

## ĐIỀU KHIỂN MÔ HÌNH MÁY BAY HẠ CÁNH SỬ DỤNG ĐẠI SỐ GIA TỬ VỚI AND=MIN

<sup>1</sup>VŨ NHƯ LÂN, <sup>1</sup>VŨ CHẤN HƯNG, <sup>1</sup>ĐẶNG THÀNH PHU  
<sup>2</sup>LÊ XUÂN VIỆT, <sup>3</sup>NGUYỄN DUY MINH

<sup>1</sup>*Viện Công nghệ thông tin*

<sup>2</sup>*Trường Đại học Quy Nhơn*

<sup>3</sup>*Trường Đại học Thái Nguyên*

**Abstract.** This paper presents the work on the Application of Hedge Algebras ( for the case AND=MIN ) to aircraft landing control problems. The principle of average rule-point was proposed to determine quantified semantic curve. The main advantage of this control strategy in compare with fuzzy control [7] is more simple and exact. However, the approach in this paper should be tested for more practical systems, and more theoretical problems should be studied. We believe that the basis idea behind the approach will have a significant influence on practice of controlling complex systems in future.

**Tóm tắt.** Bài báo trình bày quá trình ứng dụng ĐSGT đối với trường hợp AND=MIN (cho bài toán hạ cánh máy bay). Một nguyên lý luận điểm trung bình được đề xuất nhằm xác định đường cong ngữ nghĩa định lượng. Tuy nhiên, tiếp cận này cần được kiểm tra đối với nhiều hệ thống thực tế khác, nhưng ý nghĩa của phương pháp đại số gia tử sẽ có ảnh hưởng lớn đến các bài toán điều khiển phức tạp.

### 1. MỞ ĐẦU

Những nghiên cứu gần đây [4, 5, 6] cho thấy rằng công cụ đại số gia tử có một ý nghĩa lớn khi được sử dụng cho các bài toán điều khiển. Việc xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng trong bài toán điều khiển sử dụng đại số gia tử khi phép AND=PRODUCT khá đơn giản. Khi phép AND = MIN, xuất hiện vấn đề đa trị trên đường cong ngữ nghĩa định lượng. Để vượt qua khó khăn trên, trong bài báo đề xuất *nguyên tắc luật-điểm trung bình*. Sử dụng nguyên tắc này, các tính toán trở nên đơn giản như trường hợp AND= PRODUCT.

### 2. BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN MÁY BAY HẠ CÁNH

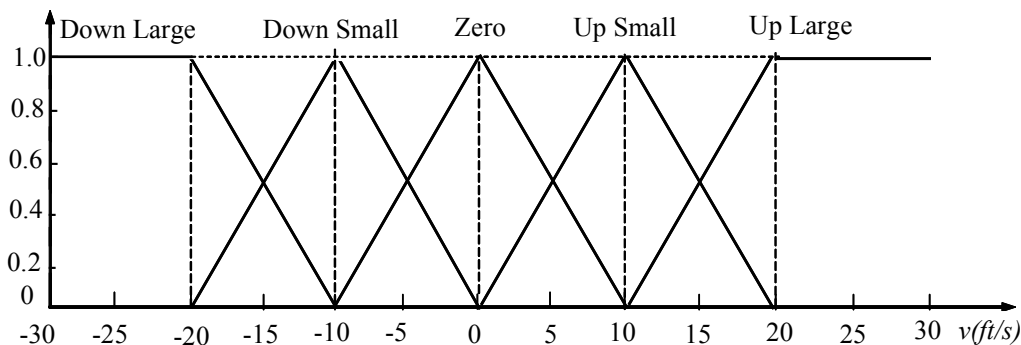
#### 2.1. Mô hình phương trình động học

Mô hình động học khi máy bay hạ cánh được mô tả trong [7] có dạng sau:

