

# GIẢI PHÁP KẾT HỢP SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ VÀ MẠNG NƠN RBF TRONG VIỆC GIẢI QUYẾT BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN MỜ

NGUYỄN CÁT HỒ<sup>1</sup>, PHẠM THANH HÀ<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam

<sup>2</sup> Trường Đại học Giao thông Vận tải Hà Nội

**Abstract.** In the last few years, thanks to the development of the Fuzzy logic theory and Hedge algebra, more complex Fuzzy control problems were solved. In this papers, we will present the solution that uses combination between Hedge Algebra and RBF neural network in the Fuzzy control method.

**Tóm tắt.** Trong những năm gần đây cùng với sự phát triển của lý thuyết tập mờ và đại số gia tử, nhiều bài toán điều khiển mờ phức tạp đã được giải quyết thành công, tiếp tục vấn đề này chúng tôi đề xuất giải pháp kết hợp sử dụng đại số gia tử và mạng nơon RBF để giải quyết các bài toán điều khiển mờ.

## ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong một số nghiên cứu gần đây ([9, 10]) các tác giả đã sử dụng cấu trúc đại số gia tử nhằm biểu diễn miền giá trị của các biến ngôn ngữ, theo đó mỗi luật điều khiển mờ tương ứng với một điểm thực trong không gian  $n + 1$  chiều, bằng cách sử dụng các phép tích hợp như AND=PRODUCT hoặc AND=MIN các điểm trên được đưa về không gian 2 chiều, nhờ phép nội suy trên cơ sở các điểm này, đường cong ngữ nghĩa định lượng được xác định và kết quả điều khiển được xác định dựa trên đường cong. Tuy nhiên việc sử dụng các phép tích hợp như AND=PRODUCT hoặc AND=MIN để đưa một điểm trong không gian  $n + 1$  chiều về một điểm trong không gian 2 chiều dễ gây mất mát nhiều thông tin. Để góp phần giải quyết vấn đề trên chúng tôi tiếp tục đề xuất giải pháp kết hợp sử dụng đại số gia tử và mạng nơon nội suy RBF trong phương pháp điều khiển mờ.

Cấu trúc của bài báo gồm 5 mục, Mục 1 giới thiệu phương pháp điều khiển mờ, Mục 2 giới thiệu sơ lược về đại số gia tử và phương pháp điều khiển mờ sử dụng đại số gia tử, Mục 3 chúng tôi đề xuất phương pháp điều khiển kết hợp sử dụng gia tử và mạng nội suy RBF, Mục 4 là ví dụ minh họa và Mục 5 là kết luận đánh giá giải pháp.

## 1. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN MỜ

Trên cơ sở lý thuyết tập mờ, từ những năm 70 của thế kỷ trước, các phương pháp lập luận xấp xỉ đã được phát triển mạnh mẽ và có những ứng dụng thực tiễn quan trọng. Một số trong những phương pháp lập luận mờ đa điều kiện viết tắt là phương pháp FMCR (Fuzzy Multiple Conditional Reasoning) và đây chính là nền tảng của

phương pháp điều khiển mờ.

Phương pháp lập luận này dựa trên tập các mệnh đề dạng if-then như sau:

If  $X_1 = A_{11}$  and ... and  $X_m = A_{1m}$  then  $Y = B_1$

If  $X_1 = A_{21}$  and ... and  $X_m = A_{2m}$  then  $Y = B_2$

...

(1)

If  $X_1 = A_{n1}$  and ... and  $X_m = A_{nm}$  then  $Y = B_n$

trong đó  $A_{ij}$  và  $B_i$ ,  $i = 1, \dots, n$ ,  $j = 1, \dots, m$ , là những từ ngôn ngữ mô tả các đại lượng của biến ngôn ngữ  $X_j$  và  $Y$ .

(1) được gọi là mô hình mờ ngoài ra nó còn được gọi là bộ nhớ mờ liên hợp (Fuzzy Associate Memory (FAM)) vì nó biểu diễn tri thức của chuyên gia trong lĩnh vực ứng dụng nào đó đang được xét.

Bài toán lập luận mờ được phát biểu như sau: Cho trước mô hình mờ ở dạng (1). Khi đó ứng với các giá trị (hoặc giá trị mờ, hoặc giá trị thực) của các biến đầu vào đã cho, hãy tính giá trị đầu ra của biến  $Y$ .

Dựa trên cách tiếp cận của lý thuyết tập mờ, các phương pháp lập luận mờ đa điều kiện nói chung dựa trên ý tưởng sau: Ngữ nghĩa của các giá trị ngôn ngữ của các biến ngôn ngữ trong mô hình mờ được biểu thị bằng các tập mờ, khi đó mỗi mô hình mờ sẽ được mô phỏng bằng một quan hệ mờ hai ngôi  $R$ .

Khi đó ứng với vector đầu vào  $A_0$ , giá trị của biến đầu ra được tính theo công thức  $B_0 = A_0 * R$ , trong đó  $*$  là một phép kết nhập (Aggregation operator).

