Tạp chí Tin học và Điều khiển học, T.22, S.3 (2006), 209–220

MỘT PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN DỰA TRÊN ĐẠI SỐ GIA TỬ VỚI THAM SỐ BIÊN

NGUYỄN CÁT HỒ[1], VŨ NHƯ LÂN[1], LÊ XUÂN VIỆT[2]

[1] *Viện Công nghệ thông tin, Viện Khoa học và Công nghệ Việt Nam*
[2] *Khoa Tin học, Trường Đại học Quy Nhơn*

Abstract. It is shown in [5, 6] that the semantics of terms-domains of linguistic variables presented by hedge algebras (HAs) captures more information. Based on this, qualification of HAs can be introduced and defined by a linear expression w.r.t. parameters to be fuzziness measure of the primary terms and linguistic hedges. In this paper, we shall propose a method of fuzzy control based on HAs with boundary parameters. Here, bounds are the limits of referential spaces of variables control. It is shown that the method is simple and the bounds for every problem can be defined suitably so that it produces better results in comparision with those of the method based on fuzzy set considered in [9].

Tóm tắt. Đại số gia tử là cấu trúc khá tốt để biểu diễn miền giá trị của các biến ngôn ngữ. Hơn nữa việc định lượng các giá trị ngôn ngữ về dạng số giúp quá trình tính toán thêm dễ dàng. Trong bài báo này chúng tôi đề xuất một phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử với tham số biên. Ở đây biên chính là giới hạn của không gian tham chiếu của biến điều khiển. Các bước thực hiện trong phương pháp này khá đơn giản. Nếu chúng ta xác định được tham số biên cho từng bài toán thì việc điều khiển rất hiệu quả. Bước đầu thử nghiệm tính toán cho bài toán điều khiển trượt mờ thu được kết quả tốt hơn các phương pháp trong [9].

1. GIỚI THIỆU

Điều khiển logic mờ (Fuzzy Logic Control - FLC) là một trong những ứng dụng của lý thuyết tập mờ được nhiều tác giả quan tâm nghiên cứu [9]. Trong những năm gần đây, logic mờ là công cụ quan trọng để điều khiển nhất là trong các lĩnh vực điều khiển tự động và các tiến trình xử lý. Logic mờ cũng được dùng trong những hệ thống phức tạp, giúp cho con người tiếp cận xử lý dễ dàng hơn với những dữ liệu dạng không rõ ràng đồng thời mô phỏng tốt các hành vi của con người [10]. Trong hầu hết các ứng dụng những giá trị ngôn ngữ được chuyển về dạng số. Một cấu trúc khá tốt để xử lý ngôn ngữ ở dạng số là đại số gia tử [2 - 6]. Các giá trị ngôn ngữ của một biến ngôn ngữ đều thuộc cùng một cấu trúc và chúng có thể so sánh được với nhau về mặt ngữ nghĩa. Vì cấu trúc này định lượng được các từ, chuyển ngôn ngữ sang những giá trị thực trong đoạn [0, 1] bằng một biểu thức tính toán đại số với tham số là độ đo tính mờ của phần tử sinh nguyên thủy và các gia tử nên chúng ta rất dễ tính toán, thao tác với độ chính xác cao. Mỗi quá trình điều khiển đều có tập luật tri thức điều khiển. Thông thường tập luật được cho ở dạng mệnh đề IF-THEN, phần IF chính là phần điều kiện còn phần thứ hai (phần THEN) là phần điều khiển. Dựa vào dữ liệu vào và tập luật con người phải có những hành vi tương thích để đạt được mục tiêu. Những luật đơn giản có dạng sau:

$$\text{IF } X_i \text{ THEN } U_i,\ i = 1, ..., n. \tag{1}$$

X_i là các nhãn ngôn ngữ của các tập mờ với hàm thuộc $\mu(X_i(x))$ trong đó x thuộc không gian X, biến điều khiển U_i là các nhãn ngôn ngữ của các tập mờ với hàm thuộc $\mu(U_i(u))$, u thuộc không gian U.

Điều khiển đơn giản là thủ tục lập luận dựa trên quy tắc modus-ponen $(A \wedge (A \Rightarrow B)) \Rightarrow B$ tức là nếu A đúng và $A \Rightarrow B$ đúng thì B cũng đúng. Phương pháp lập luận chủ yếu là dùng các phép toán kéo theo thay cho các quan hệ mờ. Vì có rất nhiều toán tử kéo theo nên khi sử dụng các toán tử kéo theo khác nhau sẽ cho kết quả điều khiển khác nhau. Trong bài báo này chúng tôi trình bày một phương pháp điều khiển tương đối hiệu quả so với phương pháp điều khiển mờ [9]. Điều này được thể hiện qua bảng so sánh các kết quả bởi các phương pháp điều khiển cho Bài toán 4.1 ở phần sau.

Cấu trúc của bài báo được trình bày như sau: Ngoài phần mở đầu và kết luận, trong Mục 2 chúng tôi trình bày tóm tắt về đại số gia tử và các hàm định lượng. Mục 3 trình bày lại các phương pháp điều khiển trong tài liệu [9] là điều khiển mờ đơn giản và điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ với phép hợp thành *sup-t*, đồng thời chúng tôi đề xuất phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử với tham số biên. Ví dụ tính toán minh họa được trình bày trong Mục 4.