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

$$v(i + 1) = v(i) + f(i) \quad (2)$$



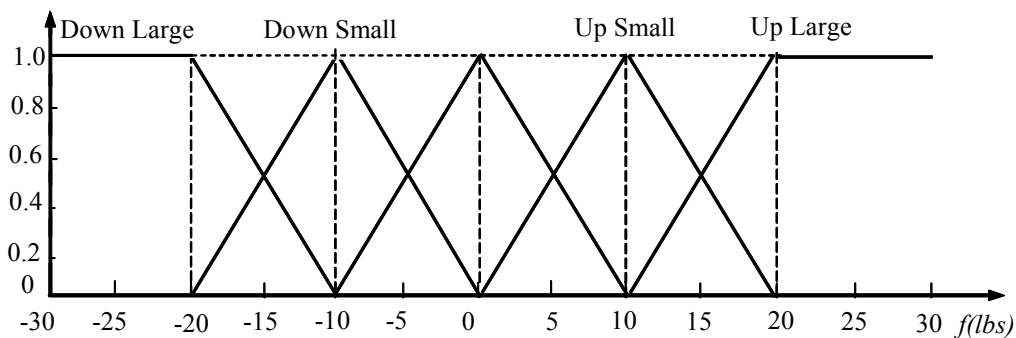


Hình 2. Phân hoạch tốc độ  $v(ft/s)$

Bước 2: Xác định hàm thuộc đối với đầu ra điều khiển như trong bảng 3 và hình 3.

Bảng 3. Những giá trị hàm thuộc đối với lực điều khiển

	Lực điều khiển (lbs)												
	-30	-25	-20	-15	-10	-5	0	5	10	15	20	25	30
Up Large (UL)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0.5	1	1	1
Up Small (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
Down Small (DS)	0	0	0	0.5	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0
Down Large (DL)	1	1	1	0.5	0	0	0	0	0	0	0	0	0



Bước 3: Xác định các luật trên cơ sở kinh nghiệm các phi công và tổng hợp trong bảng FAM (Fuzzy Associate Memory). Các giá trị trong bảng FAM là các lực điều khiển.

Bảng 4. Bảng FAM

Độ cao $h$	Tốc độ $v$				
	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

*Bước 4:* Xác định điều kiện ban đầu và tiến hành tính toán các chu kỳ điều khiển. Bắt đầu từ độ cao  $h(0) = 1000ft$ ; tốc độ ban đầu  $v(0) = -20ft/s$ .

*Chu kỳ điều khiển 1:*

Độ cao  $h(0)$  kích hoạt tập mờ  $L$  tại 1.0 và  $M$  tại 0.5 (Hình 1). Tốc độ  $v(0)$  chỉ kích hoạt tập mờ  $DL$  tại 1.0 (Hình 2).

Như vậy tổ hợp lại nhận được mô hình suy luận trên cơ sở FAM như sau:

Độ cao		Tốc độ		Lực điều khiển
$L(1.0)$	AND	$DL(1.0)$	$\Rightarrow$	$Z(\min(1.0;1.0))=Z(1.0)$
$M(0.6)$	AND	$DL(1.0)$	$\Rightarrow$	$US(\min(0.6;1.0))=US(0.6)$

Khử mờ sử dụng phương pháp trọng tâm (centroid method) nhận được:  $F(0) = 5.8$ . Đây là giá trị lực điều khiển đầu tiên trong chu kỳ điều khiển đầu tiên. Các giá trị mới của trạng thái độ cao, tốc độ và lực điều khiển trong chu kỳ tiếp theo được tính như sau:

*Chu kỳ điều khiển 2:*

$$h(1) = h(0) + v(0) = 1000 + (-20) = 980ft$$

$$v(1) = v(0) + f(0) = -20 + 5.8 = -14.2ft/s$$

Tương tự cách tính toán ở trên, độ cao  $h(1)$  (xem Hình 1), kích hoạt tập mờ  $L$  tại 0.96 và  $M$  tại 0.64 (Hình 1); tốc độ  $v(1)$  (xem Hình 2) kích hoạt tập mờ  $DS$  tại 0.58 và  $DL$  tại 0.42 (Hình 2); tốc độ  $v(1)$  (xem Hình 2). Mô hình suy luận tổng hợp trên cơ sở bảng FAM như sau :