Tuy ý tưởng chung là giống nhau, nhưng những phương pháp lập luận sẽ khác nhau ở cách thức mô phỏng mô hình mờ và cách xác định phép tính kết nhập ([7, 8]).

Hiệu quả của phương pháp lập luận mờ nói chung phụ thuộc nhiều yếu tố rất căn bản chẳng hạn như lựa chọn tập mờ (bài toán xây dựng các hàm thuộc), xây dựng quan hệ mờ mô phỏng tốt nhất mô hình mờ (tri thức) và bài toán lựa chọn phép kết nhập,... Đây là một khó khăn không nhỏ khi xây dựng phương pháp giải bài toán lập luận mờ đa điều kiện.

## 2. ĐẠI SỐ GIA TỬ VÀ PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN MỜ SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ

### 2.1. Đại số gia tử của biến ngôn ngữ

Giả sử  $X$  là một biến ngôn ngữ và miền giá trị của  $X$  là  $Dom(X)$ . Một đại số gia tử  $AX$  tương ứng của  $X$  là một bộ 4 thành phần  $AX = (Dom(X), C, H, \leq)$  trong đó  $C$  là tập các phần tử sinh,  $H$  là tập các gia tử và quan hệ " $\leq$ " là quan hệ cảm sinh ngữ nghĩa trên  $X$ . Ví dụ như  $X$  là tốc độ quay của một mô tơ thì  $Dom(X) = \{fast, very fast, possible fast, very slow, low...\} \cup \{0, 1, W\}$ ,  $C = \{fast, slow, 0, 1, W\}$ , với  $0, 1, W$  là phần tử bé nhất, phần tử lớn nhất và phần tử trung hòa tương ứng,  $H = \{very, more, possible, little\}$ .

Trong đại số gia tử  $AX = (Dom(X), C, H, \leq)$  nếu  $Dom(X)$  và  $C$  là tập sắp thứ tự tuyến tính thì  $AX$  được gọi là đại số gia tử tuyến tính.

Hai phần tử sinh của biến ngôn ngữ có khuynh hướng ngữ nghĩa trái ngược nhau: *fast* có khuynh hướng "đi lên" còn gọi là hướng dương ký hiệu  $c^+$ , *slow* có khuynh hướng "đi

xuống” còn gọi là hướng âm, ký hiệu  $c^-$ . Đơn giản, theo quan hệ thứ tự ngữ nghĩa ta có  $c^+ > c^-$ . Chẳng hạn  $old > young$ ,  $true > false$ .

Về trục giác, mỗi gia tử có khuynh hướng làm tăng hoặc giảm ngữ nghĩa của phần tử sinh nguyên thủy. Chẳng hạn như  $Very\ fast > fast$  và  $Very\ slow < slow$  điều này có nghĩa gia tử  $Very$  làm mạnh thêm ngữ nghĩa của cả hai phần tử sinh  $fast, slow$ . Nhưng  $Little\ fast < fast$ ,  $Little\ slow > slow$  vì thế  $Little$  có khuynh hướng làm yếu đi ngữ nghĩa của phần tử sinh. Ta nói  $Very$  là gia tử dương và  $Little$  là gia tử âm. Ta ký hiệu  $H^-$  là tập các gia tử âm,  $H^+$  là tập các gia tử dương và  $H = H^- \cup H^+$ . Nếu cả hai gia tử  $h$  và  $k$  cùng thuộc  $H^+$  hoặc  $H^-$ , thì ta nói  $h, k$  sánh được với nhau. Dễ thấy  $Little$  và  $Possible$  là sánh được với nhau và  $Little > Possible$ , vì  $Little\ false > Possible\ false > false$ . Ngược lại, nếu  $h$  và  $k$  không đồng thời thuộc  $H^+$  hoặc  $H^-$ , khi đó ta nói  $h, k$  ngược nhau.

Hơn nữa, chúng ta nhận thấy mỗi gia tử đều có sự ảnh hưởng (làm tăng hoặc làm giảm) đến ngữ nghĩa của các gia tử khác. Vì vậy, nếu  $k$  làm tăng ngữ nghĩa của  $h$ , ta nói  $k$  là dương đối với  $h$ . Ngược lại, nếu  $k$  làm giảm ngữ nghĩa của  $h$ , ta nói  $k$  là âm đối với  $h$ . Chẳng hạn xét các gia tử ngôn ngữ  $V(Very)$ ,  $M(More)$ ,  $L(Little)$ ,  $P(Possible)$  của biến ngôn ngữ TRUTH. Vì  $Ltrue < true$  và  $VLtrue < Ltrue < PLtrue$ , nên  $V$  là dương đối với  $L$  còn  $P$  là âm đối với  $L$ . Tính âm, dương của các gia tử đối với các gia tử khác không phụ thuộc vào phần tử ngôn ngữ mà nó tác động.

