

Ứng dụng logic mờ cho điều khiển cân bằng sàn công tác của đài ra đa 3D

An application of fuzzy logic for balancing a 3D radar workstation

Phạm Quốc Hoàng, Đỗ Tiến Lập, Vương Tiến Trung, Nguyễn Tài Hoài Thanh,
Mai Ngọc Anh, Phan Anh Tuấn
Học viện Kỹ thuật quân sự
Email: maingocanh.atc@mta.edu.vn

Abstract

The paper presents the research results of a working platform balance solution for a 3D radar station. The working platform of the 3D radar is mounted on 4 legs capable of changing altitude based on the screw mechanism driven by 4 independent servo motors. The 4-foot balancing control system uses floor inclination signals to calculate the motor control currents through fuzzy control rules built through experiments. The stability of the control algorithm is assessed over the settling time of the system.

Keywords

Workstation, 3D radar, balancing, fuzzy logic, fuzzy control

Tóm tắt¹

Bài báo trình một giải pháp cân bằng sàn công tác cho đài ra đa 3D. Sàn công tác của đài ra đa được đặt trên 4 chân có khả năng thay đổi độ cao nhờ cơ cấu vít me, dẫn động bằng 4 động cơ servo độc lập. Hệ thống điều khiển cân bằng 4 chân sử dụng các tín hiệu góc nghiêng của sàn để tính toán dòng điều khiển động cơ trên từng chân thông qua các luật điều khiển mờ được xây dựng dựa trên các thử nghiệm tại thực địa. Tính ổn định của thuật toán điều khiển được đánh giá qua thời gian cân bằng của hệ thống.

Ký hiệu

Ký hiệu	Đơn vị	Ý nghĩa
T		Ma trận biến đổi thuận nhất
l, d	m	Chiều dài
θ, α, φ	rad	Góc quay
x, y, z	m	Tọa độ

Chữ viết tắt

TTCN	Trung tâm Công nghệ
HVKTQS	Học viện Kỹ thuật Quân sự

1. Giới thiệu

Để tăng tính cơ động, có thể tác chiến ở nhiều vị trí khác nhau, các đài ra đa cỡ lớn thường được tích hợp lên các xe ô tô quân sự. Vấn đề đặt ra là cần phải cân bằng sàn công tác cho các đài tại vị trí triển khai trận địa. Có nhiều giải pháp đã được đưa ra nhằm nâng cao độ chính xác và rút ngắn thời gian triển khai, thu hồi hệ thống.

Một đài ra đa thông thường gồm hệ thống an ten và buồng điều khiển. Khi di động chúng được gắn lên

cùng một xe và khi triển khai chúng có thể ở cùng hoặc tách nhau ra.

Đài ra đa 55ж6-1 Hebo gắn trực tiếp hệ thống sàn công tác của ra đa trên một xe đặc chủng có 2 chân thủy lực kích thước lớn gập dọc thân xe và 2 chân cố định ở đuôi xe để bảo đảm sự cân bằng cho hệ thống xe-ra đa khi triển khai [1]. Nhược điểm của hệ thống này là công kênh vì không tách rời khỏi xe. Nói cách khác, công suất tổn hao rất lớn cho việc nâng toàn bộ thân xe đặc chủng tải trọng lớn lên khỏi bề mặt đất. Ngoài ra, giải pháp làm việc cạnh hệ thống an ten không đảm bảo an toàn cho trắc thủ.

Đài ra đa NNIIRT 1L13 sử dụng một rơ moóc chở hệ thống an ten và buồng điều khiển [2]. Sau khi hạ 4 chân vít me, phần ô tô kéo sẽ được tháo rời khỏi phần rơ moóc. Giải pháp dùng rơ moóc cho phép hệ thống cân bằng tốt, trọng lượng nhẹ, tuy nhiên kích thước công kênh làm giảm tính cơ động của xe. Bên cạnh đó, để triển khai được toàn bộ hệ thống trong 20 phút, đài ra đa này cần tới 4 người vận hành.

Với điều kiện địa hình Việt nam, để đảm bảo tính cơ động cho xe, đồng thời đảm bảo an toàn khi làm việc cho trắc thủ khi đối phương tấn công ...giải pháp được đưa ra là cần tích hợp hệ thống an ten và buồng điều khiển lên cùng một ô tô quân sự, khi làm việc hệ thống an ten được cân bằng trên một sàn công tác độc lập, buồng điều khiển cùng với ô tô sẽ di chuyển ra xa. Để đảm bảo được thời gian triển khai, thu hồi theo yêu cầu tác chiến, cần giảm thời gian và tăng độ chính xác khi cân bằng sàn công tác, đây chính là *mục tiêu cơ bản của nghiên cứu này*.