Độ cao		Tốc độ		Lực điều khiển
$L(0.96)$	AND	$DS(0.58)$	$\Rightarrow$	$DS(0.58)$
$L(0.96)$	AND	$DL(0.42)$	$\Rightarrow$	$Z(0.42)$
$M(0.64)$	AND	$DS(0.58)$	$\Rightarrow$	$Z(0.58)$
$M(0.64)$	AND	$DL(0.42)$	$\Rightarrow$	$US(0.42)$

Khử mờ nhận được  $f(1) = -0.5lbs$ .

*Chu kỳ điều khiển 3:*

$$h(2) = h(1) + v(1) = 980 + (-14.2) = 965.8ft$$

$$v(2) = v(1) + f(1) = -14.2 + (-0.5) = -14.7ft/s$$

Độ cao  $h(2)$  kích hoạt tập mờ  $L$  tại 0.93 và tập mờ  $M$  tại 0.67. Tốc độ  $v(2)$  kích hoạt tập mờ  $DL$  tại 0.43 và tập mờ  $DS$  tại 0.57. Mô hình suy luận trên cơ sở bảng FAM như sau:

Độ cao		Tốc độ		Lực điều khiển
$L(0.93)$	AND	$DL(0.43)$	$\Rightarrow$	$Z(0.43)$
$L(0.93)$	AND	$DS(0.57)$	$\Rightarrow$	$DS(0.57)$
$M(0.67)$	AND	$DL(0.43)$	$\Rightarrow$	$US(0.43)$
$M(0.67)$	AND	$DS(0.57)$	$\Rightarrow$	$Z(0.57)$

Khử mờ nhận được  $f(2) = -0.4lbs$

Chu kỳ điều khiển 4:

$$h(3) = h(2) + v(2) = 965.8 + (-14.7) = 951.1ft$$

$$v(3) = v(2) + f(2) = -14.7 + (-0.4) = -15.1ft/s$$

Độ cao  $h(3)$  kích hoạt tập mờ  $L$  tại 0.9 và tập mờ  $M$  tại 0.7 Tốc độ  $v(3)$  kích hoạt tập mờ  $DS$  tại 0.49 và tập mờ  $DL$  tại 0.51 Như vậy mô hình suy luận trên cơ sở bảng FAM như sau:

Độ cao		Tốc độ		Lực điều khiển
$L(0.9)$	AND	$DS(0.49)$	$\Rightarrow$	$DS(0.49)$
$L(0.9)$	AND	$DL(0.51)$	$\Rightarrow$	$Z(0.51)$
$M(0.7)$	AND	$DS(0.49)$	$\Rightarrow$	$Z(0.49)$
$M(0.7)$	AND	$DL(0.51)$	$\Rightarrow$	$US(0.51)$

Khử mờ từ các tập mờ  $DS, Z, Z, US$  theo phương pháp trọng tâm nhận được

$$f(3) = 0.3lbs.$$

### 2.3. Phương pháp điều khiển dùng đại số gia tử [4, 5, 6]

Bước 1: Chọn bộ tham số tính toán:

$$C = \{0, Small, \theta, Large, 1\}$$

$$H^- = \{Little\} = \{h_{-1}\}; q = 1$$

$$H^+ = \{Very\} = \{h_1\}; p = 1; \theta = 0.5 = \mu(h_1); (\beta = 0.5)$$

$$\mu(Very) = 0.5 = \mu(h_1); (\beta = 0.5)$$

$$\mu(Little) = 0.5 = \mu(h_{-1}); (\alpha = 0.5)$$

Như vậy:

$$fm(Small) = \theta = 0.5$$

$$fm(Large) = 1 - fm(Small) = 1 - 0.5 = 0.5$$

**Bước 2:** Tính toán các giá trị ngữ nghĩa định lượng chung cho 3 biến  $h, v$  và  $f$

$$\nu(Small) = \theta - \alpha fm(Small) = 0.25 \tag{1}$$

$$\begin{aligned} \nu(VerySmall) &= \nu(Small) + Sign(VerySmall) \\ &\times \left\{ \sum_{i=1}^l fm(h_i Small) - 0.5 fm(h_1 Small) \right\} = 0.125 \end{aligned} \tag{2}$$

$$\begin{aligned} \nu(LittleSmall) &= \nu(Small) + Sign(LittleSmall) \\ &\times \left\{ \sum_{i=-1}^{-1} fm(h_i Small) - 0.5 fm(h_{-1} Small) \right\} = 0.375. \end{aligned} \tag{3}$$

$$\nu(Large) = \theta + \alpha fm(Large) = 0.75 \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \nu(VeryLarge) &= \nu(Large) + Sign(VeryLarge) \\ &\times \left\{ \sum_{i=1}^l fm(h_i Large) - 0.5 fm(h_1 Large) \right\} = 0.8725. \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \nu(LittleLarge) &= \nu(Large) + Sign(LittleLarge) \\ &\times \left\{ \sum_{i=-1}^{-l} fm(h_i Large) - 0.5 fm(h_{-1} Large) \right\} = 0.625. \end{aligned} \quad (6)$$

$$\begin{aligned} \nu(VeryVerySmall) &= \nu(VerySmall) + Sign(VeryVerySmall) \\ &\times \left\{ \sum_{i=1}^l fm(h_i VerySmall) - 0.5 fm(h_1 VerySmall) \right\} = 0.0625. \end{aligned} \quad (7)$$

Xây dựng các gia từ tương ứng với các tập mờ như sau:  
Đối với độ cao (0 - 1000):

$$\begin{aligned} NZ &\Rightarrow Very\ Very\ Small \\ S &\Rightarrow Small \\ M &\Rightarrow Medium \\ L &\Rightarrow Little\ Large \end{aligned}$$

Đối với tốc độ (-30 - 30):

$$\begin{aligned} DL &\Rightarrow Very\ Small \\ DS &\Rightarrow Little\ Small \\ Z &\Rightarrow Medium \\ US &\Rightarrow Large \\ UL &\Rightarrow Very\ Large \end{aligned}$$

Đối với điều khiển (-30 - 30):

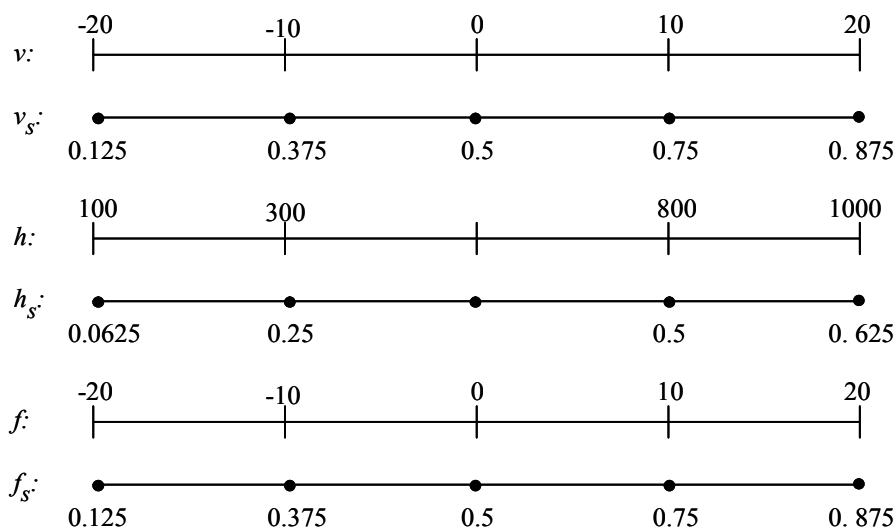
$$\begin{aligned} DL &\Rightarrow Very\ Small \\ DS &\Rightarrow Little\ Small \\ Z &\Rightarrow Medium \\ US &\Rightarrow Large \\ UL &\Rightarrow Very\ Large \end{aligned}$$

*Bước 3:* Chuyển bảng FAM sang bảng SAM (Simanticization Associate Memory) trên cơ sở các kết quả tính toán và các chuyển đổi tại bước 2.