Một tính chất ngữ nghĩa quan trọng của các gia tử được gọi là *tính kế thừa*. Tính chất này thể hiện ở chỗ khi tác động gia tử vào một giá trị ngôn ngữ thì ngữ nghĩa của giá trị này bị thay đổi nhưng vẫn giữ được ngữ nghĩa gốc của nó. Điều này có nghĩa là với mọi gia tử  $h$ , giá trị  $hx$  thừa kế ngữ nghĩa của  $x$ . Tính chất này góp phần bảo tồn quan hệ thứ tự ngữ nghĩa nếu  $hx \leq kx$  thì  $h'hx \leq k'kx$ , hay  $h'$  và  $k'$  bảo tồn quan hệ ngữ nghĩa của  $hx$  và  $kx$  một cách tương ứng. Chẳng hạn như theo trục giác ta có  $Ltrue \leq Ptrue$ , khi đó  $PLtrue \leq LPtrue$ .

## 2.2. Các hàm đo trong đại số gia tử tuyến tính (xem [3, 4, 5])

Trong phần này ta sử dụng đại số gia tử  $AX = (X, C, H, \leq)$  là đại số gia tử tuyến tính với  $C = \{c^-, c^+\} \cup \{0, 1, W\}$ .  $H = H^- \cup H^+$ ,  $H^- = \{h_{-1}, h_{-2}, \dots, h_{-q}\}$  thỏa  $h_{-1} < h_{-2} < \dots < h_{-q}$  và  $H^+ = \{h_1, h_2, \dots, h_p\}$  thỏa  $h_1 < h_2 < \dots < h_p$ .

Gọi  $H(x)$  là tập các phần tử của  $X$  sinh ra từ  $x$  bởi các gia tử, nghĩa là  $H(x)$  bao gồm các khái niệm mờ mà nó phản ánh ý nghĩa nào đó của khái niệm  $x$ . Vì vậy, kích thước của tập  $H(x)$  có thể biểu diễn tính mờ của  $x$ . Từ đó, ta có thể định nghĩa độ đo tính mờ như sau: Độ đo tính mờ của  $x$ , ký hiệu là  $fm(x)$ , là đường kính của tập  $f(H(x)) = \{f(u) : u \in H(x)\}$ .

**Định nghĩa 1.** Cho đại số gia tử  $AX = (X, C, H, \leq)$ . Hàm  $fm : X \rightarrow [0, 1]$  được gọi là hàm độ đo tính mờ của các phần tử trong  $X$  nếu:

$$(fm1) \quad fm(c^-) + fm(c^+) = 1 \text{ và } \sum_{h \in H} fm(hu) = fm(u), \quad \forall u \in X;$$

$$(fm2) \quad fm(x) = 0, \text{ với mọi } x \text{ sao cho } H(x) = \{x\}. \text{ Đặc biệt, } fm(0) = fm(W) = fm(1) = 0;$$

$$(fm3) \quad \forall x, y \in X, \forall h \in H, \frac{fm(hx)}{fm(x)} = \frac{fm(hy)}{fm(y)}, \text{ tỷ lệ này không phụ thuộc vào } x, y \text{ và được gọi là độ đo tính mờ của gia tử } h, \text{ ký hiệu là } \mu(h).$$

Điều kiện (fm1) có nghĩa là các phần tử sinh và các gia tử là đủ để mô hình hóa ngữ nghĩa của miền giá trị thực của các biến vật lý. Tập gia tử  $H$  và hai phần tử sinh nguyên thủy đủ để phủ toàn bộ miền giá trị thực của biến ngôn ngữ. Về trực giác, ta có điều kiện (fm2), (fm3) thể hiện sự tác động của gia tử  $h$  nào đó vào các khái niệm mờ là giống nhau (không phụ thuộc vào khái niệm mờ).

**Mệnh đề 1.** Cho  $fm$  là hàm độ đo tính mờ trên  $X$ . Ta có:

- i)  $fm(hx) = \mu(h)fm(x)$ ,  $\forall x \in X$ ;
- ii)  $fm(c^-) + fm(c^+) = 1$ ;
- iii)  $\sum_{-q \leq i \leq p, i \neq 0} fm(h_i c) = fm(c)$  với  $c \in \{c^-, c^+\}$ ;
- iv)  $\sum_{-q \leq i \leq p, i \neq 0} fm(h_i x) = fm(x)$  với  $x \in \{c^-, c^+\}$ ;
- v)  $\sum_{-q \leq i \leq -1} \mu(h_i) = \alpha$  và  $\sum_{1 \leq i \leq p} \mu(h_i) = \beta$ , trong đó  $\alpha, \beta > 0$  và  $\alpha + \beta = 1$ .

**Định nghĩa 2.** Hàm dấu  $sign : X \rightarrow \{-1, 0, 1\}$  được định nghĩa đệ quy như sau:

- i)  $sign(c^-) = -1$ ,  $sign(c^+) = +1$ ;
- ii)  $sign(h'hx) = -sign(hx)$  nếu  $h'$  âm đối với  $h$  và  $h'hx \neq hx$ ;
- iii)  $sign(h'hx) = sign(hx)$  nếu  $h'$  dương đối với  $h$  và  $h'hx \neq hx$ ;
- iv)  $sign(h'hx) = 0$  nếu  $h'hx = hx$ .

