

# ỨNG DỤNG ĐIỀU KHIỂN MỜ TRONG BÀI TOÁN TRÁNH VẬT CẢN CỦA ROBOT TỰ HÀNH DÙNG CẢM BIẾN SIÊU ÂM

*Tăng Quốc Nam*

*Đào Văn Hiệp*

## TÓM TẮT

Bài báo trình bày các kết quả nghiên cứu về áp dụng điều khiển mờ để tránh vật cản cho robot tự hành dùng cảm biến siêu âm. Các đầu vào của bộ điều khiển mờ là các khoảng cách đến vật cản đo được từ các cảm biến siêu âm, đầu ra là góc lái cần thiết cho robot tránh được vật cản. Bộ điều khiển chung của robot được thực hiện theo cấu trúc phân lớp các phương thức hành động với các mức độ ưu tiên khác nhau. Các kết quả thực nghiệm cho thấy các hành động đều thực hiện tốt, robot có thể đồng thời thực hiện các nhiệm vụ vận động, tránh vật cản trên đường đi và xử lý tình huống khẩn cấp.

## ABSTRACT

This paper describes how fuzzy control can be applied to a sonar-based mobile robot. Inputs of the fuzzy controller are distances between left, right sonar and object(s); output is rotation angle to avoidance the obstacle(s). The robot controller is implemented under the behavior-based approach with an individual priority levels. The experimental results show that behavior of the robot are correct, the robot can simultaneously implements motion tasks, avoids obstacles and can react in case of emergency.

## I. GIỚI THIỆU

Một trong các chức năng cơ bản để một robot di động (mobile robot) được gọi là robot tự hành (autonomous mobile robot) là khả năng phát hiện và tránh vật cản trong quá trình vận động. Bài toán tránh vật cản cho robot tự hành đã được các nhà khoa học trên thế giới quan tâm và giải quyết trong vài thập niên gần đây. Đã có nhiều công trình nghiên cứu được công bố với hướng giải quyết tập trung vào sử dụng công cụ logic mờ [4, 5]. Trong nước, một số nghiên cứu về robot tự hành nói chung và tránh vật cản nói riêng đã được công bố trong những năm gần đây như tránh vật cản cục bộ dùng dẫn hướng thích nghi [1], tránh vật cản cho robot tự hành bám mục tiêu di động dùng logic mờ [3].

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu về xây dựng một bộ điều khiển mờ tránh vật cản và tổ hợp một bộ điều khiển vận động chung dựa trên cấu trúc phân mức phương thức hành động của robot. Mẫu robot tự hành được dùng là dạng di chuyển bằng bánh lốp, với hai bánh chủ động điều khiển độc lập. Các cảm biến siêu âm được dùng để phát hiện và đo khoảng cách từ robot đến vật cản, làm đầu vào cho các module của bộ điều khiển.

## II. THIẾT KẾ BỘ ĐIỀU KHIỂN MỜ TRÁNH VẬT CẢN

Điều khiển mờ được phát triển từ logic mờ và lý thuyết tập mờ đã được giới thiệu lần đầu từ năm 1965 bởi L. A. Zadeh thuộc Đại học California, USA [2]. Ứng dụng của điều khiển mờ có thể tìm thấy trong rất nhiều lĩnh vực kinh tế, kỹ thuật khác nhau, để phân tích dữ liệu và ra quyết định điều khiển trong trường hợp dữ liệu đầu vào không rõ ràng (mờ), có tính phức hợp và phi tính ở mức độ cao. Trong bài toán tránh vật cản cho robot tự hành, các tín hiệu đầu vào là khoảng cách từ robot đến vật cản (nếu có) ở phía bên phải và bên trái (theo

hướng di chuyển của robot) và được lấy từ các cảm biến siêu âm tương ứng trong suốt quá trình vận động của robot. Vị trí tương đối của robot so với (các) vật cản được xác định từ nhiều cảm biến, trong quá trình di chuyển, chịu ảnh hưởng phức tạp của nhiều môi trường nên không thể chính xác (có tính mờ). Đầu ra là góc mà robot cần quay đi để tránh vật cản (góc lái). Các luật cơ sở được xây dựng dựa trên nguyên lý và kinh nghiệm điều khiển phương tiện giao thông.

Một bộ điều khiển mờ cơ bản bao gồm các khâu: mờ hoá (fuzzification) thông tin đầu vào, suy diễn mờ (fuzzy inference) trên cơ sở các luật mờ cơ sở (fuzzy base rule), và giải mờ (defuzzification) để nhận được giá trị rõ của thông tin đầu ra.