Bảng 5. Bảng SAM

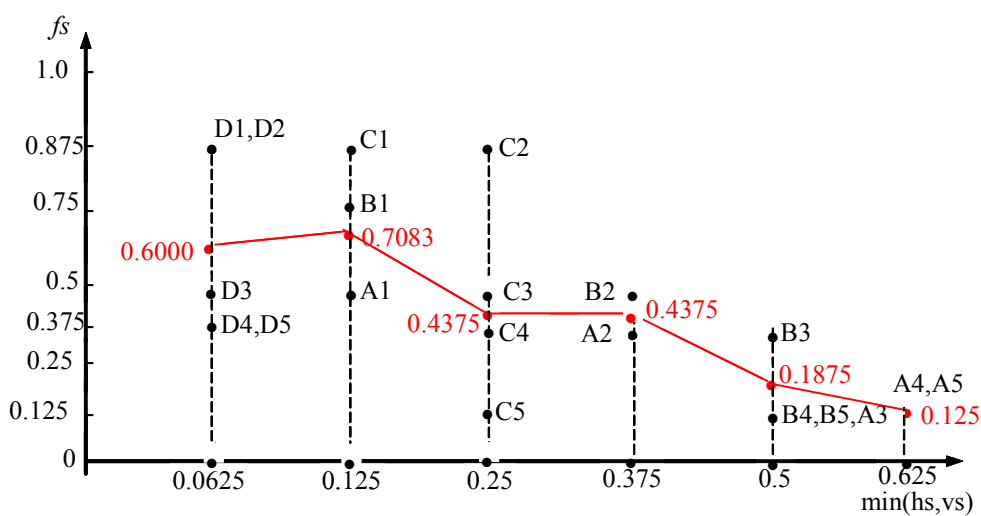
$h \setminus v$	0.125	0.375	0.5	0.75	0.875
0.625	0.5 (A1)	0.375 (A2)	0.125 (A3)	0.125 (A4)	0.125 (A5)
0.5	0.75 (B1)	0.5 (B2)	0.375 (B3)	0.125 (B4)	0.125 (B5)
0.25	0.875 (C1)	0.75 (C2)	0.5 (C3)	0.375 (C4)	0.125 (C5)
0.0625	0.875 (D1)	0.875 (D2)	0.5 (D3)	0.375 (D4)	0.375 (D5)

Bước 4: Xây dựng khoảng xác định các gia tử



Hình 4. Khoảng xác định các gia tử

Bước 5: Xây dựng đường cong ngữ nghĩa định lượng với phép AND = MIN trên cơ sở nguyên lý luận điểm trung bình.