**Mệnh đề 2.** Với mọi gia tử  $h$  và phần tử  $x \in X$ , nếu  $sign(hx) = +1$  thì  $hx > x$  và nếu  $sign(hx) = -1$  thì  $hx < x$ .

**Định nghĩa 3.** Cho  $fm$  là hàm độ đo tính mờ trên  $X$ . Một hàm định lượng ngữ nghĩa  $v$  trên  $X$  (kết hợp với  $fm$ ) được định nghĩa như sau:

- i)  $v(W) = \theta = fm(c^-)$ ,  $v(c^-) = \theta - \alpha fm(c^-)$ ,  $v(c^+) = \theta + \alpha fm(c^+)$ , với  $0 < \theta < 1$ ,
- ii)  $v(h_j x) = v(x) + sign(h_j x) \left\{ \sum_{i=sign(j)}^j fm(h_i x) - \omega(h_j x) fm(h_j x) \right\}$ ,  $j \in [-q \wedge p]$ ,

trong đó,  $\omega(h_j x) = \frac{1}{2} \left[ 1 + sign(h_j x) sign(h_p h_j x) (\beta - \alpha) \right] \in \{\alpha, \beta\}$ ,  $[-q \wedge p] = \{j : -q \leq j \leq p \text{ và } j \neq 0\}$ .

**Mệnh đề 3.** Với mọi phần tử  $x \in X$  ta có  $0 \leq v(x) \leq 1$ .

### 2.3. Phương pháp điều khiển mờ sử dụng đại số gia tử

Đại số gia tử cung cấp một cơ sở toán học cho việc biểu diễn ngữ nghĩa các từ của biến ngôn ngữ và hình thức hóa tính mờ ngôn ngữ, từ đó xây dựng độ đo tính mờ một cách hợp lý ([4,5]). Trên cơ sở đó, mô hình mờ (1) - bảng FAM (Fuzzy Associate Memory) được biểu diễn qua một bảng giá trị thực, gọi là bảng giá trị ngữ nghĩa định lượng SAM (Simanticization Associate Memory). Nhìn chung, phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử tuân theo các bước sau ([9, 10]):

*Bước 1.* Xây dựng các đại số gia tử cho mỗi biến ngôn ngữ.

*Bước 2.* Tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng cho các biến ngôn ngữ dựa trên định nghĩa về độ đo tính mờ và hàm định lượng ngữ nghĩa.

*Bước 3.* Xây dựng các gia tử ứng với các tập mờ, chuyển đổi bảng FAM thành bảng SAM.

Bước 4. Xây dựng khoảng xác định các gia tử.

Bước 5. Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng trên cơ sở bảng SAM.

Bước 6. Xác định kết quả điều khiển dựa trên đường cong ngữ nghĩa định lượng.

### 3. GIẢI PHÁP ĐIỀU KHIỂN SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ VÀ MẠNG NƠN NỘI SUY RBF

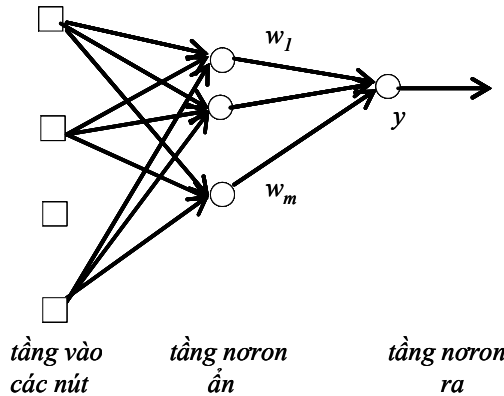
#### 3.1. Sơ lược về mạng nơon RBF

Phương pháp nội suy RBF (Radial Basis Function) do Powell đề xuất ([10]) và được Broomhead và Low giới thiệu như là mạng nơon trong [2], đến nay đã là một công cụ hữu hiệu để nội suy và xấp xỉ hàm nhiều biến và đang được ứng dụng rộng rãi ([1, 2]).

Phương pháp này tìm hàm nội suy  $\varphi$  dưới dạng  $\varphi(x) = \sum_{k=1}^M w_k h(\|x - v^k\|, \sigma_k) + w_0$  sao cho  $\varphi(x^k) = y^k, \forall k = 1, \dots, N$ , trong đó  $\{x^k\}_{k=1}^N$  là tập vectơ trong không gian  $n$  - chiều (được gọi là các mốc nội suy) và  $y^k = f(x^k)$  là giá trị đo được của hàm  $f$  cần nội suy, hàm thực  $h(\|x - v^k\|, \sigma_k)$  được gọi là hàm cơ sở bán kính với tâm  $v^k (M \leq N)$ ,  $w_k$  và  $\sigma_k$  là các giá trị tham số cần tìm. Trong đó, dạng hàm bán kính thông dụng nhất là hàm Gauss  $h(u, \sigma) = e^{-u^2/\sigma^2}$  và tâm là các mốc nội suy (khi đó  $M = N$ ). Hàm nội suy này có ưu điểm là tổng các bình phương sai số của nó không có cực tiểu địa phương nên đến nay các thuật toán huấn luyện mạng thường theo hướng tìm cực tiểu sai số tổng các bình phương hoặc giải trực tiếp hệ phương trình nội suy ([11]).