Điều khiển logic mờ là một lĩnh vực điều khiển thông minh có ưu thế khi giải quyết các bài toán điều khiển phi tuyến, đặc biệt là các hệ thống khó mô tả về mặt toán học. Điều khiển logic mờ sử dụng cách tiếp cận heuristic để kiểm soát quan hệ vào ra thay vì yêu cầu các phương trình toán học phức tạp để mô tả hành vi từng khâu trong hệ thống [3]. Nhiều nghiên cứu ứng dụng logic mờ cho điều khiển cân bằng đã được thực hiện như cân bằng trên xe nhỏ 4 bánh [4], cân

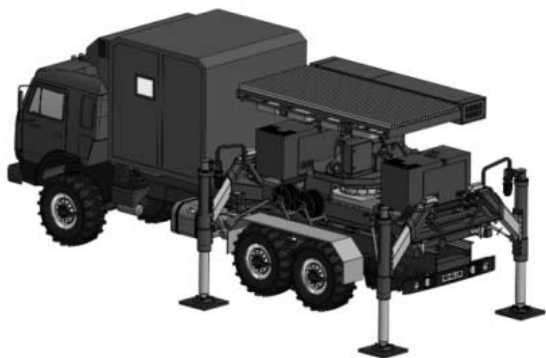
¹ Phiên bản nâng cao của báo cáo mã số 95, tham dự "Hội nghị - Triển lãm quốc tế lần thứ 5 về Điều khiển và Tự động hóa VCCA-2019" diễn ra tại Hà Nội trong 2 ngày 06-07/09/2019; *Phản biện*: Lê Tiến Dũng, Phạm Đình Tùng, Nguyễn Phùng Quang.

bằng trên xe có 1 bánh [5], cân bằng mặt phẳng bay UAV [6], cân bằng độ cao cho UAV trong điều kiện nhiễu động gió [7]. Trong các nghiên cứu này, các bộ điều khiển logic mờ thường phát huy hiệu quả cao hơn khi độ phi tuyến càng phức tạp và thời gian đáp ứng không yêu cầu khắt khe. Chính vì vậy, nhóm nghiên cứu đã lựa chọn logic mờ để xây dựng các luật điều khiển trong nghiên cứu.

Phần tiếp theo, bài báo giới thiệu một giải pháp cân bằng cho sản công tác dựa trên các luật điều khiển logic mờ. Đầu vào cho các bộ điều khiển mờ là các tín hiệu cảm biến đo lường góc nghiêng nhận biết trạng thái cân bằng của sản công tác so với bề mặt trái đất. Bộ điều khiển mờ sẽ điều chỉnh chiều cao 4 chân chống để đảm bảo sản công tác được cân bằng và ổn định chắc chắn khi làm việc.

2. Mục tiêu thiết kế

Kết cấu cơ khí của sản công tác của đài ra đa được gắn trên xe cơ động được thể hiện trên Hình 1. Trong đó, 4 chân chống dẫn động vít me - đai ốc, gắn với sản công tác được thiết kế phải đáp ứng các yêu cầu làm việc, như: *chịu tải trọng lớn, đủ hành trình để cân bằng, ổn định và vững chắc.*



H. 1 Sản công tác gắn với xe

Để đảm bảo tính cơ động, hệ thống an ten được thiết kế có kết cấu phù hợp cho việc thu hồi nhanh và phù hợp với kích thước của xe ô tô. Sau khi triển khai, sản công tác phải tách rời khỏi xe ô tô và có thể cân bằng trên các bề mặt không phẳng như trên Hình 2.



H. 2 Sản công tác tách rời khỏi ô tô

Trọng lượng của đài ra đa thường khá lớn, thời gian làm việc ở một trận địa có thể kéo dài do đó các chân chống không sử dụng hệ thống thủy lực mà sử dụng vít me - đai ốc để tăng tính vững chắc và độ tin cậy cho hệ thống.

Để kiểm soát sự cân bằng, nhóm nghiên cứu lựa chọn giải pháp chia giai đoạn điều chỉnh là hạ chân (GD1) và cân bằng (GD2).

