ỨNG DỤNG LOGIC MỜ VÀO BỘ ĐIỀU KHIỂN PI TRONG BÀI TOÁN ĐIỀU KHIỂN ROBOT ĐA HƯỚNG

Phùng Thế Bảo*, Lê Công Danh, Phạm Văn Sáng, Đặng Thế Hùng, Hoàng Xuân Tuân

Trường Đại học Trần Đại Nghĩa

TÓM TẮT

Bài báo trình bày một phương pháp điều khiển Robot đa hướng dùng bộ điều khiển PI (Proportional – Integral controller) thích nghi mờ dựa trên mô hình robot được xây dựng như một hệ MIMO (Multi Input - Multi Output) phi tuyến. Cấu trúc điều khiển bao gồm một bộ điều khiển PI và một bộ điều khiển mờ được thiết lập. Trong đó, bộ điều khiển PI giữ vai trò là bộ điều khiển chính, tạo tín hiệu điều khiển đối tượng và bộ điều khiển mờ giữ vai trò là bộ quan sát, cung cấp thông số phù hợp cho bộ điều khiển PI theo thời gian thực. Kết quả thực nghiệm chứng minh rằng, bộ điều khiển PI thích nghi mờ với việc ứng dụng Logic mờ cải thiện đáng kể hiệu suất điều khiển chuyển động của Robot đa hướng.

***Từ khóa**: Robot đa hướng, logic mờ, bộ điều khiển PI.*

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Robot đa hướng là robot có thể di chuyển dễ dàng trong những không gian nhỏ, hẹp do khả năng di chuyển một cách linh hoạt vừa quay vừa tịnh tiến một cách đồng thời và độc lập. Phương trình động lực học cùng với độ tin cậy của bộ điều khiển là cách tiếp cận chính trong nhiều nghiên cứu về robot.

Bộ điều khiển tích phân tỉ lệ, gọi tắt là bộ điều khiển PI (Proportional - Integral controller) được ứng dụng rất phổ biến trong các điều khiển các quá trình công nghiệp, do khả năng điều khiển hiệu quả, cấu trúc đơn giản và phạm vi ứng dụng rộng rãi. Trong điều khiển robot, bộ điều khiển PI được thiết kế để điều khiển hướng và vị trí theo mô hình tuyến tính đơn giản. Tuy nhiên, có một vấn đề quan trọng đối với việc ứng dụng bộ điều khiển PI trong điều khiển robot là khi điều kiện bề mặt quãng đường đến mục tiêu có nhiều độ cong khác nhau dẫn đến sai số của các phép đo. Điều này ảnh hưởng đến việc hiệu chỉnh các thông số của bộ điều khiển PI khó đạt được giá trị tối ưu. Do đó, việc sử dụng bộ điều khiển PI thông thường không thể đảm bảo hiệu suất mong muốn cho điều khiển Robot đa hướng.

Trong các kỹ thuật điều khiển thông minh, Logic mờ nổi lên như một phương pháp thể hiện khả năng suy diễn của bộ óc con người và nó được ứng dụng thành công trong nhiều lĩnh vực với vai trò của một bộ quan sát [1, 5]. Cơ chế suy diễn mờ được xem là một phương pháp đơn giản và hữu hiệu để tinh chỉnh các bộ điều khiển kinh điển. Việc tìm kiếm, tự điều chỉnh các giá tối ưu của các thông số bộ điều khiển trong miền xác định của chúng có thể được thực hiện

*Tác giả liên hệ: TS. Phùng Thế Bảo

Email: phungthebao2003@gmail.com

bởi thuật toán Logic mờ.

Trong nội dung bài báo, trên cơ sở lý thuyết của bộ điều khiển PI và bộ điều khiển thích nghi mờ, nhóm tác giả đã tích hợp thành bộ điều khiển lai PI thích nghi mờ cho hệ thống điều khiển robot đa hướng. Trong đó, bộ điều khiển PI giữ vai trò là bộ điều khiển chính, tạo tín hiệu điều khiển đối tượng và bộ điều khiển mờ giữ vai trò là bộ quan sát, cung cấp thông số phù hợp cho bộ điều khiển PI theo thời gian thực. Vì thế, để đơn giản hai bộ điều khiển này được gọi là bộ điều khiển PI thích nghi mờ. Hiệu quả của bộ điều khiển PI đã được kiểm chứng qua các cuộc thi Robocon của học viên, sinh viên có sử dụng kết hợp la bàn số trong việc giữ quỹ đạo của robot đa hướng. Từ đó, bộ điều khiển thích nghi mờ đã được kiểm chứng thông qua thực nghiệm tại Phòng thí nghiệm Bộ môn Nhiệt điện, Khoa Kỹ thuật cơ sở, Phòng thí nghiệm Bộ môn Kỹ thuật cơ sở, Vô tuyến điện và Vi xử lý, Khoa Công nghệ thông tin, Trường Đại học Trần Đại Nghĩa.