2. SƠ LƯỢC VỀ ĐẠI SỐ GIA TỬ

2.1. Đại số gia tử của biến ngôn ngữ

Tập mờ là công cụ hữu hiệu để biểu diễn ngữ nghĩa của các giá trị ngôn ngữ. Mỗi giá trị ngôn ngữ mang một ngữ nghĩa nhất định, về trực giác chúng có thể so sánh được, chẳng hạn như $true > false$, $young < old$... Để tính toán được trên các giá trị ngôn ngữ, người ta biểu diễn chúng bởi các tập mờ. Mặt hạn chế khi gán tập mờ cho các giá trị ngôn ngữ là nó không bảo toàn quan hệ thứ tự trong ngữ nghĩa của ngôn ngữ. Trong phần này chúng ta sẽ mô tả một đại số của biến ngôn ngữ.

Giả sử $\mathcal{X}$ là một biến ngôn ngữ và miền giá trị của $\mathcal{X}$ là $Dom(\mathcal{X})$. Một đại số gia tử $\mathcal{AX}$ tương ứng của $\mathcal{X}$ là một bộ 4 thành phần $\mathcal{AX} = (Dom(\mathcal{X}), \mathcal{C}, \mathcal{H}, \leqslant)$ trong đó C là tập các phần tử sinh, H là tập các gia tử và quan hệ "$\leqslant$" là quan hệ cảm sinh ngữ nghĩa trên $\mathcal{X}$. Ví dụ như $\mathcal{X}$ là tốc độ quay của một mô tơ thì

$$Dom(\mathcal{X}) = \{\textit{fast, Very fast, Possible fast, Vsery slow, low...}\} \cup \{0, 1, W\},$$

$$C = \{\textit{fast, slow}, 0, 1, W\},$$

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

Từ đây về sau nếu không nhầm lẫn chúng ta có thể sử dụng ký hiệu $\mathcal{X}$ thay cho $Dom(\mathcal{X})$.

Như chúng ta đã biết trong [3], cấu trúc $\mathcal{AX}$ được xây dựng từ một số tính chất của các phần tử ngôn ngữ. Các tính chất này được biểu thị bởi quan hệ thứ tự ngữ nghĩa $\leqslant$ của $\mathcal{X}$. Sau đây chúng tôi xin nhắc lại một số tính chất trực giác:

i) 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* $>$ $false$.

ii) Về trực 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 $Little > Posible$, 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.

iii) 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 $L\ true < true$ và $VL\ true < L\ true < PL\ true$, 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. Thật vậy, nếu V dương đối với L thì với bất kỳ phần tử x ta có: (nếu $x \leqslant Lx$ thì $Lx \leqslant VLx$) hay (nếu $x \geqslant Lx$ thì $Lx \geqslant VLx$). Nhìn chung, với bất kỳ $h, k \in H, h$ được gọi là dương đối với k nếu $(\forall x \in X)\{(kx \geqslant x \Rightarrow hkx \geqslant kx)$ hay $(kx \geqslant x \Rightarrow hkx \leqslant kx)\}$. Một cách tương tự, h được gọi là âm đối với k nếu $(\forall x \in X)\{(kx \geqslant x \Rightarrow hkx \leqslant kx)$ hay $(kx \leqslant x \Rightarrow hkx \geqslant kx)\}$. Tính âm, dương của các gia tử được thể hiện trong Bảng 1.

	V	*M*	*P*	*L*
V	+	+	–	+
M	+	+	–	+
P	–	–	+	–
L	–	–	+	–

Bảng 1

iv) 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 $hx \leqslant kx$ thì $h'hx \leqslant k'kx$, hay h' và k' bảo tồn quan hệ ngữ nghĩa của hx và kx một cách tương ứng. Chẳng hạn như theo trực giác ta có $Ltrue \leqslant Ptrue$, khi đó: $PLtrue \leqslant LPtrue$.

2.2. Các hàm đo trong đại số gia tử tuyến tính (xem [5, 6])

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

$... < h_{-q}$ và $H^+ = \{h_1, h_2, ..., h_p\}$ thỏa $h_1 < h_2 < ... < h_p$.

Gọi $H(x)$ là tập các phần tử của $\mathcal{X}$ 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, ta ký hiệu là $fm(x)$, là đường kính của tập $f(H(x)) = \{f(u) : u \in H(x)\}$.