Sản công tác được gắn với thân xe ô tô bằng các khóa cơ khí, do đó trước khi thực hiện GD1, cần mở các khóa này. GD1 bắt đầu với việc điều khiển 4 vít me chuyển động đồng thời hoặc độc lập chống xuống đất. Quá trình này kết thúc khi các chân tìm thấy điểm chạm đất, tức là các chân tiếp xúc chắc chắn với mặt đất. Sau đó được nâng lên một khoảng an toàn đảm bảo cho xe ô tô rời khỏi sản công tác, tiếp tục cân bằng sản, quá trình cân bằng kết thúc khi các tín hiệu góc nghiêng phản hồi nằm trong giới hạn cho phép (kết thúc GD2). Lúc này, độ cao xác lập cho 4 chân là $\{l_1, l_2, l_3, l_4\}$.

Trong giai đoạn cân bằng GD2, các trục vít me được điều khiển đồng thời với nhau. Sự cân bằng của sản công tác được đo lường bởi các cảm biến góc nghiêng. Trong giai đoạn này, tín hiệu góc nghiêng được sử dụng để điều khiển động cơ servo quay vít me giúp cân bằng sản công tác dựa trên các luật điều khiển mờ.

3. Điều khiển trong giai đoạn GD1

Để đáp ứng đặc tính gọn nhẹ và thu hồi/triển khai nhanh, nhóm nghiên cứu lựa chọn kết cấu động học 3 khớp TTR (2 tịnh tiến và 1 khớp quay) như thể hiện trên Hình 3.

Trong giai đoạn GD1, sản công tác vẫn được đặt cố định trên ô tô, vì vậy gốc tọa độ $\{X_0Y_0Z_0\}$ được chọn là một điểm thuộc sản công tác. Dựa vào cấu trúc động học và các tham số kích thước cho trước, chúng ta có thể xây dựng bảng tham số Denavit-Hartenberg (D-H) [8] như trong bảng B. 1:

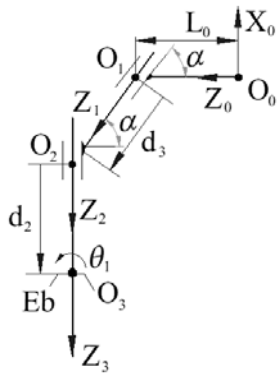
B.1 Các thông số D-H trong GD1

Khớp	θ_i	d_i	a_i	α_i
0	0	L_0	0	A
1	0	d_3^*	0	0
2	0	d_2^*	0	$\pi/2-\alpha$
3	θ_1^*	0	0	0

Dấu * thể hiện tham số thay đổi (biến số)

Trong đó:

- θ_i là góc quay quanh trục $Z_{(i-1)}$ để xoay trục $X_{(i-1)}$ đến trục $X_{(i)}$;
- α_i là góc quay quanh trục $X_{(i)}$ để trục $Z_{(i-1)}$ quay đến trục $Z_{(i)}$;
- d_i là khoảng cách tịnh tiến dọc trục $Z_{(i-1)}$ để di chuyển trục $X_{(i-1)}$ đến trục $X_{(i)}$;
- a_i là khoảng cách tịnh tiến dọc trục $X_{(i)}$ để di chuyển trục $Z_{(i-1)}$ đến trục $Z_{(i)}$.



H.3 Các hệ tọa độ trong GD1

Dựa vào bảng thông số D-H, ma trận chuyển đổi thuần nhất được xây dựng như sau:

$$T_{01} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha & 0 \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & L_0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$T_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (2)$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \sin \alpha & -\cos \alpha & -d_2 \cos \alpha \\ 0 & \cos \alpha & \sin \alpha & -d_2 \sin \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (3)$$

$$T_{3Eb} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (4)$$

Trong đó:

- $T_{01}, T_{12}, T_{23}, T_{3Eb}$ là các ma trận biến đổi thuần nhất giữa các hệ tọa độ lân cận theo thứ tự như sau: từ hệ tọa độ $\{X_0Y_0Z_0\}$ sang $\{X_1Y_1Z_1\}$, từ $\{X_1Y_1Z_1\}$ sang $\{X_2Y_2Z_2\}$, và từ $\{X_2Y_2Z_2\}$ sang $\{X_3Y_3Z_3\}$, và từ $\{X_3Y_3Z_3\}$ sang $\{X_{Eb}Y_{Eb}Z_{Eb}\}$;
- L_0 là khoảng cách giữa khớp đầu tiên đến tâm của sản công tác được chiếu lên một cạnh;
- d_3 và d_2 là khoảng tịnh tiến tại khớp 1 và khớp 2;
- θ_1 là góc quay của chân đế Eb tại khớp 3;
- α là góc nghiêng của khâu 1 so với mặt ngang.