#### 3.2. Thiết kế mạng RBF

3.2.1. Kiến trúc: Với việc xấp xỉ hàm  $n$  biến  $f: R^n \rightarrow R$ , kiến trúc mạng xác định như sau



Tầng vào có  $n$  nút ứng với  $n$  biến của hàm.

Tầng ẩn có  $m$  nơon bằng với số mốc nội suy, các mốc nội suy được xem như các tâm mạng.

Tầng ra có 1 nơon

Các nơon giữa các tầng được nối với nhau bởi các trọng số liên kết  $w_k, k=1..m$

Hình 1. Mô hình mạng nội suy RBF

#### 3.2.3. Huấn luyện mạng

Việc huấn luyện mạng tập trung vào việc xác định các bán kính  $\sigma_k$  ứng với các tâm mạng và các trọng số kết nối  $w_k$ . Sau đây là một thuật toán huấn luyện mạng ([6]).

**Algorithm 1.** Xác định bán kính

Input: Các mốc nội suy (tâm mạng)  $x^k = (x_1^k, \dots, x_n^k), k = 1..m$

Output: Các bán kính  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_m)$

Method

1. Khởi tạo  $\sigma = 1$
2. Tính  $\sigma_k$ ,  $k = 1 \dots m$  theo nguyên tắc
  - 2.1. Xác định  $\psi_{kl} = \begin{cases} -e^{-\|x^k - x^i\|/\sigma_k^2}, & k \neq i \\ 0 & k = i \end{cases}$
  - 2.2. Xác định  $s = \sum_{i=1}^m |\psi_{kl}|$
  - 2.3. Nếu  $s > q$  thì  $\sigma_k = \sigma_k \cdot \alpha$ , quay lại 2  
ngược lại, nếu  $s < q \cdot \alpha$  thì  $\sigma_k = \sigma_k \cdot \lambda$ , quay lại 2

End

**Algorithm 2.** Xác định trọng số

Input: Các giá trị đo  $y^k$ ,  $k = 1 \dots m$ , ký hiệu  $y = (y^1, \dots, y^m)$

Ma trận  $\psi$

Output: các trọng số  $w = (w_1, \dots, w_m)$

Method

1. Khởi tạo  $w_0 = y$
2. Tính  
 $w = \psi w_0 + y$   
nếu  $\|w - w_0\| > \varepsilon$  thì  $w_0 = w$ , quay lại 2

### 3.2.4. Nội suy

Với một vector  $x$  đầu vào ta xác định giá trị ra  $y$  thông qua mạng theo thuật toán sau.

**Algorithm 3.** Xác định giá trị nội suy

Input: vector  $x = (x_1, \dots, x_n)$

Các mốc nội suy (tâm mạng)  $x^k = (x_1^k, \dots, x_n^k)$ ,  $k = 1 \dots m$

Vector trọng số  $w = (w_1, \dots, w_m)$ , véc bán kính  $\sigma = (\sigma_1, \dots, \sigma_m)$

Output: giá trị  $y$  nội suy được

Method

$$y = \sum_{i=1}^m w_i * e^{-\|x^i - x\|/\sigma_i}$$

### 3.3. Giải pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử và mạng nơron nội suy RBF

Giải pháp này khai thác khả năng nội suy của mạng nơron RBF, ở đây chúng tôi tập trung vào việc thay đổi bước 5 và bước 6 của phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử, cụ thể ở bước 5 thay vì xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng chúng tôi sử dụng một mạng nơron RBF học toàn bộ các điểm của bảng SAM, ở bước 6 kết quả điều khiển được nội suy nhờ chính mạng nơron này. Tính khả thi của giải pháp được thể hiện qua việc triển khai ứng dụng tại Mục 4 của bài báo này.

## 4. ỨNG DỤNG

Xét bài toán điều khiển máy bay hạ cánh ([10, 11]).

Phương trình động học

$$h(i + 1) = h(i) + v(i), \quad v(i + 1) = v(i) + f(i),$$

trong đó,  $v(i), h(i), f(i)$  là tốc độ, độ cao và lực điều khiển máy bay tại thời điểm  $i$ . Đơn vị đo của độ cao  $h$  là ft, của vận tốc  $v$  là ft/s và của lực điều khiển là lbs.

Quy đạo tối ưu cho mô hình máy bay hạ cánh  $v = -(20/(1000)^2)/h^2$ .

Sai số về tốc độ hạ cánh qua  $n$  chu kì điều khiển:

$$e_F = \left( \sum_{i=1}^n (v_{i0}(F) - v_i(F))^2 \right)^{1/2}$$

trong đó  $e_F$  sai số,  $v_{i0}(F)$ ,  $v_i(F)$  là tốc độ hạ cánh tối ưu và tốc độ hạ cánh tại chu kỳ  $i$  ứng với  $h(i)$ .