## 1. Xây dựng các hàm thuộc

Ký hiệu các biến đầu vào  $s\_left$  và  $s\_right$  tương ứng với khoảng cách đến vật cản ở bên trái và bên phải, biến đầu ra  $\theta$  tương ứng với góc lái của robot.

### 1.1. Các hàm thuộc đầu vào

Các đầu vào là khoảng cách đến vật cản ở hai phía bên phải và bên trái robot và được mờ hoá bởi các hàm thuộc. Mỗi đầu vào được biểu diễn bởi các hàm thuộc dạng tam giác, xác định theo công thức:

$$\mu(s : a, b, c) = \begin{cases} 0 & s < a \\ \frac{s-a}{b-a} & a \leq s \leq b \\ \frac{c-s}{c-b} & b \leq s \leq c \\ 0 & s > c \end{cases} \quad (1)$$

Trong đó,  $s$  là biến đầu vào;  $a, b, c$  là các tham số ( $a < b < c$ ).

Các hàm thuộc được xây dựng cho mỗi đầu vào là: khoảng cách gần -  $\mu_{near}$  (tương đương 0mm), khoảng cách vừa -  $\mu_{medium}$  (tương đương 500mm) và khoảng cách xa -  $\mu_{far}$  (tương đương 1000mm).

### 1.2. Các hàm thuộc đầu ra

Hàm thuộc đầu ra cũng được biểu diễn dạng tam giác như công thức (1). Từ các thực nghiệm cho thấy 5 hàm thuộc cho đầu ra là cần thiết, bao gồm: quay phải lớn -  $\mu_{neg\_large}$  (tương đương  $+30^\circ$ ), quay phải nhỏ -  $\mu_{neg\_small}$  (tương đương  $+15^\circ$ ), không quay -  $\mu_{zero}$  (tương đương  $0^\circ$ ), quay trái nhỏ -  $\mu_{pos\_small}$  (tương đương  $-15^\circ$ ), quay trái lớn -  $\mu_{pos\_large}$  (tương đương  $-30^\circ$ ).

## 2. Thiết lập các qui tắc suy luận mờ

### 2.1. Các luật tránh vật cản

Từ các hàm thuộc đầu vào (2 đầu vào, 3 hàm thuộc cho mỗi đầu vào) và 5 hàm thuộc đầu ra đã thiết lập, có thể xây dựng được  $3^2 = 9$  luật tránh vật cản như sau:

$\theta$	$s\_left$		
$s\_right$	<i>near</i>	<i>medium</i>	<i>far</i>
<i>near</i>	zero	neg_small	neg_large
<i>medium</i>	pos_small	zero	neg_small
<i>far</i>	pos_large	pos_small	zero

## 2.2. Tổ hợp các kết quả suy luận

Trên cơ sở các luật mờ cơ sở đã xây dựng, dùng luật hợp thành MAX-MIN của logic mờ để tìm được giá trị hàm thuộc đầu ra theo các công thức sau (2):

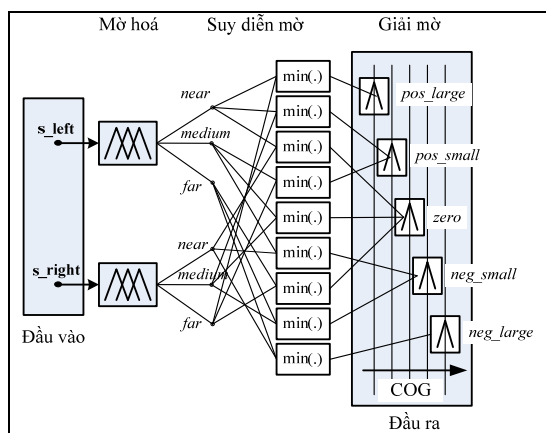
$$\mu_{\text{neg\_large}}(\theta) = \min(\mu_{\text{near}}(s\_left), \mu_{\text{far}}(s\_right))$$

$$\mu_{\text{neg\_small}}(\theta) = \max[\min(\mu_{\text{near}}(s\_left), \mu_{\text{medium}}(s\_right)), \min(\mu_{\text{medium}}(s\_left), \mu_{\text{far}}(s\_right))]$$

$$\mu_{\text{zero}}(\theta) = \max[\min(\mu_{\text{near}}(s\_left), \mu_{\text{near}}(s\_right)), \min(\mu_{\text{medium}}(s\_left), \mu_{\text{medium}}(s\_right)), \min(\mu_{\text{far}}(s\_left), \mu_{\text{far}}(s\_right))]$$

$$\mu_{\text{pos\_small}}(\theta) = \max[\min(\mu_{\text{medium}}(s\_left), \mu_{\text{near}}(s\_right)), \min(\mu_{\text{far}}(s\_left), \mu_{\text{medium}}(s\_right))]$$

$$\mu_{\text{pos\_large}}(\theta) = \min(\mu_{\text{far}}(s\_left), \mu_{\text{near}}(s\_right))$$



Hình 1. Hệ thống suy luận mờ

Hệ thống suy luận mờ để tránh vật cản được miêu tả dưới dạng sơ đồ như trên hình 1.