Từ các biểu thức (1), (2), (3), (4) ta có thể tính ma trận thuần nhất từ hệ tọa độ gốc đến chân đế Eb:

$$T_{0Eb} = T_{01} T_{12} T_{23} T_{3Eb} \quad (5)$$

$$T_{0Eb} = \begin{bmatrix} R_{0Eb} & P_{0Eb} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (6)$$

trong đó R_{0Eb} là ma trận quay và P_{0Eb} là véc tơ vị trí của chân đế Eb:

$$R_{0Eb} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 \end{bmatrix} \quad (7)$$

$$P_{0Eb} = \begin{bmatrix} -d_2 - d_3 \sin \alpha \\ 0 \\ L_0 + d_3 \cos \alpha \end{bmatrix} \quad (8)$$

Nói cách khác, tọa độ vị trí của chân đế Eb là:

$$\begin{cases} x_{Eb} = -d_2 - d_3 \sin \alpha \\ y_{Eb} = 0 \\ z_{Eb} = L_0 + d_3 \cos \alpha \end{cases} \quad (9)$$

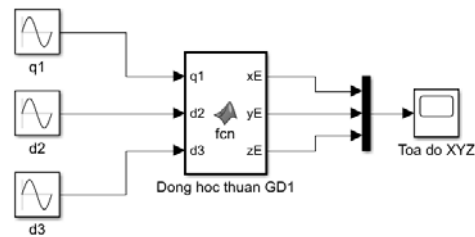
Mô hình mô phỏng được thực hiện trong môi trường Matlab/Simulink dùng để tính toán động học trong giai đoạn GD1 được thể hiện như trên hình H. 4.

Giá sử thông số đầu vào hệ thống mô phỏng là:

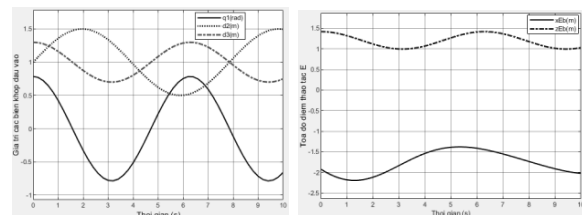
$$L_0 = 0.5(m); \alpha = 45^\circ; q_1 = \theta_1 = \frac{\pi}{4} \cos t(\text{rad})$$

$$d_2 = (1 + 0.5 \sin t)(m); d_3 = (1 + 0.3 \cos t)(m)$$

các dạng tín hiệu được thể hiện như trên hình H. 5 cho thấy đáp ứng động học của chân đế thay đổi theo các giá trị của 3 khớp đầu vào.



H.4 Mô phỏng tính toán động học trong GD1

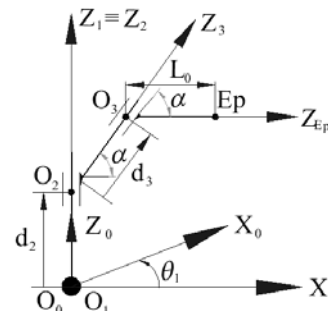


H.5 Đầu vào θ_1, d_2 và d_3 (trái); đầu ra x_{Eb} và z_{Eb} (phải)

Về cơ bản, trong giai đoạn GD1, các servo điều khiển vít me thay đổi các tọa độ x_{Eb} và z_{Eb} cho đến khi chân đế Eb tiếp xúc chắc chắn với mặt đất. Sau đó, hệ thống sẽ chuyển sang giai đoạn GD2.

4. Điều khiển trong giai đoạn GD2

Trong giai đoạn GD2, sản công tác đã tách rời khỏi xe ô tô và chân đế được giữ cố định trên mặt đất, vì vậy góc tọa độ $\{X_0Y_0Z_0\}$ được chọn là một điểm thuộc chân đế như trên Hình 6.



H.6 Các hệ tọa độ trong GD2

Do gốc tọa độ đặt ở chân đế nên ta có bảng tham số D-H mới như thể hiện trong bảng B. 2.

B.2 Các thông số D-H trong GD2

Khớp	θ_i	d_i	a_i	α_i
0	θ_1^*	0	0	0
1	0	d_2^*	0	$\pi/2 - \alpha$
2	0	d_3^*	0	0
3	0	L_0	0	α