#### 4.1. Phương pháp điều khiển mờ

Với phương pháp điều khiển mờ kết quả công bố trong [12] như sau:

Bảng 1. Hàm thuộc độ cao máy bay

độ cao (ft)	0	100	200	300	400	500	600	700	800	900
Large(L)	0	0	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8
Medium(M)	0	0	0	0	0.2	0.4	0.6	0.8	1	0.8
Smal(S)	0.4	0.6	0.8	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	0
NearZero(NZ)	1	0.8	0.6	0.4	0.2	0	0	0	0	0

Bảng 2. Hàm thuộc tốc độ máy bay

Vận tốc (ft/s)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
UpLarge(UL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1
UpSmall(US)	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
Zero(Z)	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
DownSmall(DS)	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
DownLarge(DL)	1	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bảng 3. Hàm thuộc lực điều khiển

Lực ĐK (lbs)	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
UpLarge(UL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1
UpSmall(US)	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0
Zero(Z)	0	0	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0
DownSmall(DS)	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
DownLarge(DL)	1	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0

Bảng 4. Bảng FAM - Kinh nghiệm của các phi công

	Tốc độ $v$				
Độ cao $h$	DL	DS	Z	US	UL
L	Z	DS	DL	DL	DL
M	US	Z	DS	DL	DL
S	UL	US	Z	DS	DL
NZ	UL	UL	Z	DS	DS

Bảng 5. Kết quả điều khiển của phương pháp điều khiển mờ

Độ cao $h$	Vận tốc tối ưu	Vận tốc $v$	Lực điều khiển $f$	Sai số bình phương
1000.0	-20.00	-20.00	5.8	0.00
980.0	-19.21	-14.20	-0.5	25.08
965.8	-18.65	-14.70	-0.4	15.65
951.1	-18.09	-15.10	0.3	8.95
Tổng bình phương sai số				49.67
Sai số vận tốc				7.15

#### 4.2. Phương pháp điều khiển sử dụng gia tử

Với phương pháp điều khiển mờ, kết quả công bố trong [10] như sau:

*Bước 1.* Xác định bộ tham số tính toán.

$C = \{0, \text{Small}, \theta, \text{Large}, 1\}$ ;  $H^- = \{\text{Little}\} = \{h_{-1}\}$ ;  $q = 1$ ;  $H^+ = \{\text{Very}\}$ ;  $p = 1$ ;  
 $\alpha = \beta = 0,5$ ;  $\theta = 0,5$ .

*Bước 2.* Tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng chung cho 3 biến.

$$fm(\text{Small}) = \theta = 0,5.$$

$$fm(\text{Large}) = 1 - fm(\text{Small}) = 0,5.$$

$$v(\text{Small}) = \theta - \alpha fm(\text{Small}) = 0,5 - 0,5 \times 0,5 = 0,25.$$

$$v(\text{VerySmall}) = 0,125.$$

$$v(\text{LittleSmall}) = 0,375.$$

$$v(\text{Large}) = \theta - \alpha fm(\text{Large}) = 0,75.$$

$$v(\text{VeryLarge}) = 0,875.$$

$$v(\text{LittleLarge}) = 0,625.$$

$$v(\text{VeryVerySmall}) = 0,0625.$$

*Bước 3.* Xây dựng các gia tử ứng với các tập mờ

Đối với độ cao (0-1000):

NZ - VeryVerySmall, S - Small, M - Medium, L - LittleLarge

Đối với tốc độ (-30-30):

DL - VerySmall, DS - LittleSmall, Z - Medium, US - Large, UL - VeryLarge

Đối với lực điều khiển (-30-30):

DL - VerySmall, DS - LittleSmall, Z - Medium, US - Large, UL - VeryLarge

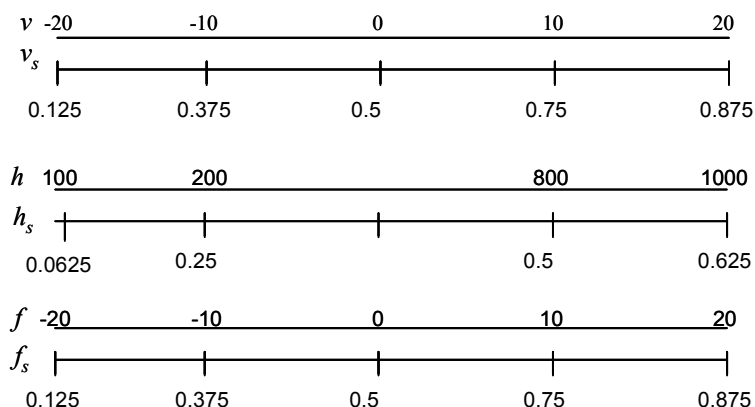
Chuyển bảng FAM sang bảng SAM dựa trên kết quả ở Bước 2.