Định nghĩa 2.1. Cho đại số gia tử $\mathcal{AX} = (\mathcal{X}, C, H, \leqslant)$. Hàm $fm : \mathcal{X} \to [0, 1]$ được gọi là hàm độ đo tính mờ của các phần tử trong $\mathcal{X}$ nếu:

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

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

fm3) $\forall x, y \in X, \forall h \in H, \dfrac{fm(hx)}{fm(x)} = \dfrac{fm(hy)}{fm(y)}$, tỷ lệ này không phụ thuộc vào x, y và được gọi là độ đo tính mờ của gia tử h, 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 2.1. *Cho fm là hàm độ đo tính mờ trên $\mathcal{X}$. Ta có:*

i) $fm(hx) = \mu(h) fm(x), \forall x \in X$;

ii) $fm(c^-) + fm(c^+) = 1$;

iii) $\sum\limits_{-q \leqslant i \leqslant p, i \neq 0} fm(h_i c) = fm(c)$ *với* $c \in \{c^-, c^+\}$;

iv) $\sum\limits_{-q \leqslant i \leqslant p, i \neq 0} fm(h_i x) = fm(x)$

v) $\sum\limits_{-q \leqslant i \leqslant -1, i \neq 0} \mu(h_i) = \alpha$ *và* $\sum\limits_{1 \leqslant i \leqslant p, i \neq 0} \mu(h_i) = \beta$, *trong đó* $\alpha, \beta > 0$ *và* $\alpha, \beta = 1$.

Định nghĩa 2.2. Hàm dấu $sign : \mathcal{X} \to \{-1, 0, 1\}$ 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 2.2. *Với mọi gia tử h và phần tử $x \in \mathcal{X}$ nếu $sign(hx) = +1$ thì $hx > x$ và nếu $sign(hx) = -1$ thì $hx < x$.*

Định nghĩa 2.3. Cho fm là hàm độ đo tính mờ trên $\mathcal{X}$. Một hàm định lượng ngữ nghĩa v trên $\mathcal{X}$ (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) $v(h_j x) = v(x) + sign(h_j x)\{\sum\limits_{i = sign(j)}^{j} fm(h_i x) - \omega(h_j x) fm(h_j x)\}, j \in [-q \wedge p]$,

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

Mệnh đề 2.3. *Với mọi phần tử $x \in \mathcal{X}$ ta có* $0 \leqslant v(x) \leqslant 1$.

3. PHƯƠNG PHÁP ĐIỀU KHIỂN MỜ VỚI THAM SỐ BIẾN

Trong phần này chúng tôi sẽ trình bày lại một số phương pháp điều khiển trong [9] đó là phương pháp điều khiển đơn giản và phương pháp điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ. Đồng thời chúng tôi cũng đề xuất một phương pháp điều khiển mới dựa trên đại số gia tử.

3.1. Phương pháp điều khiển mờ đơn giản (Simple Fuzzy Control - SFC)

Như ký hiệu quan hệ (1), điều khiển mờ trong [9] được cho như sau:

$R_i = X_i * U_i, i = 1, 2, ..., n.$

$R = \bigcup_i R_i,$

$U = X\Theta R,$

trong đó $*$ ký hiệu cho phép toán kéo theo, Θ là phép hợp thành $sup - t$ (trong bài này chính là $sup - min$) và $\bigcup$ là hàm lấy *maximum* ([10]). Dữ liệu đầu vào được xác định trên không gian X, ký hiệu dữ liệu này là $X(x)$. Dữ liệu mờ điều khiển tính toán được trên không gian U, ký hiệu $U(u)$. Quan hệ R_i được xác định trên không gian $X \times U, R_i$ được tính như sau: $R_i(x,u) = X_i(x) * U_i(u) = \min\{X_i(x), U_i(u)\}$ với mọi $x \in X, u \in U$ trong đó $X_i(x), U_i(u)$ được biểu thị bởi các hàm thuộc. Quan hệ hợp thành $sup - min$ được xác định:

$$U(u) = X(x)\Theta R(x,u) = \sup_{x\in X}\{\min\{X(x), R(x,u)\}\}, \tag{2}$$

chúng ta có thể viết lại :

$$\begin{aligned} U(u) &= \sup_{x\in X}\{\min\{X(x), \bigcup_i R_i(x,u)\}\} = \sup_{x\in X}\{\bigcup_i \min\{X(x), R_i(x,u)\}\} \\ &= \sup_{x\in X}\{\bigcup_i \min\{X(x), X_i(x) * U_i(u)\}\} = \bigcup_i \sup_{x\in X}\{\min\{X(x), X_i(x)\}\} * U_i(u) \\ &= \bigcup_i \Lambda_i * U_i(u), \end{aligned}$$

với Λ_i là một giá trị vô hướng còn gọi là khả năng tương thích của $X(x)$ với $X_i(x)$. Ta có:

$$\Lambda_i = \Pi(X(x)/X_i(x)) = \sup_{x\in X}\{\min\{X(x), X_i(x)\}\}.$$

Trong trường hợp cụ thể khi $X(x)$ là giá trị rõ

$$X(x) = \begin{cases} 1 & \text{nếu } x = x_0 \\ 0 & \text{trong trường hợp khác} \end{cases}$$

thì Λ_i được tính như sau:

$$\Lambda_i = \sup\{\min\{1, X_i(x_0)\}, \min\{0, X_i(x)\}\} = X_i(x_0).$$

3.2. Phương pháp điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ với phép hợp thành $sup - t$

(Fuzzy Control based on Fuzzy Relational Equation with $sup - t$ composition - $sup - t$_FC)