Dựa vào bảng thông số D-H này có thể tính các ma trận chuyển đổi thuần nhất giữa các hệ tọa độ tuần tự liên tiếp như sau:

$$T_{01} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & -\sin \theta_1 & 0 & 0 \\ \sin \theta_1 & \cos \theta_1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (10)$$

$$T_{12} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & 0 \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & d_2 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (11)$$

$$T_{23} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (12)$$

$$T_{3Ep} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos \alpha & -\sin \alpha & -L_0 \sin \alpha \\ 0 & \sin \alpha & \cos \alpha & L_0 \cos \alpha \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (13)$$

$$T_{0Ep} = T_{01} T_{12} T_{23} T_{3Ep} = \begin{bmatrix} R_{0Ep} & P_{0Ep} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \quad (14)$$

$$R_{0Ep} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & 0 & \sin \theta_1 \\ \sin \theta_1 & 0 & -\cos \theta_1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad (15)$$

$$P_{0Ep} = \begin{bmatrix} (d_3 \cos \alpha + L_0) \sin \theta_1 \\ -(d_3 \cos \alpha + L_0) \cos \theta_1 \\ d_2 + d_3 \sin \alpha \end{bmatrix} \quad (16)$$

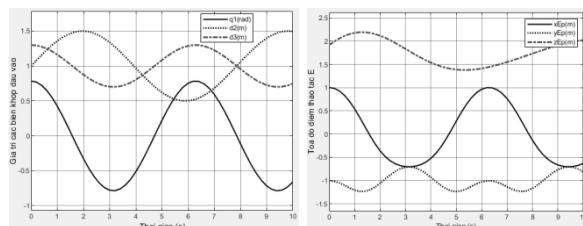
Như vậy, tọa độ vị trí của sản công tác Ep là:

$$\begin{cases} x_{Ep} = (d_3 \cos \alpha + L_0) \sin \theta_1 \\ y_{Ep} = -(d_3 \cos \alpha + L_0) \cos \theta_1 \\ z_{Ep} = d_2 + d_3 \sin \alpha \end{cases} \quad (17)$$

Giả sử thông số đầu vào hệ thống mô phỏng là:

$$L_0 = 0.5(m); \alpha = 45^\circ; q_1 = \theta_1 = \frac{\pi}{4} \cos t(rad)$$

$$d_2 = (1 + 0.5 \sin t)(m); d_3 = (1 + 0.3 \cos t)(m)$$

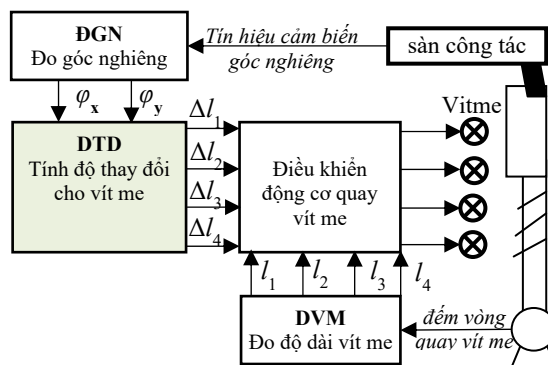


H. 7 Đầu vào θ_1, d_2, d_3 (trái); đầu ra x_{Ep}, y_{Ep}, z_{Ep} (phải)

Các dạng tín hiệu được thể hiện như trên Hình 7 cho thấy đáp ứng động học của chân đế thay đổi theo các giá trị của 3 khớp đầu vào.

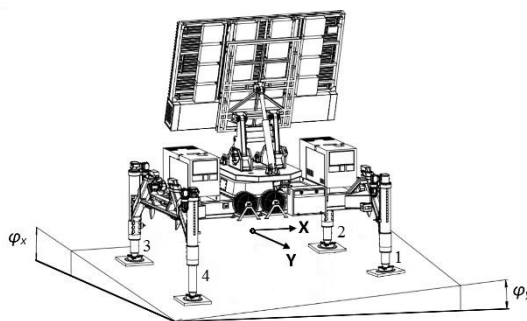
Có thể thấy, quan hệ giữa các góc cân bằng của sản công tác Ep và độ dài của các trục vít me có dạng phi tuyến phức tạp. Ngoài ra, tốc độ điều khiển cân bằng không cần yêu cầu quá cao, vì vậy một giải pháp điều khiển sử dụng logic mờ được áp dụng với sơ đồ nguyên lý được thể hiện trên Hình 8.

Trong đó, mô đun ĐGN dùng để đo góc nghiêng của sản công tác có đầu vào là tín hiệu cảm biến góc nghiêng gắn trên sản công tác và đầu ra là các góc nghiêng của sản công tác; Mô đun DVM dùng để đo độ dài 4 trục vít me $l_i, i=1..4$; Mô đun DTD tính độ dài thay đổi của từng vít me trên mỗi chân trụ.