Bảng 6. Bảng SAM

$h_s$	$v_s$	0.125	0.375	0.5	0.75	0.875
0.625		0.5(A1)	0.375(A2)	0.125(A3)	0.125(A4)	0.125(A5)
0.5		0.75(B1)	0.5(B2)	0.375(B3)	0.125(B4)	0.125(B5)
0.25		0.875(C1)	0.75(C2)	0.5(C3)	0.375(C4)	0.125(C5)
0.0625		0.875(D1)	0.85(D2)	0.5(D3)	0.375(D4)	0.375(D5)

*Bước 4.* Xây dựng khoảng xác định các gia tử

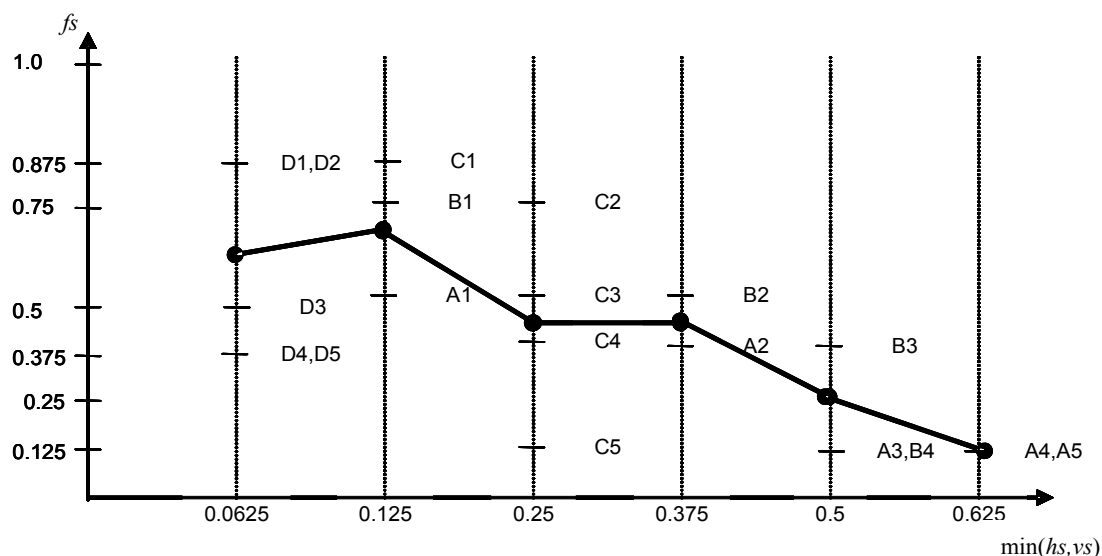




Hình 2. Khoảng xác định gia tử của biến ngôn ngữ

Bước 5. Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng

Ứng với mỗi luật, ta xác định một điểm trên mặt phẳng với phép AND=MIN, các điểm trên đường cong được xác định theo nguyên lý điểm trung bình (Hình 3).



Hình 3. Đường cong ngữ nghĩa định lượng

Bước 6. Tính toán lực điều khiển

Bảng 7. Kết quả điều khiển của phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử

Độ cao $h$	Vận tốc tối ưu	Vận tốc $v$	Lực điều khiển $f$	Sai số bình phương
1000.0	-20.00	-20.00	0	0.00
980.0	-19.21	-20.00	0	0.63
960.0	-18.43	-20.00	0	2.46
940.0	-17.67	-20.00	0	5.42
Tổng bình phương sai số				8.51
Sai số vận tốc				2.92

Lực điều khiển ứng với các chu kỳ được tính toán dựa trên đường cong ngữ nghĩa định

lượng, kết quả thể hiện ở Bảng 7.

### 4.3. Phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử và mạng nơron RBF

Như đã trình bày ở trên phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử và mạng nơron RBF tập trung vào việc thay đổi Bước 5 và 6 của phương pháp điều khiển sử dụng gia tử. Xét bảng SAM ở Bước 2.2, rõ ràng bảng này cho ta một mặt cong ngữ nghĩa định lượng trong không gian 3 chiều, và các tác giả đã đưa về đường cong trong không gian 2 chiều với AND=MIN theo nguyên tắc luật điểm trung bình. Với giải pháp sử dụng mạng nơron, ta quan niệm bảng SAM cho ta  $m$  mốc nội suy  $(h^i, v^i)$  và  $m$  giá trị đo tương ứng  $f^i$ . Một mạng nơron RBF được xây dựng với nhiệm vụ học các mốc cơ sở trên và khi có các đầu vào  $h, v$  ứng với một chu kì điều khiển nào đó ta sẽ nội suy được  $f$  tương ứng nhờ mạng.