### Giải mờ

Kết quả của phép tổ hợp đã thực hiện trong mục 2.2.2 là giá trị của các hàm thuộc của đầu ra. Các giá trị hàm thuộc này biểu diễn giá trị mờ của biến đầu ra là góc lái của robot. Để có thể dùng làm tín hiệu điều khiển cho robot, cần phải giải mờ chúng. Sử dụng phương pháp giải mờ độ cao để nhận được giá trị đầu ra rõ theo công thức:

$$\theta = \frac{\sum_{i=1}^n \mu_A(y_i) y_i}{\sum_{i=1}^n \mu_A(y_i)} \quad (3)$$

Trong đó:  $\mu_A(y_i)$  - giá trị hàm thuộc thứ i.

$y_i$  - giá trị biến đầu ra tương ứng với giá trị hàm thuộc.

## III. TỔ HỢP BỘ ĐIỀU KHIỂN VẬN ĐỘNG THEO CẤU TRÚC PHÂN LỚP

Bài toán điều khiển vận động của robot tự hành là bài toán đa nhiệm. Robot vừa phải thực hiện các nhiệm vụ vận động cho trước, vừa phát hiện và tránh vật cản, đồng thời vẫn thực hiện các ứng xử khẩn cấp. Để thực hiện đồng thời các nhiệm vụ theo thời gian thực với cùng nguồn dữ liệu đầu vào, cần thiết phải tổ chức bộ điều khiển chung của robot theo cấu

trúc phân lớp các hành động của robot với các mức độ ưu tiên khác nhau trong tiến trình xử lý. Mức ưu tiên cao dành cho lớp dừng khẩn cấp đối với các tình huống va chạm nguy hiểm. Mức trung bình cho lớp tránh vật cản trong quá trình vận động và mức thấp nhất cho lớp các nhiệm vụ vận động cơ bản, như tìm đến đích (goal seeking), đi lang thang (wandering), bám tường, bám vạch (wall following).

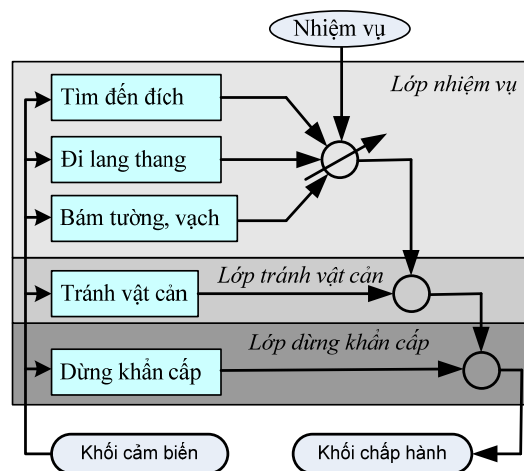
## 1. Lớp dừng khẩn cấp

Hành động đầu tiên của robot là dừng khẩn cấp, có mức ưu tiên cao hơn các hành động khác. Do hành động này phụ thuộc vào khoảng cách an toàn nên dữ liệu từ cảm biến siêu âm được dùng trực tiếp để dừng robot. Một khoảng cách nguy hiểm được định nghĩa để dùng cho hành động này. Các cảm biến siêu âm ở phía trước, bên trái và bên phải có các khoảng cách nguy hiểm khác nhau.

Cảm biến siêu âm ở bên trái kiểm tra các đối tượng ở bên trái. Nếu đối tượng ở quá gần, robot sẽ dừng chuyển động. Các cảm biến siêu âm ở phía trước và bên phải cũng hoạt động tương tự. Kết quả, hành động dừng khẩn cấp được miêu tả như sau:

- KIỂM TRA các đối tượng ở phía trước, bên trái, bên phải.
- DỪNG chuyển động nếu đối tượng nằm trong khoảng cách nguy hiểm.

Hành động này sẽ kết thúc nếu khoảng cách nhận được từ tất cả các cảm biến siêu âm lớn hơn khoảng cách nguy hiểm.