Tương tự như trong phương pháp SFC, giá trị điều khiển U được tính trong phương pháp này cũng nhờ vào phép hợp thành $sup - min$. Sự khác biệt giữa $sup - t\_FC$ đối với SFC ở chỗ là trong phương pháp $sup - t\_FC$ sử dụng phép kéo theo Godel φ thay cho phép *min* và phép toán *minimum* $\bigcap$ thay cho phép toán *maximum* $\bigcup$. Phương pháp điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ trong [9] được cho:

$$R_i = X_i \varphi U_i,\ i = 1, ..., n$$
$$R = \bigcap_i R_i$$
$$U = X \Theta R, \tag{3}$$

trong đó $\bigcap$ là hàm *minimum* ([10]), toán tử φ là phép kéo theo Godel [1, 9] được xác định như sau:

$$(X\varphi Y)(x,y) = X(x)\varphi Y(y) = \begin{cases} 1, & \mu(X(x)) \leqslant \mu(Y(y)), \\ \mu(X(x)), & \mu(X(x)) > \mu(Y(y)). \end{cases}$$

Từ (2), (3) ta thu được $U(u) = \sup\limits_{x \in X}\{\min\{X(x), \bigcap\limits_i R_i(x,u)\}\}$ phép hợp thành $sup - min$ không phân phối đối với phép giao ([10]): $X\Theta(Y \cap Z) \Leftarrow (X\Theta Y) \cap (X\Theta Z)$ vì vậy để tính được $U(u)$ thì phải tính quan hệ mờ $R(x,u)$. Tuy nhiên, trong trường hợp dữ liệu đầu vào của điều khiển ở dạng rõ thì phương pháp này không cần tính quan hệ mờ $R(x,u)$. Điều này được khẳng định bởi định lý sau:

Định lý 3.1. ([8]) *Trong trường hợp dữ liệu đầu vào của FLC ở dạng rõ, giá trị điều khiển mờ thu được bằng phương pháp điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ với phép hợp thành $sup - t$ mà không cần tính quan hệ mờ $R(x,u)$.*

3.3. Phương pháp điều khiển với tham số biên (Hedge Algebra Control with parameter N - HAC(N))

Trong cả hai phương pháp điều khiển vừa nêu, mỗi quan hệ R_i được tính nhờ vào một phép tính kéo theo. Khi thay đổi phép toán kéo theo sẽ dẫn đến thay đổi kết quả điều khiển một cách đáng kể. Chúng ta sẽ nhận thấy sự thay đổi đáng kể này trong ví dụ minh họa ở Mục 4. Điều đáng quan tâm ở đây là có rất nhiều phép toán kéo theo vì vậy việc chọn lựa phép toán nào đó cho phù hợp trong quá trình điều khiển là tương đối khó. Để trực quan, dễ dàng tính toán và không phụ thuộc vào phép toán kéo theo, chúng tôi đề xuất một phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử. Trong phương pháp này, chúng ta xem miền trị của một biến vật lý như một đại số gia tử. Dựa vào hàm định lượng ngữ nghĩa trong các đại số gia tử cùng với phép toán kết nhập đơn giản, chẳng hạn phép toán *min*, chúng ta chuyển được mỗi luật dạng (1) về một điểm trong không gian hai chiều (xem chi tiết trong [5]). Khi đó tập các luật sẽ tương ứng với một đường cong trong mặt phẳng. Như vậy với mỗi dữ liệu đầu vào của quá trình điều khiển chúng ta dễ dàng tính được đầu ra nhờ vào phương pháp nội suy trên đường cong đó.

Chúng ta đều biết trong lý thuyết tập mờ mỗi giá trị ngôn ngữ đều được biểu diễn bởi một tập mờ trên không gian tham chiếu của nó. Tương tự, trong đại số gia tử mỗi giá trị ngôn ngữ sẽ tương ứng với một giá trị định lượng ngữ nghĩa trong đoạn [0,1], từ giá trị ngữ nghĩa này sẽ cho tương ứng một giá trị thực trong không gian tham chiếu ban đầu. Thông thường chúng ta xem mỗi không gian tham chiếu của cùng một loại biến ngôn ngữ là giống nhau. Tuy nhiên, với quan niệm đó dễ dẫn đến kém hiệu quả trong việc lập luận xấp xỉ đối với từng bài toán cụ thể. Chẳng hạn như khi quan niệm không gian của biến *Vận_tốc* chúng ta có thể có khoảng xác định là [0,120] (km/h). Đại số gia tử của biến *Vận_tốc* có các phần tử sinh là {*chậm, nhanh*}, giá trị số của hai phần tử sinh là {30,70}. Không gian trên là hợp lý nếu chúng ta xét vận tốc của xe máy. Tuy nhiên nếu xét vận tốc của máy bay thì không gian [0,120] không còn hợp lý nữa. Rõ ràng tốc độ nhanh, chậm của máy bay khác với tốc độ nhanh, chậm của xe máy. Với tốc độ máy bay không gian tham chiếu của vận tốc sẽ là [0,1200] và cặp phần tử sinh {*chậm, nhanh*} sẽ có giá trị số là {300, 900}. Như vậy biên của không gian tham chiếu của biến ngôn ngữ rất quan trọng đối với từng bài toán. Việc xác định biên trong bài toán điều khiển là vấn đề rất nhạy cảm. Để đạt được hiệu quả trong quá trình điều khiển chúng tôi xem các biên của không gian tham chiếu của biến điều khiển như một tham số. Tham số này phụ thuộc vào từng bài toán nhất định nên không có cách chung để ước lượng nó. Bằng thực nghiệm chúng ta sẽ xác định được tham số này. Với phương pháp được trình bày sau đây cùng với việc thực nghiệm xác định biên chúng ta sẽ điều khiển được một cách hiệu quả. Kết quả điều khiển cho Bài toán 4.1 bởi các phương pháp được tổng hợp ở phần sau.