Hình 5. Đồ thị đường cong ngữ nghĩa định lượng

Bảng 6. Tọa độ các luật điểm trên đường cong ngữ nghĩa định lượng

	Hoành độ : $\min(h_s; v_s)$	Tung độ $f_s$
A1	$\min(0.625; 0.125) = 0.125$	0.5
A2	$\min(0.625; 0.375) = 0.375$	0.375
A3	$\min(0.625; 0.5) = 0.5$	0.125
A4	$\min(0.625; 0.75) = 0.625$	0.125
A5	$\min(0.625; 0.875) = 0.625$	0.125
B1	$\min(0.5; 0.125) = 0.125$	0.75
B2	$\min(0.5; 0.375) = 0.375$	0.5
B3	$\min(0.5; 0.5) = 0.5$	0.375
B4	$\min(0.5; 0.75) = 0.5$	0.125
B5	$\min(0.5; 0.875) = 0.5$	0.125
C1	$\min(0.25; 0.125) = 0.125$	0.875
C2	$\min(0.25; 0.375) = 0.25$	0.75
C3	$\min(0.25; 0.5) = 0.25$	0.5
C4	$\min(0.25; 0.75) = 0.25$	0.375
C5	$\min(0.25; 0.875) = 0.25$	0.125
D1	$\min(0.0625; 0.125) = 0.0625$	0.875
D2	$\min(0.0625; 0.375) = 0.0625$	0.875
D3	$\min(0.0625; 0.5) = 0.0625$	0.5
D4	$\min(0.0625; 0.75) = 0.0625$	0.375
D5	$\min(0.0625; 0.875) = 0.0625$	0.375

*Nguyên tắc luật-điểm trung bình:* Nếu các luật-điểm có cùng hoành độ nhưng tung độ khác nhau, thì đường cong ngữ nghĩa định lượng đi qua luật-điểm trung bình có tung độ là trung bình các tung độ của các luật-điểm cùng hoành độ. Đường cong ngữ nghĩa định lượng trong bài toán điều khiển trên hình 5 là đường cong tuyến tính từng khúc đi qua các luật-điểm trung bình.

*Bước 6:* Trên cơ sở bước 3, bước 4, bước 5, các chu kỳ điều khiển được tính toán như sau:

$$h(0) = 1000 \Rightarrow h_s(0) = 0.625$$

$$v(0) = -20 \Rightarrow v_s(0) = 0.125$$

Chu kỳ điều khiển 1:

$$\min(h_s(0); v_s(0)) = 0.125$$

Vậy:

$$f_s(0) = 0.5 \Rightarrow f(0) = 0$$

Chu kỳ điều khiển 2:

$$h(1) = h(0) + v(0) = 1000 + (-20) = 980 \Rightarrow h_s(1) = 0.6125$$



$$v(1) = v(0) + f(0) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(1) = 0.125$$

$$\min(h_s(1); v_s(1)) = 0.125$$

$$f_s(1) = 0.5 \Rightarrow f(1) = 0$$

Chu kỳ điều khiển 3:

$$h(2) = h(1) + v(1) = 980 + (-20) = 960 \Rightarrow h_s(2) = 0.6$$

$$v(2) = v(1) + f(1) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(2) = 0.125$$

$$\min(h_s(2); v_s(2)) = 0.125$$

$$f_s(2) = 0.5 \Rightarrow f(2) = 0$$

Chu kỳ điều khiển 4:

$$h(3) = h(2) + v(2) = 960 + (-20) = 940 \Rightarrow h_s(3) = 0.585$$

$$v(3) = v(2) + f(2) = (-20) + 0 = -20 \Rightarrow v_s(3) = 0.125$$

$$\min(h_s(3); v_s(3)) = 0.125$$

$$f_s(3) = 0.5 \Rightarrow f(3) = 0$$

### 3. TỔNG HỢP CÁC KẾT QUẢ

Các kết quả điều khiển máy bay hạ cánh sử dụng lý thuyết mờ và lý thuyết đại số gia tử được tổng hợp trong bảng 7 sau đây:

Bảng 7. So sánh phương pháp điều khiển [7] và phương pháp đại số gia tử khi AND=MIN

Chu kỳ	Độ cao $h$		Tốc độ $v$		Lực điều khiển $f$	
	Điều khiển mờ	Điều khiển dùng ĐSGT	Điều khiển mờ	Điều khiển dùng ĐSGT	Điều khiển mờ	Điều khiển dùng ĐSGT
1	1000	1000	-20	-20	5.8	0
2	980	980	-14.2	-20	0.5	0
3	965.8	960	-14.7	-20	-0.4	0
4	951.1	940	-15.1	-20	0.3	0