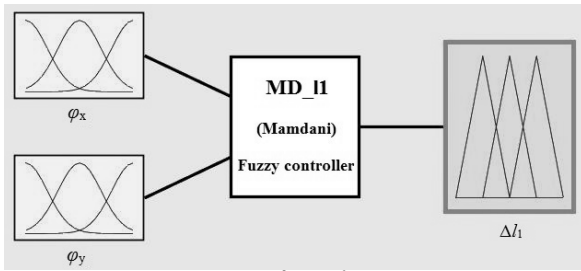


H. 8 Sơ đồ nguyên lý điều khiển cân bằng

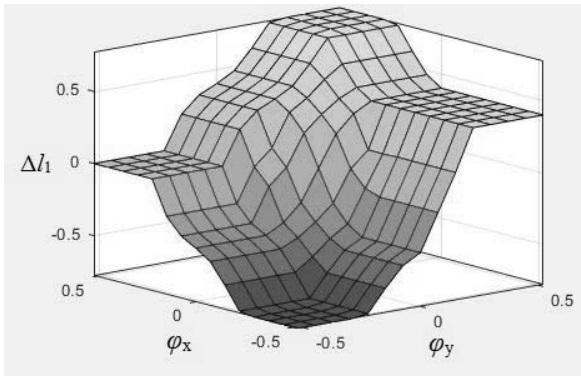
Trong nghiên cứu này, tín hiệu góc nghiêng được xét bao gồm φ_y và φ_x tương ứng với các góc nghiêng quanh trục Y (đọc thân xe) và trục X (ngang thân xe) như thể hiện trên Hình 9. Việc đánh số thứ tự các chân được xác định như sau: Nhìn theo trục Y, chân số 1 và 2 nằm bên trái còn chân số 3 và 4 nằm bên phải; Nhìn theo trục X, chân số 2 và 3 nằm bên trái còn chân số 1 và 4 nằm bên phải.



H. 9 Góc nghiêng φ_x và φ_y theo trục X và Y



H. 10 Mô đun tính dòng điều khiển Δl_1 theo φ_x và φ_y

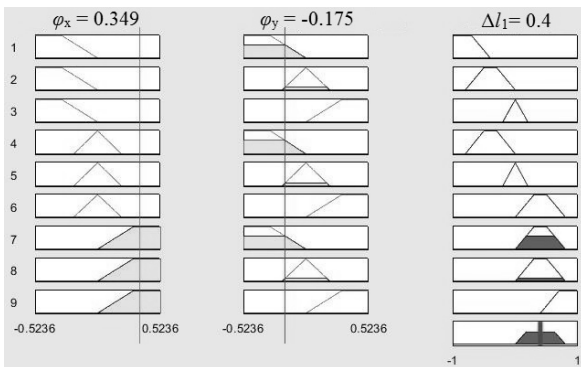


H. 11 Quan hệ phi tuyến $\Delta l_1=f(\varphi_x, \varphi_y)$

Mô đun DTD tính mức độ tăng giảm $\{\Delta l_1, \Delta l_2, \Delta l_3, \Delta l_4\}$ của 4 vít me căn cứ vào các giá trị góc nghiêng giữa φ_x và φ_y . Mô đun DTD gồm 4 mô đun con: MD_11, MD_12, MD_13 và MD_14.

Cấu trúc của mô đun MD_11 được thể hiện như trên Hình 10 với 2 đầu vào (φ_x và φ_y) và 1 đầu ra Δl_1 . Quan hệ giữa giá trị Δl_1 với các đại lượng φ_x và φ_y có tính phi tuyến như thể hiện trên Hình 11.

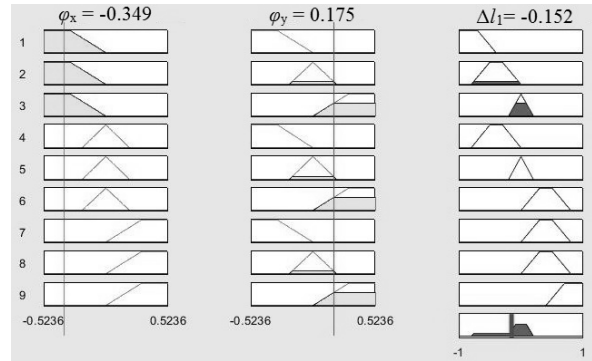
Để hiểu rõ hơn về sự tác động giữa các góc nghiêng lên dòng điều khiển vít me, chúng ta cùng xét hai tình huống ví dụ như sau: ($\varphi_x = \pi/9, \varphi_y = -\pi/18$) và ($\varphi_x = -\pi/9, \varphi_y = \pi/18$).