Hình 2. Cấu trúc bộ điều khiển được phân lớp theo phương thức hành động

## 2. Lớp tránh vật cản

Hành động tránh vật cản dùng dữ liệu cảm biến siêu âm để sinh ra tập mờ biểu diễn khoảng cách từ các vật cản đến vị trí của robot. Hành động này được thực thi bởi bộ điều khiển mờ. Các đầu vào mờ là dữ liệu từ cảm biến siêu âm phía trước bên phải và phía trước bên trái. Với cách bố trí cảm biến của robot Mapbot dùng trong thực nghiệm (hình 4), có 4 cảm biến siêu âm ở phía trước bên phải (s1 đến s4) và 4 cảm biến siêu âm ở phía trước bên trái (s6 đến s9) được dùng cho hành động tránh vật cản. Do đó, 4 bộ điều khiển mờ được dùng cho hành động này.

Đầu ra là phép vòng tránh vật cản, cụ thể như sau:

VÒNG PHẢI - nếu vật cản nằm ở phía trước bên trái, robot sẽ vòng phải.

VÒNG TRÁI - nếu vật cản nằm ở phía trước bên phải, robot sẽ vòng trái.

Một khoảng cách cần tránh được định nghĩa để kích hoạt hành động tránh vật cản. Khoảng cách cần tránh cho mỗi cặp cảm biến siêu âm là khác nhau, tùy thuộc vào vị trí góc tương đối của cảm biến siêu âm so với trục dọc của robot.

### 3. Lớp nhiệm vụ

Các hành động theo nhiệm vụ đã được thiết kế cho robot bao gồm: tìm đến đích, đi lang thang.

Hành động tìm đến đích: điều khiển robot đi đến điểm đích xác định trước bởi người dùng. Robot sẽ xác định vị trí hiện thời của nó, so sánh với điểm đích cần đến để tìm ra góc cần hướng tới và khoảng cách cần di chuyển đến đích. Nếu không có vật cản giữa robot và đích đến, hành động này sẽ được kích hoạt. Với vị trí và hướng cụ thể của robot, robot quay và tiến về phía đích cần đến.

Hành động đi lang thang: điều khiển robot đi lang thang trong môi trường. Nếu không có vật cản ở phía trước robot, nó sẽ tiến thẳng.

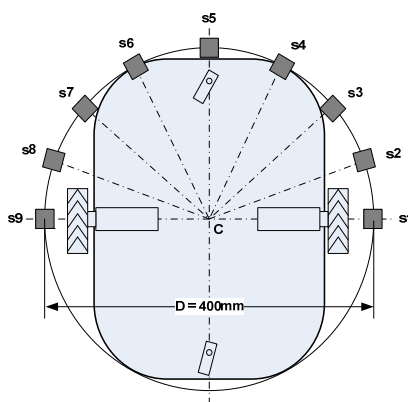
## IV. CÁC KẾT QUẢ THỰC NGHIỆM

### 1. Robot dùng để thực nghiệm

Robot được dùng để thử nghiệm là một mẫu robot tự hành được thiết kế và chế tạo tại PTN Cơ Điện tử - Học viện KTQS (hình 3). Đây là robot tự hành di chuyển bằng bánh lốp, với hai bánh chủ động dẫn động độc lập bố trí ở phía sau. Các encoder được gắn trên trục động cơ dẫn động của từng bánh xe để đo quãng đường dịch chuyển tương ứng. Trên robot được lắp 9 cảm biến siêu âm loại SRF04 của hãng Acroname Easier Robotics, có góc quét là  $30^0$  và khoảng đo là  $30\text{mm} \div 3000\text{mm}$ . Sơ đồ bố trí cảm biến siêu âm như trên hình 4.



Hình 3. Robot thực nghiệm Mapbot



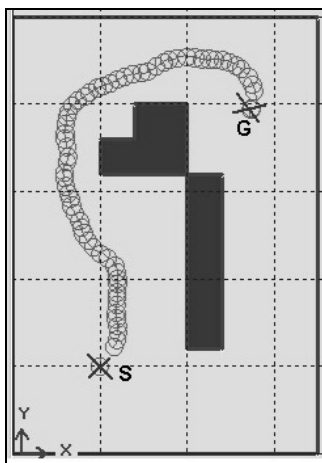
Hình 4. Bố trí cảm biến siêu âm

Cấu trúc hệ thống điều khiển của robot như đã chỉ ra trên hình 2. Toàn bộ chương trình điều khiển chính với module điều khiển mờ tránh vật cản được thực hiện trên máy tính đặt trên robot. Khối cảm biến thu nhận tín hiệu từ các cảm biến siêu âm (để đo các khoảng cách đến vật cản tương ứng), từ encoder (để xác định vị trí hiện thời của robot) và truyền lên máy tính. Khối chấp hành nhận tín hiệu điều khiển từ máy tính và điều khiển các động cơ dẫn động bánh xe để điều khiển xe tiến, lùi, quay phải, quay trái tương ứng. Truyền thông giữa các khối được thực hiện thông qua giao tiếp RS232.