Các bước tiến hành của phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử:

B1. Gọi $\mathcal{AX}_i = (\mathcal{X}_i, C, H, \leqslant)$ là đại số gia tử tương ứng của biến vật lý X_i. Chúng ta cần xác định tập phần tử sinh C, phần tử trung hòa W và tập các gia tử H cho các đại số. Đồng thời chúng ta cũng xác định độ đo tính mờ của các gia tử để tính toán trong hàm định lượng ngữ nghĩa.

B2. Tính toán giá trị cho bảng SAM (Semantization Association Memory). Mỗi giá trị ngôn ngữ trong các luật dạng (1) của biến vật lý X_i sẽ được định lượng sang một giá trị thực trong đoạn [0,1] nhờ vào hàm định lượng ngữ nghĩa v_i trong đại số $\mathcal{AX}_i$. Như vậy, từ các giá trị ngôn ngữ được cho trong bảng luật điều khiển FAM (Fuzzy Association Memory) ta chuyển được sang bảng các giá trị thực. Bảng giá trị này được gọi là bảng ngữ nghĩa định lượng SAM.

B3. Xây dựng đường cong ngữ nghĩa trung bình dựa trên bảng SAM và toán tử kết nhập T. Thông thường phần IF của mỗi luật điều khiển có nhiều điều kiện, vì vậy để tích hợp các điều kiện ta cần chọn một toán tử kết nhập. Như đã đề cập trước đây, mỗi luật được xem là một điểm trong không gian hai chiều với hoành độ là giá trị tích hợp thu được còn tung độ là giá trị điều khiển. Khi đó, bảng định lượng ngữ nghĩa SAM sẽ tương ứng với một đường cong $\mathcal{C}$ trong mặt phẳng. Trong một số trường hợp, khi tích hợp các dữ liệu đầu vào sẽ cho những giá trị giống nhau ứng với giá trị điều khiển khác nhau nên chúng ta sẽ có nhiều điểm có chung hoành độ nhưng khác nhau về tung độ. Khi đó, các điểm này sẽ được biểu diễn bởi một điểm duy nhất với hoành độ chung còn tung độ là trung bình cộng của các tung độ khác nhau đó. Đường cong $\mathcal{C}$ còn được gọi là đường cong ngữ nghĩa trung bình.

B4. Xác định tham số biên của lực điều khiển $\boldsymbol{F}$ cho từng bài toán điều khiển cụ thể. Thông thường không gian tham chiếu cho biến điều khiển có dạng $[-N, N]$ nên chúng ta chỉ cần xác định tham số N.

B5. Với tham số N được xác định trong B4, ta xây dựng ánh xạ:

$$f_N : [0,1] \to [-N, N],\ f_N(x) = N(2x-1) \ \text{ với } x \in [0,1].$$

Gọi dữ liệu đầu vào của quá trình điều khiển sau khi được tích hợp là x_s. Dùng phương pháp nội suy tuyến tính trên đường cong $\mathcal{C}$ chúng ta sẽ tính được giá trị ngữ nghĩa đầu ra y_s ($y_s \in [0,1]$). Lực điều khiển $\boldsymbol{F}$ tương ứng với đầu vào x_s được tính theo công thức $F = f_N(y_s)$.

4. ỨNG DỤNG PHƯƠNG PHÁP HAC(N) VÀO BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN TRƯỢT TRÊN MẶT NGHIÊNG

4.1. Bài toán điều khiển ([8])

Giả sử có một vật khối lượng m được đặt trên một mặt nghiêng. Bài toán đặt ra là điều khiển để giữ vật thể tại vị trí ban đầu, biết rằng lực tác động tổng hợp lên vật là F, F được cho bởi công thức sau:

$$F = F_m + F_d + F_f,$$

trong đó F_m là lực chuyển động, F_d nhiễu lực, F_f là lực điều khiển.

$$F_m = F_g \frac{G'(p)}{\sqrt{1+(G'(p))^2}} = mg\frac{G'(p)}{\sqrt{1+(G'(p))^2}}, \tag{4}$$

$G'(p)$ là hàm cơ sở thông thường là các hàm sau:

$G_1(p) = \exp(-p^2),\ G_2(p) = -p^2.$

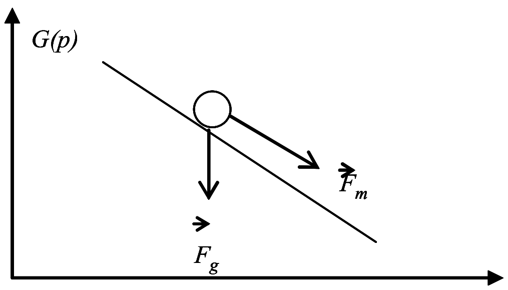
Vị trí (p) và vận tốc (v) của vật thể được tính theo khoảng thời gian Δt theo công thức sau:

$$p(t+1) = p(t) + v(t)\Delta t,$$

$$v(t+1) = v(t) + F(t)/m\Delta t - C_f v(t),\ C_f \text{ là hằng số ma sát.}$$

Các giá trị ban đầu được cho:

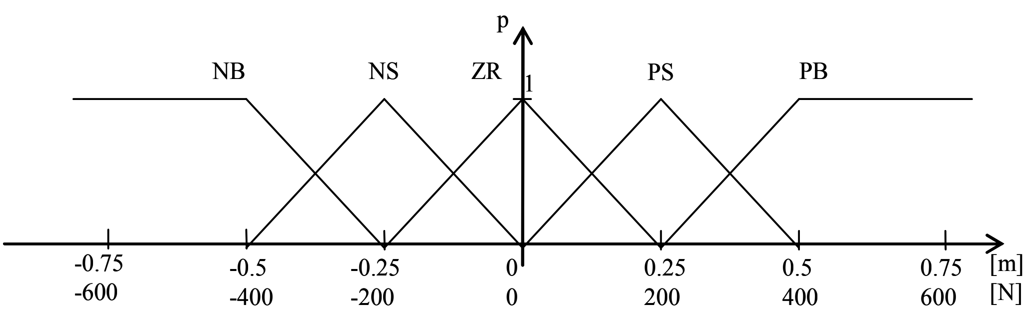
$m = 10$ Kg; $g = 9.81$ m/s^2; $\Delta t = 0.01$s; $C_f = 0.04; p(0) = 0.$



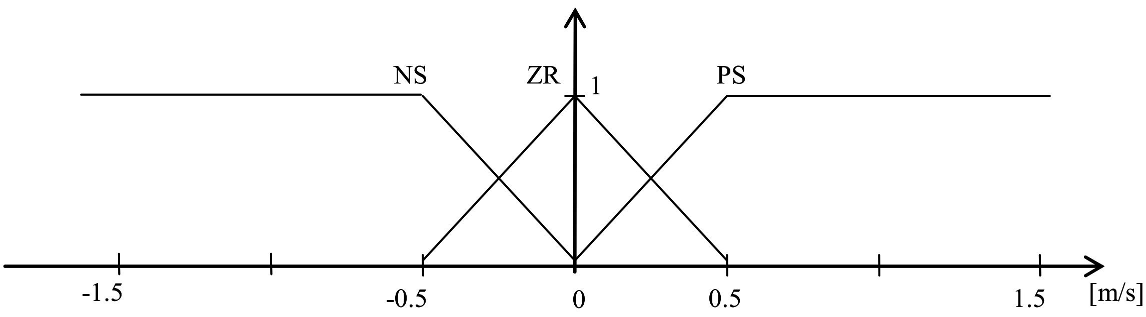
Hình 1. Mô phỏng ví dụ

	VẬN TỐC		
VỊ TRÍ	NS	ZR	PS
NB	PB	PB	PS
NS	PS	PS	ZR
ZR	PS	ZR	NS
PS	ZR	NS	NS
PB	NS	NB	NB

Bảng 2. Các luật điều khiển FAM



Hình 2. Hàm thuộc của p và F_f



Hình 3. Hàm thuộc của vận tốc

Lưu ý: PB-Possitive Big; PS-Possitive Small; ZR-Zero; NS-Negative Small, NB-Negative Big.

Các luật điều khiển được cho trong Bảng 2. Hàm thuộc của vị trí và lực điều khiển được cho trong Hình 2, hàm thuộc của vận tốc được cho trong Hình 3.

Giả sử các điều kiện môi trường, nhiễu lực và tập luật là như nhau khi thực nghiệm các phương pháp điều khiển. Tổng bình phương các nhiễu lực theo thời gian t được cho:

$$\sum_{t=1}^{3000} F_d^2(t) = 2.176 \times 10^6 (N^2).$$

4.2. Các bước giải Bài toán 4.1 bằng phương pháp HAC(N)

Bước 1. Chúng ta xem miền trị ngôn ngữ của biến vị trí (p) và biến vận tốc (v) là các đại số gia tử đều có chung tập gia tử H, $H = H^- \cup H^+$, $H^- = \{Less\}$, $H^+ = \{Very\}$ và các tham số: $W = 0.5, \mu(less) = 0.5$, $\mu(very) = 0.5$. Các giá trị ngôn ngữ tương ứng là:

NB	NS	ZR	PS	PB
Very small	small	W	Large	Very large

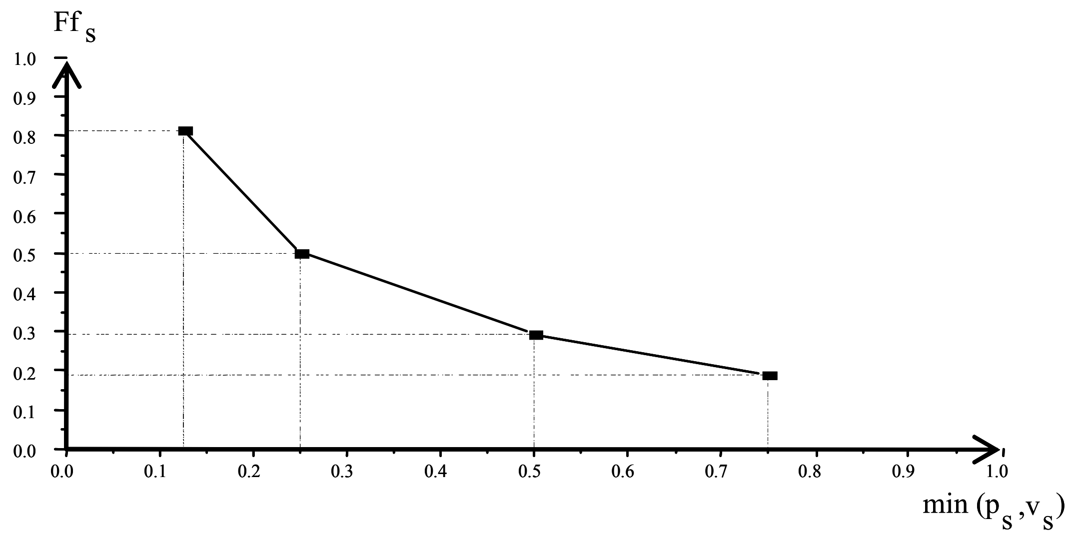
Bước 2. Định lượng các giá trị ngôn ngữ trong Bảng 2 ta thu được bảng sau:

	VẬN TỐC		
VỊ TRÍ	0.25	0.5	0.75
0.125	0.875	0.875	0.75
0.25	0.75	0.75	0.75
0.5	0.75	0.5	0.5
0.75	0.5	0.25	0.25
0.875	0.25	0.125	0.125

Bảng 3. Bảng định lượng ngữ nghĩa SAM

Bước 3. Đường cong ngữ nghĩa trung bình với phép toán kết nhập là phép toán min (Hình 4).

Bước 4. Quan sát (4) chúng ta thấy rằng lực chuyển động F_m phụ thuộc vào hàm cơ sở $G'(p)$. Khi sử dụng các hàm cơ sở khác nhau thì lực chuyển động F_m bị thay đổi dẫn tới lực tổng hợp F tác động lên vật thay đổi theo. Để giữ vật tại vị trí cân bằng thì lực điều khiển F_f cũng phải thay đổi cho phù hợp. Khái niệm *lớn* hay bé của lực điều khiển có tương quan đến lực tổng hợp F. Chẳng hạn: lực tổng hợp $F = 1000$ thì lực điều khiển $F_f = 800$ là *lớn* , nhưng nếu $F = 500$ thì khái niệm *lớn* của lực điều khiển là 400. Do đó không gian tham chiếu của lực điều khiển phụ thuộc vào lực F hay cũng chính là phụ thuộc vào hàm cơ sở $G'(p)$. Bằng thực nghiệm ta xác định được tham số biên của lực điều khiển F_f là $N_1 = 233$ và $N_2 = 65$ ứng với hàm cơ sở $G_1(p)$ và $G_2(p)$.



Hình 4. Đường cong ngữ nghĩa được xây dựng từ Bảng 2.

Bước 5. Với giá trị $p(t), v(t)$ tại mỗi thời điểm $t(t = 1, ..., 3000)$, dùng hàm định lượng ngữ nghĩa ta thu được hai giá trị thực p_s, v_s tương ứng. Áp dụng phương pháp nội suy tuyến tính để tính giá trị đầu ra y_s dựa trên dữ liệu vào là $x_s = \min(p_s, v_s)$. Lực điều khiển tại thời điểm t được tính bởi công thức $F_f = f_N(y_s)$. Từ đó ta tính được $F(t)$.

Thủ tục tính toán cho Bước 5:

```
void tinhtoan(){
    int t;
    double g = 9.81, delta_t = 0.01, c_f = 0.04, m = 10.0;
    double p, v, F, Fm, Fd, Ff, ps, vs, Ffs;
    double gf, PE = 0.0, FP = 0.0;
    p = 0.0, v = 0.0, //xuat phat p(0) = 0
    Fd=(double)sqrt(2176/3);
    Ff = 0.0;
    Fm = m * g/sqrt(2);// Fm = 0.0 khi ham co so la gf2
    F = Fm + Ff + Fd;
    for(t = 1; t <= 3000; t + +){
        p = p + v*delta_t;
        v = (v + F/m*delta_t − cf * v);
        PE+ = p * p;// Position error
        FP+ = Ff * Ff;// fuzzy power
```

```
        ps = pv_pvs(p, 1.0);
        vs = pv_pvs(v, 1.0);
        Ffs=linear(min(ps, vs), x, y, n);// noi suy
        Ff = Ffs_Ff(Ffs, N);//tinh luc dieu khien Ff
        gf = gf1(p);
        Fm = m * g * gf/(double)sqrt(1 + gf * gf);
        F = Fm + Ff + Fd;
    }
    printf("Position error: %lf",PE);
    printf("Fuzzy power: %lf",FP);
}
```