Trên cơ sở kết quả của các Bước 1, 2, 3, 4 của Mục 4.2 chúng tôi sử dụng một mạng nơron RBF với số chiều  $n = 2$  với các tâm mạng cho bởi bảng SAM, các tham số  $q = 0, 7, \alpha = 0, 9, \lambda = 1, 1, \varepsilon = e - 06$  và thu được kết quả tính toán sau:

*Chu kì điều khiển 1*

$$h(0) = 1000 \Rightarrow h_s(0) = 0, 625; v(0) = -20 \Rightarrow v_s(0) = 0, 125$$

$$f_s(0) = 0, 5 \Rightarrow f(0) = 0$$

*Chu kì điều khiển 2*

$$h(1) = h(0) + v(0) = 1000 - 20 = 980 \Rightarrow h_s(1) = 0, 6125$$

$$v(1) = v(0) + f(0) = -20 + 0 = -20 \Rightarrow v_s(1) = 0, 125$$

$$f_s(1) = 0, 54 \Rightarrow f(1) = 1, 59$$

*Chu kì điều khiển 3*

$$h(2) = h(1) + v(1) = 980 - 20 = 960 \Rightarrow h_s(2) = 0, 6$$

$$v(2) = v(1) + f(1) = -20 + 1, 59 = -18, 41 \Rightarrow v_s(2) = 0, 165$$

$$f_s(2) = 0, 55 \Rightarrow f(2) = 2, 01$$

*Chu kì điều khiển 4*

$$h(3) = h(2) + v(2) = 960 - 18, 41 = 941, 59 \Rightarrow h_s(3) = 0, 588$$

$$v(3) = v(2) + f(2) = -18, 41 + 2, 01 = -16, 40 \Rightarrow v_s(3) = 0, 215$$

$$f_s(3) = 0, 4857 \Rightarrow f(3) = -1, 14$$

Bảng 8. Kết quả điều khiển của phương pháp sử dụng gia tử kết hợp mạng nơron RBF

Độ cao $h$	Vận tốc tối ưu	Vận tốc $v$	Lực điều khiển $f$	Sai số bình phương
1000.00	-20.00	-20.00	0	0.00
980.00	-19.21	-20.00	1.59	0.62
960.00	-18.43	-18.41	2.01	0.00
941.59	-17.73	-16.40	-1.14	1.77
Tổng bình phương sai số				2.39
Sai số vận tốc				1.55

## 5. KẾT LUẬN

Một trong những khó khăn của phương pháp điều khiển sử dụng gia tử là việc phải xác định phép tích hợp (AND) khi xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng, với giải pháp sử

dùng mạng nơon RBF để nội suy chúng tôi đã loại bỏ hoàn toàn khó khăn trên.

Qua so sánh kết quả sai số của ba phương pháp trong bài toán điều khiển máy bay hạ cánh (Bảng 6, Bảng 7, Bảng 8), chúng tôi thấy rằng phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử kết hợp với mạng nơon RBF có độ chính xác tương đối cao, điều này mở ra triển vọng có thể áp dụng phương pháp này cho các bài toán điều khiển phức tạp khác.

Việc sử dụng các mô hình mạng nơon và các phương pháp huấn luyện mạng khác nhau khi tiến hành nội suy mang tính mở, hứa hẹn cho các nghiên cứu tiếp theo nhằm tăng độ chính xác của phương pháp này.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] E. Blazieri, “Theoretical interpretations and applications of radial basis function networks”, University of Toronto, Technical report # DIT-03-023, May 2003.
- [2] D. S. Broomhead and D. Low, Multivariable functional interpolation and adaptive networks, *Complex Systems* **2** (1988).
- [3] N. C. Ho, Quantifying hedge algebras and interpolation methods in approximate reasoning, *Proc. of the 5th Inter. Conf. on Fuzzy Information Processing*, Beijing, March 1-4, 2003 (105–112).
- [4] N. C. Hồ, N. V. Long, Đại số gia tử đầy đủ tuyến tính, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **19** (3) (2003) 274–280.
- [5] N. C. Hồ, N. V. Long, Cơ sở toán học của độ đo tính mờ của thông tin ngôn ngữ, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **20** (1) (2004) 64–72.
- [6] Hoàng Xuân Huấn, Đặng Thị Thu Hiền, Mạng nơon RBF địa phương nội suy, “Một số vấn đề chọn lọc của công nghệ thông tin và truyền thông”, Đà Lạt, tháng 6 năm 2006.
- [7] J. B. Kiszka, M. E. Kochanska, and S. Sliwinska, The influence of some fuzzy implication operators on the accuracy of a fuzzy model-Part I, *Fuzzy Sets and Systems* **15** (1983) 111–128.
- [8] J. B. Kiszka, M. E. Kochanska, and S. Sliwinska, The influence of some fuzzy implication operators on the accuracy of a fuzzy model-Part II, *Fuzzy Sets and Systems* **15** (1983) 223–240.
- [9] Vũ Như Lâm, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phú, Điều khiển sử dụng đại số gia tử, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **21** (1) (2005) 23–37.
- [10] Vũ Như Lâm, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phú, Lê Xuân Việt, Nguyễn Duy Minh, Điều khiển mô hình máy bay hạ cánh sử dụng đại số gia tử với AND= MIN, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **21** (3) (2005) 191–200.
- [11] M. J. D. Powell, Radial basis function approximations to polynomials, *Numerical Analysis 1987 Proceeding*, Dundee, UK, 1988.
- [12] T. J. Ross, *Fuzzy Logic with Engineering Application*, International Edition, Mc Graw-Hill, Inc 1997.

Nhận bài ngày 8 - 9 - 2006