## 2. Các kết quả thực nghiệm

### 2.1. Robot di chuyển tìm đến đích

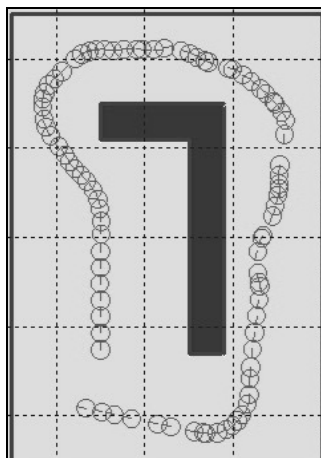
Robot có nhiệm vụ di chuyển từ điểm xuất phát S đến điểm đích G. Vật cản có kích thước lớn và bao chắn toàn bộ không gian phía trước theo hướng dịch chuyển của robot (hình 5). Kết quả thử nghiệm cho thấy robot đã nhận biết, vòng tránh qua vật cản và đến được đúng điểm đích đã định.



Hình 5. Robot di chuyển tìm đến đích

### 2.2. Robot đi lang thang

Nhiệm vụ vận động được thiết lập cho robot là đi lang thang trong một môi trường không biết trước. Kết quả thực nghiệm cho thấy robot đã tránh được các vật cản mà nó phát hiện được, kể cả vật cản động (hình 6). Tuy nhiên, khả năng tránh các vật cản có kích thước nhỏ, mảnh (ví dụ như chân bàn, cột...) chưa thực sự tốt do số cảm biến ít. Khi có các vật cản động xuất hiện đột ngột, chức năng dừng khẩn cấp được kích hoạt.



Hình 6. Robot đi lang thang

## V. KẾT LUẬN

Cùng với các chức năng hiện có của robot (di chuyển theo quỹ đạo, đi đến đích đã định trước, dừng khẩn cấp), chức năng tránh vật cản đã hoạt động tốt. Các kết quả thực nghiệm đã cho thấy, robot có thể tránh được tất cả các vật cản mà sensor siêu âm phát hiện được. Kích thước vật cản càng lớn thì khả năng phát hiện của sensor siêu âm càng tốt và do đó khả năng vòng tránh cũng tốt hơn. Sau khi tránh vật cản, robot lại tiếp tục thực hiện nhiệm vụ vận động. Tuy nhiên, vẫn còn một số trường hợp với vật cản có kích thước mảnh, nhỏ (như chân bàn, ghế), tín hiệu thu về từ cảm biến là không rõ ràng nên khả năng tránh còn hạn chế.

Những kết quả của việc ứng dụng điều khiển mờ trong điều khiển robot tự hành tránh vật cản và cấu trúc phân lớp nhiệm vụ trong bộ điều khiển cho thấy tính đúng đắn và hiệu quả của phương án được sử dụng. Những kết quả này còn có thể áp dụng cho không chỉ các dạng robot tự hành mà còn cho các phương tiện tự hành khác.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nguyễn Văn Giáp, Từ Diệp Công Thành, Đoàn Thế Thảo, Nguyễn Văn Trung. "Giải bài toán cục bộ tránh vật cản cho robot tự hành". *Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc lần thứ III về Cơ Điện tử* (2006).
- [2]. Phan Xuân Minh, Nguyễn Doãn Phước. *Lý thuyết điều khiển mờ*. NXB Khoa học Kỹ thuật (2006).
- [3]. Trần Văn Tùng, Lê Hoài Quốc. "*Áp dụng logic mờ trong điều khiển robot tự hành bám mục tiêu di động*". *Tuyển tập báo cáo Hội nghị toàn quốc lần thứ II về Cơ Điện tử* (2004).
- [4]. H. Maaref, C. Barret. "*Sensor-based navigation of a mobile robot in an indoor environment*". *Robotics and Autonomous Systems*, Vol 38, pp. 1-18 (2002).
- [5]. S. Thongchai, S. Suksakulchai, D. M. Wilkes, and N. Sarkar. "*Sonar behavior - based fuzzy control for a mobile robot*". *Proceedings of the 2000 IEEE International Conference on Systems, Man and Cybernetics*, Vol 5, pp. 3532 - 3537 (2000).