Kết quả điều khiển bởi 3 phương pháp với giá trị ban đầu $p(0) = 0$ như sau:

Bảng 4. Kết quả thử nghiệm

Hàm cơ sở		**SFC**	***Sup-t*_FC**	**HAC (*N*)**	***N***
$G_1(p)$	PE	0.535	0.172	0.065	233
	FP	4.589	6.727	27.829	
$G_2(p)$	PE	0.434	0.162	0.024	65
	FP	4.656	6.803	2.176	

trong đó ta sử dụng các ký hiệu viết tắt như sau:

SFC: Phương pháp điều khiển mờ đơn giản (Simple Fuzzy Control).

$Sup-t\_FC$: Phương pháp điều khiển dựa trên phương trình quan hệ mờ (Fuzzy Control based on Fuzzy Relational Equation with sup-t composition).

HAC(N): Phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử với tham số biên N (Hedge Algebra Control with parameter N).

PE, FP là tổng bình phương các sai số vị trí và tổng bình phương các lực điều khiển:

$$\mathrm{PE} = \sum_{t=1}^{3000} p^2(t)(m^2),$$

$$\mathrm{FP} = \sum_{t=1}^{3000} F_f^2(t)(10^6 N^2).$$

Rõ ràng, từ sai số vị trí trong Bảng 4 cho thấy phương pháp điều khiển với tham số biên cho kết quả tốt hơn hai phương pháp trước.

5. KẾT LUẬN

Khi dữ liệu vào của quá trình điều khiển là dữ liệu rõ thì phương pháp điều khiển trong [9] không phải tính toán các quan hệ mờ. Với phương pháp điều khiển dựa trên đại số gia tử với tham số biên thì chúng ta không cần tính quan hệ mờ cho cả hai loại dữ liệu: dữ liệu rõ và dữ liệu mờ. Vì vậy phương pháp này không chịu sự ảnh hưởng của các phép toán kéo theo. Kết quả điều khiển ban đầu cho ví dụ minh họa trong Phần 4 thể hiện tính hiệu quả khi điều khiển bằng phương pháp HAC(N). Việc điều khiển để giữ vật thể tại vị trí ban đầu trong 30 giây bằng phương pháp HAC(N) có tổng bình phương sai số vị trí rất nhỏ (khoảng 0.065 hoặc 0.024 cho mỗi hàm cơ sở), bé hơn nhiều so với các phương pháp đã đề xuất trong [9]. Điều này cũng khẳng tính chính xác cao trong quá trình tính toán khi sử dụng đại số gia tử. Tuy nhiên vấn đề còn tồn tại ở đây là chưa có cách chung để xác định tham số biên N, chúng tôi hy vọng sẽ có phương pháp xác định tham số này cho từng bài toán điều khiển khác nhau trong thời gian tới.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H. Bandamer, S. Gotwald, *Einfuhrung in Fuzzy-Methoden*, Akademie Verlag, Berlin, 1990.

[2] N. C. Ho, W. Wechler, Hedge algebras: An algebraic approach to structure of sets of linguistic truth values, *Fuzzy Set and Systems* **35** (1990) 281–293.

[3] N. C. Ho, Fuzziness in structure of linguistic truth values: a foundation for development of fuzzy reasoning, *Proc. of Int. Symp. on Multiple-Valued Logic*, Boston University, Boston, Massachusetts, IEEE Computer Society Press, May 26-28, 1987 (325–335).

[4] N. C. Ho, H. V. Nam, An algebraic approach to linguistic hedge in Zadeh's fuzzy logic, *Fuzzy Set and Systems* **129** (2002) 229–254.

[5] N. C. Ho, T. T. Son, T. D. Khang, L. X. Viet, Fuzziness measure, quantified semantic mapping and interpolative method of approximate reasoning in medical expert systems, *Journal of Computer Science and Cybernetics* **18** (3) (2002) 237–252.

[6] 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).

[7] V. N. Lân, V. C. Hưng, Đ. T. Phu, L. X. Việt, N. D. 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.

[8] V. Pavlica, D. Petrovacki, About simple fuzzy control and fuzzy control based on fuzzy relational equations, *Fuzzy Sets and Systems* **101** (1999) 41–47.

[9] W. Pedrycs, *Fuzzy Control and Fuzzy Systems*, Wiley, New York, 1989.

[10] H. J. Zimmermann, *Fuzzy Set Theory and its Applications*, Kluwer Nijhoff Publishing, Boston, 1988.

Nhận bài ngày 25 - 4 - 2006
Nhận lại sau sửa ngày 31 - 5 - 2006