.

Bảng 1. Bảng luật điều khiển

$\begin{matrix} ce \\ e \end{matrix}$	VN	LN	ZE	LP	VP
VN	VN	VN	N	LN	ZE
LN	VN	N	LN	ZE	LP
ZE	N	LN	ZE	LP	P
LP	LN	ZE	LP	P	VP
VP	ZE	LP	P	VP	VP

Bộ điều khiển dựa trên đại số gia tử có 3 đại số gia tử biểu diễn e, ce và u đều có tập phần tử sinh $G = \{N, P\}$ và $H^+ = \{L\}$, $H^- = \{V\}$. Như vậy là mỗi biến có 2 tham số $fm(N)$ và $\mu(L)$, tổng cộng là 6 tham số. Gọi bộ điều khiển này là HAC (Hedge Algebra Controller).

Bộ điều khiển dựa trên đại số gia tử dùng hàm ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa phi tuyến, dạng hàm như ở Phần 3.2 được gọi là SHAC, các tham số tính mờ của đại số gia tử cho các biến e, ce và u cho cả HAC và SHAC đều được lựa chọn như trong Bảng 2.

Bảng 2. Các tham số thiết kế của HAC

	e	ce	u
$fm(N)$	0,5	0,5	0,5244
$\mu(L)$	0,5	0,5	0,5

Để ngữ nghĩa hoá các biến đầu vào thực e, ce về miền ngữ nghĩa e_s, ce_s ta cần 4 tham số. Để giải nghĩa từ giá trị ngữ nghĩa u_s về miền giá trị thực u để điều khiển ta cần 2 tham số. Tổng cộng ta có 6 tham số.

4.2. Kết quả mô phỏng

Thực nghiệm trên Matlab/Simulink, tối ưu các tham số của phép ngữ nghĩa hoá và giải với hàm mục tiêu được lựa chọn theo tiêu chuẩn tích phân trị tuyệt đối (IAE - Integrated Absolute Error) các sai lệch điều khiển giữa giá trị đáp ứng thật ở đầu ra $y(k)$ và giá trị tham chiếu $x_d(k)$, với l là tổng số mẫu dữ

liệu trong lần chạy mô phỏng và $k = 1, \dots, l$. Trong thực nghiệm này lấy $l = 2.000$. Thuật toán tối ưu được sử dụng là PSO.

$$IAE = \sum_{k=1}^l |y(k) - x_d(k)| \quad (6)$$

Sau khi thực hiện tối ưu nhiều lần, bộ tham số cho phép ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa nhận được như trong Bảng 3.

Bảng 3. Các tham số tối ưu của SHAC

	e	ce	u
c_s	0,45	0,55	0,507828
sp	1,0	1,2	1,2

Giá trị hàm mục tiêu được tính toán theo tiêu chuẩn IAE của 2 bộ điều khiển HAC và SHAC được chỉ ra trên Bảng 4. Điều đó cho thấy, khi thay phép chuẩn hoá và giải chuẩn tuyến tính bằng phép ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa phi tuyến, đáp ứng của bộ điều khiển đã được cải thiện về chất lượng. Mức giảm IAE của bộ SHAC so với HAC là 7,348%.

Bảng 4. Giá trị hàm mục tiêu theo tiêu chuẩn IAE của các bộ điều khiển

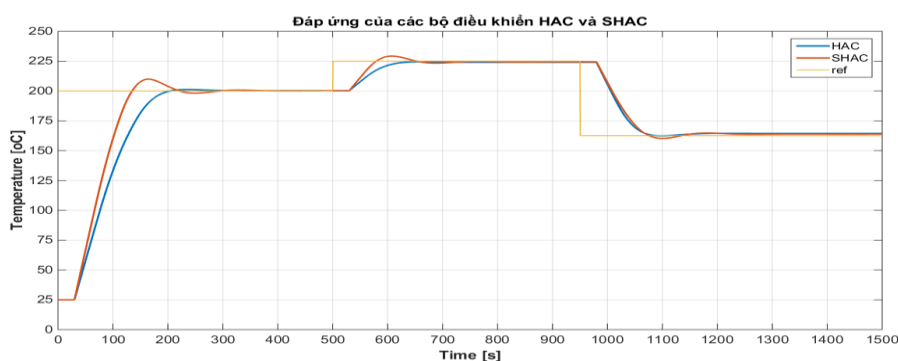
	HAC	SHAC
IEA	728,0611	674,562

Thực hiện mô phỏng hệ thống với thời gian $Time = 1.500$ [s]. Hình 4 thể hiện đáp ứng của đầu ra, ổn định nhiệt độ của các bộ điều khiển HAC và SHAC. Đường màu vàng là giá trị tham chiếu được thiết lập thay đổi theo thời gian như trên Bảng 5.