H. 12 Tình huống $\Delta l_1=f(\pi/9, -\pi/18)$

Với tình huống ($\varphi_x = \pi/9, \varphi_y = -\pi/18$), các luật logic mờ được thể hiện trên hình H. 12. Kết quả giải mờ cho thấy $\Delta l_1=0.4$. Nghĩa là độ dài của vít me 1 cần được nâng thêm 0.4 đơn vị.

Với tình huống ($\varphi_x = -\pi/9, \varphi_y = \pi/18$), các luật tính toán mờ được thể hiện như trên hình H. 13. Kết quả giải mờ cho thấy $\Delta l_1=-0.152$. Nghĩa là độ dài của vít me 1 cần được giảm 0.152 đơn vị.



H. 13 Tình huống $\Delta l_1=f(-\pi/9, \pi/18)$

Các luật điều khiển của các mô đun MD_12, MD_13 và MD_14 được xác định theo nguyên lý tương tự như MD_11.

Hoạt động của hệ thống cân bằng này được kiểm tra bằng các thử nghiệm trên đài ra đa thực tế đang chế tạo và được trình bày ở phần tiếp theo.

5. Chế thử và ứng dụng

5.1 Thiết kế chế tạo

Sau một thời gian nghiên cứu thử nghiệm, nhóm kỹ sư cơ khí, tự động hóa và điện tử viễn thông của đơn vị đã hoàn chỉnh thiết kế và tiến hành chế thử tại Xưởng Chế thử Cơ khí của TTCN thuộc HVKTQS như trên Hình 14. Tiếp đó, sản công tác được vận hành tại các địa hình khác nhau để thử nghiệm hiệu chuẩn các thông số kỹ thuật.



H. 14 Chế tạo sản công tác của đài ra đa

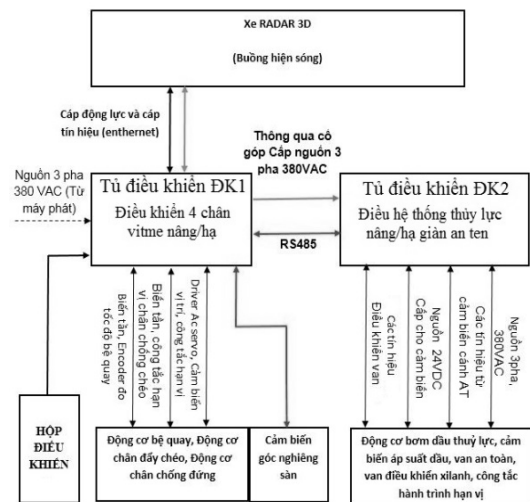
So với các đài ra đa trước đây, sản phẩm này có một số đặc điểm khác biệt đáng lưu ý như khả năng tách rời buồng điều khiển khỏi hệ thống ra đa, quá trình hạ 4 chân diễn ra đồng thời, rút ngắn thời gian triển khai, thu hồi, đáp ứng yêu cầu tác chiến.

5.2 Hệ thống điều khiển

Sơ đồ tổ chức của hệ điều khiển của đài ra đa cơ động được thể hiện như trên hình H. 15.

Hệ thống tự điều khiển được phân tách thành hai bộ phận: Tủ ĐK1 điều khiển nâng/hạ 4 chân vít me và tủ ĐK2 điều khiển nâng/hạ giàn an ten thông qua hệ thống thủy lực. Khi hoạt động, giàn an ten quay tròn liên tục quanh một bộ cơ khí gắn trên sàn công tác, vì vậy tủ ĐK1 và tủ ĐK2 kết nối thông tin với nhau thông qua bộ cô góp chuyên dụng cho phép duy trì việc cấp nguồn điện động lực và cấp tín hiệu điều khiển giữa 2 tủ thông qua chuẩn kết nối RS485.

Sau khi sản công tác của đài ra đa tách khỏi xe cơ động, toàn bộ hệ thống an ten phía trên có thể hoạt động độc lập và xe ô tô cơ động ra khu vực an toàn.



H. 15 Sơ đồ tổ chức hệ thống điều khiển

Các cảm biến đo độ nghiêng được gắn trực tiếp trên sàn công tác để cung cấp tín hiệu góc nghiêng tức thời về bộ xử lý như đã trình bày ở phần trước. Vùng giới hạn $\epsilon \{-\epsilon < \Delta I_i < \epsilon, i=1..4\}$ của góc cân bằng được xác định thông qua thử nghiệm và hiệu chuẩn.

Bộ điều khiển logic khả trình PLC S7 200 được sử dụng có độ tin cậy tốt và đáp ứng những điều kiện khắc khe của môi trường dã chiến. Toàn bộ thuật toán xử lý điều khiển cân bằng được lập trình trước trên máy tính sau đó được nạp và lưu trữ trong bộ nhớ của bộ PLC cho phép hệ thống làm việc độc lập.