Quy đạo tối ưu cho mô hình máy bay hạ cánh có dạng sau:

$$v = -(20/(1000)^2)h^2 \tag{3}$$

Sai số về tốc độ hạ cánh qua 4 chu kỳ điều khiển của 2 phương pháp trên như sau:

$$e_F = \sum_{i=1}^4 (\nu_{i0}(F) - \nu_i(F))^2)^{1/2} = 7.15 \tag{4}$$

$$e_{HAMIN} = \sum_{i=1}^4 (\nu_{i0}(HA) - \nu_i(HAMIN))^2)^{1/2} = 3.08 \tag{5}$$

trong đó:

$e_F$  là tổng sai số về tốc độ hạ cánh của phương pháp điều khiển mờ [7].

$e_{HAMIN}$  là tổng sai số về tốc độ hạ cánh của phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử trên hp AND=MIN.

$\nu_{i0}(F)$  là tốc độ hạ cánh tối ưu tại chu kỳ  $i$  với  $h(i)$  của phương pháp điều khiển mờ

$\nu_{i0}(HAMIN)$  là tốc độ hạ cánh tối ưu tại chu kỳ  $i$  với  $h(i)$  của phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử trường hợp AND=MIN.

$\nu_i(F)$  là tốc độ hạ cánh tại chu kỳ  $i$  với  $h(i)$  của phương pháp điều khiển mờ.

$\nu_i(HAMIN)$  là tốc độ hạ cánh tại chu kỳ  $i$  với  $h(i)$  của phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử trường hợp AND=MIN.

Từ (4), (5) thấy rằng  $e_F > e_{HAMIN}$ .

Như vậy tổng sai số về tốc độ hạ cánh dùng phương pháp đại số gia tử khi AND=MIN nhỏ hơn nhiều so với tổng sai số về tốc độ hạ cánh của phương pháp điều khiển mờ [7].

Qua bốn chu kỳ điều khiển thấy rằng phương pháp điều khiển mô hình máy bay hạ cánh dùng đại số gia tử khi AND=MIN đảm bảo quan hệ giữa tốc độ và độ cao có tính gần parabol (xu hướng tối ưu), tốt hơn so với phương pháp dùng lý thuyết mờ trong [7].

#### 4. KẾT LUẬN

Mô hình điều khiển máy bay hạ cánh là mô hình thể hiện rõ tính thông minh của quá trình điều khiển. Phương pháp điều khiển mờ đang dùng trong [7] đảm bảo được phần nào tính mềm dẻo của quá trình điều khiển. Tuy nhiên phương pháp điều khiển sử dụng đại số gia tử đã chứng tỏ đảm bảo tốt hơn quan hệ có tính parabol (quỹ đạo hạ cánh tối ưu) giữa tốc độ hạ cánh và độ cao.

#### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] 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.
- [2] N.C. Ho, W. Wechler, Extended Hedge algebras and their application to fuzzy logic, *Fuzzy Set and Systems* **52** (1992) 259–281.
- [3] 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.
- [4] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phú, Điều khiển trong điều kiện bất định trên cơ sở logic mờ và khả năng sử dụng đại số gia tử trong các luật điều khiển, *Tạp chí Tin học và Điều khiển học* **18**(3) (2002) 211–221.
- [5] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phú, Application of Hedge Algebras to fuzzy control problems, *Proceedings of The Sixth Vietnam Conference on Automation (VICA 6)*, Ha Noi, April, 12-14, 2005 (324–329).
- [6] Vũ Như Lân, Vũ Chấn Hưng, Đặng Thành Phú, Application of Hedge Algebras to fuzzy control problems, *Advances in Natural Science* **6** (3) (2005) 1–16.
- [7] T.J. Ross, *Fuzzy logic with Engineering Applications*, McGraw-Hill, Inc.1997.

Nhận bài ngày 21 - 10 - 2005