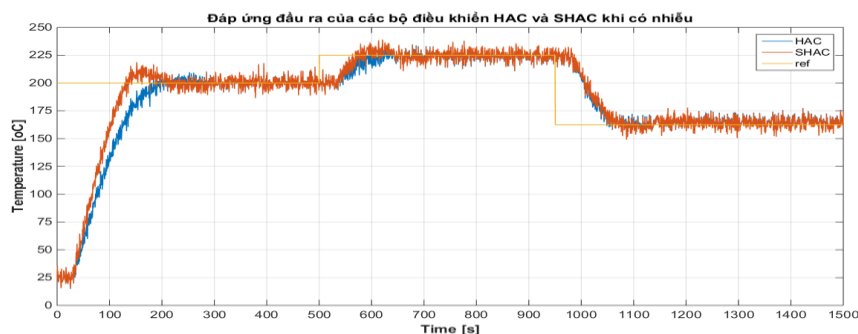
Bảng 5. Giá trị tham chiếu thay đổi theo thời gian

Time [s]	0-500	500-950	950-1500
Ref [°C]	200	225	162,5

Đường màu xanh blue là đáp ứng tương ứng với bộ điều khiển HAC và đường màu vàng là đáp ứng tương ứng với bộ điều khiển SHAC. Tại thời điểm 0 [s], nhiệt độ lò đã có giá trị bằng với nhiệt độ môi trường là 25 °C, giá trị này kéo dài bằng khoảng thời gian trễ $\tau = 30$ [s] (5), sau đó nhiệt độ mới bắt đầu tăng. Đáp ứng cho thấy độ vọt lố đáp ứng của bộ điều khiển SHAC là lớn hơn so với HAC, tuy nhiên có giá trị là 209,61, đạt 4,805% (nhỏ hơn 5%), đáp ứng tốt yêu cầu về điều khiển nhiệt độ. Thời gian đứng của bộ điều khiển SHAC giảm đáng kể so với bộ điều khiển HAC. Đáp ứng của SHAC đạt 180 °C (90% giá trị tham chiếu) tại 127 [s], trong khi đó đối với HAC là 154 [s], giảm 17,53%.



Hình 4. Đáp ứng đầu ra khi mô phỏng với các bộ điều khiển



Hình 5. Đáp ứng đầu ra khi mô phỏng với các bộ điều khiển khi có nhiễu

Mô phỏng với trường hợp có nhiễu ‘white noise’ tác động vào đầu ra, biên độ nhiễu $N = 10$ (lấy bằng 5% của giá trị 200 °C). Quan sát đáp ứng trên Hình 5 cho thấy các bộ điều khiển vẫn làm việc tốt khi có nhiễu tác động. Giá trị đầu ra vẫn được ổn định theo giá trị tham chiếu có kèm theo biến động của nhiễu.

5. Kết luận

Bài báo này đã đề xuất sử dụng hàm phi tuyến cho phép ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa trong bộ suy luận xấp xỉ theo đại số gia tử, đã đưa ra một dạng hàm phi tuyến cụ thể với các tham số mờ. Các tham số này được điều chỉnh trong quá trình học và tối ưu mô hình bằng thuật toán PSO. Thực nghiệm so sánh giữa kết quả theo tiếp cận tối ưu tham số hàm ngữ nghĩa hoá và giải nghĩa cho thấy kết quả khả quan.

Trong thời gian tới, có thể tiếp tục mở rộng, lựa chọn các tham số phù hợp và thực nghiệm với nhiều bài toán khác nhau mà đối tượng điều khiển có tính phi tuyến mạnh để tăng hiệu quả của hướng tiếp cận này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO/ REFERENCES

- [1]. L. A. Zadeh, “Fuzzy sets,” *Information and Control*, vol. 8, pp. 338-353, 1965.
- [2]. C. H. Nguyen, D. K. Tran, V. N. Huynh, and H. C. Nguyen, “Hedge Algebras, Linguistic-Valued Logic and their Applications to Fuzzy Reasoning,” *International Journal of Uncertainty, Fuzziness and Knowledge-Based Systems*, World Scientific Publishing Co, vol.7, no. 4, pp. 347-361, 1999.
- [3]. T. D. Nguyen, and N. L. Vu, “Interpolation based on semantic distance weighting in hedge algebra and its application,” *Journal of Computer and Cybernetics*, vol. 33, no. 1, pp. 19-33, 2017.
- [4]. D. Vukadinović, T. D. Tien, C. H. Nguyen, N. L. Vu, M. Bašić, and I. Grgić, “Hedge-Algebra-Based Phase-Locked Loop for Distorted Utility Conditions,” *Journal of Control Science and Engineering*, vol. 2019, 17 pages, 2019, Art. ID 3590527, doi: 10.1155/2019/3590527
- [5]. D. V. Vu, Q. H. Nguyen, and T. D. Nguyen, “Control Parallel Robots Driven by DC Motors Using Fuzzy Sliding Mode Controller and Optimizing Parameters by Genetic Algorithm,” *Proceedings of the International Conference on Engineering Research and Applications, ICERA 2019 (Advances in Engineering Research and Application)*, 2019, vol. 104, pp. 202-214.
- [6]. D. Vukadinović, M. Bašić, C. H. Nguyen, T. D. Nguyen, N. L. Vu, and M. Bubalo, “Optimization of a Hedge-Algebra-Based Speed Controller in a Stand-Alone WECS,” 5th International Conference on Smart and Sustainable Technologies (SpliTech2020), bổ sung nơi tổ chức hội thảo, September 23-26, 2020.
- [7]. T. D. Nguyen, and D. V. Vu, “Designing hedge algebraic controller and optimizing by genetic algorithm for serial robots adhering trajectories,” *Journal of Computer Science and Cybernetics*, vol. 36, no. 3, pp. 265-283, 2020.