5.3 Ứng dụng

Giải thuật điều khiển logic mờ được xây dựng và hiệu chỉnh thông qua các thực nghiệm tại một số đơn vị chiến đấu. Mặc dù tính ổn định của thuật toán điều khiển chưa được làm rõ về mặt lý thuyết nhưng đã được kiểm chứng trong quá trình triển khai thực tế. Chính vì vậy, sản phẩm nghiên cứu này đã được chấp nhận và đưa vào triển khai ngay để phục vụ nhiệm vụ cảnh giới ở một số đơn vị chiến đấu của quân đội.

Sơ bộ, tính ổn định của hệ thống điều khiển đã được thể hiện thông qua thời gian vận hành triển khai hệ thống đài ra đa tách rời khỏi xe gắn buồng điều khiển và cân bằng để làm việc. Khi thay đổi địa hình triển khai, thời gian cân bằng và ổn định cũng thay đổi theo. Bề mặt địa hình càng gồ ghề thì thời gian cân bằng càng lâu. Tuy nhiên, thời gian triển khai lâu nhất không quá 15 phút với sự vận hành của 2 người.

Như vậy, so với các sản phẩm của nước ngoài, nghiên cứu ứng dụng này đã cải thiện được một số đặc tính sau: Thời gian triển khai và cân bằng ngắn hơn; Số người vận hành ít hơn; Trạm ra đa được tách

hắn khỏi buồng điều khiển trên xe ô tô đem lại sự an toàn trong tác chiến và tránh sự tác động của sóng ra đa lên người vận hành; Đặc biệt, sản phẩm nghiên cứu ứng dụng này được tự thiết kế và chế tạo ở Việt Nam.

6. Kết luận

Bài báo đã trình bày một giải pháp điều khiển cân bằng cho sản công tác của một đài ra đa 3D. Giải pháp cân bằng được thực hiện dựa trên nguyên lý hiệu chỉnh theo 2 sai lệch góc nghiêng của sản công tác. Quan hệ phi tuyến giữa dòng điều khiển động cơ vít me và các sai lệch góc nghiêng được thực hiện dựa trên các luật điều khiển mờ. Thuật toán điều khiển mờ được xây dựng và hiệu chỉnh thông qua các kết quả nghiên cứu thực nghiệm.

Thông qua các thử nghiệm sản phẩm nghiên cứu đang dần được hoàn thiện với sự nỗ lực của các kỹ sư quân sự trong việc làm chủ từ thiết kế đến chế tạo, từ cơ khí sang điều khiển nhằm tạo ra một sản phẩm có khả năng phục vụ các nhiệm vụ an ninh quốc phòng.

Tài liệu tham khảo

- [1] Alexander 3 (2019) *РЛС 55Ж6 и 55Ж6У, Путь к трем координатам*. Planeta VVKURE <http://military.tomsk.ru/blog/201/244/topic/index-643.html> (updated 06/2019)
- [2] Carlo K (2012), NNIIRT 1L119 Nebo SVU / RLM-M Nebo M Assessing Russia's First Mobile VHF AESAs. Technical Report APA-TR-2008-0402
- [3] Gordon H, Valerie D (2003) *Fuzzy logic applications*. Journal Analyst, vol. 128, pp. 1304-1306, DOI: 10.1039/bb312701j
- [4] Dadios EP, Williams DJ (1996) *Multiple fuzzy logic systems: a controller for the flexible pole-cart balancing problem*. IEEE Intern. Conf. on Robotics and Automation
- [5] Ha MS, Jung S (2015) *Angle compensation by fuzzy logic for balancing a single-wheel mobile robot*. the 10th Asian Control Conference (ASCC)
- [6] Aris T, Wahyul AS, Teguh P, Budi S, Aristya PW (2015) *Design of self balancing pitch control in fixed wing unmanned aerial vehicle with fuzzy logic controller*. The 2nd Intern. Conf. on Information Technology, Computer, and Electrical Engineering (ICITACEE)
- [7] Vụ ĐC, Phong LT, Cương NĐ (2016) *Ứng dụng thuật toán điều khiển bay tự động cho UAV cỡ nhỏ trong điều kiện có nhiều động gió*. Tạp chí Khoa học và Kỹ thuật, số 175, ISSN 1859 – 0209, tr. 116-126
- [8] Khang NV, Mỹ CA (2010) *Cơ sở rô bốt công nghiệp*. Nhà xuất bản Khoa học & Kỹ thuật.