Cấu trúc bài báo gồm bốn phần: đặt vấn đề, phương pháp điều khiển, kết quả thực nghiệm và kết luận.

2. Phương pháp điều khiển

Trong phần này nhóm tác giả giới thiệu bộ điều khiển truyền thống PI, từ đó tích hợp thành bộ điều khiển PI thích nghi mờ, ứng dụng cho hệ thống điều khiển robot đa hướng.

2.1. Bộ điều khiển PI

Bộ điều khiển PI được thực hiện bởi Johnson M.A và Moradi M.H [3]:

$$\mu(t) = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(t)dt$$

$$e(t) = X_{ref}(t) - X(t)$$

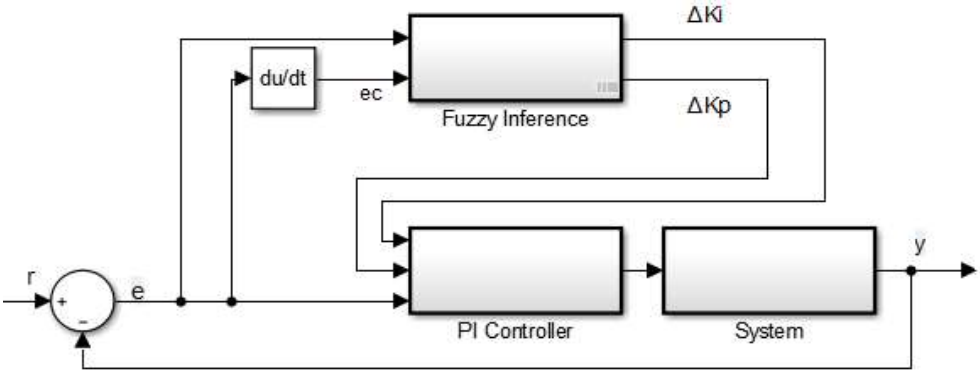
Trong đó, K_p và K_i lần lượt là độ lợi tỉ lệ và độ lợi tích phân của bộ điều khiển. Nhiệm vụ của người thiết kế bộ điều khiển PI, là chọn lựa bộ giá trị $\{K_p, K_i\}$ thỏa mãn các yêu cầu về chất lượng điều khiển.

Các thông số độ lợi K_p và K_i ảnh hưởng đến thời gian tăng (*rise time*), độ vọt lố (*overshoot*) và thời gian xác lập (settling time) đáp ứng được cho trong **Bảng 1** [4] . Các thông tin này được xem là cơ sở tri thức để xác định luật chỉnh định mờ bộ điều khiển PI.

Bảng 1. *Ảnh hưởng của việc tăng các thông số độ lợi của bộ điều khiển PI*

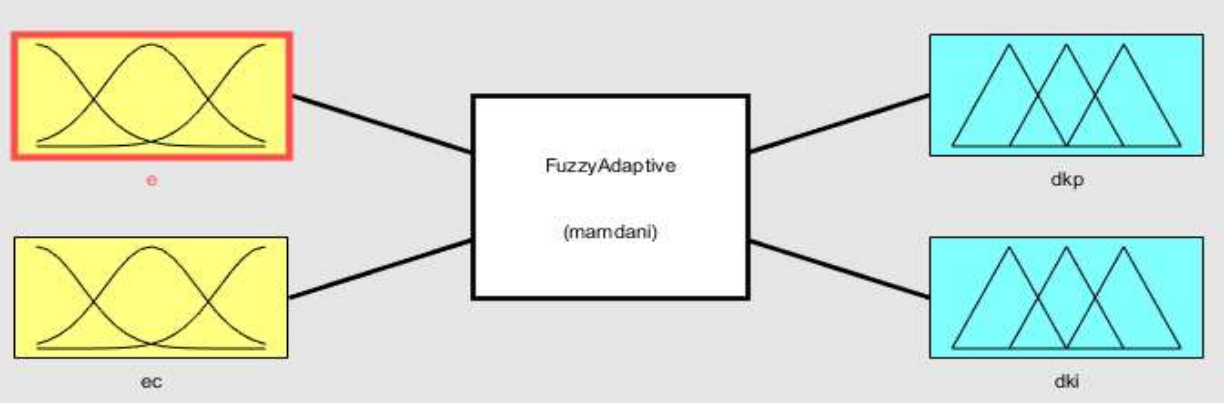
Độ lợi	Thời gian tăng	Độ vọt lố	Thời gian xác lập	Sai số xác lập
K_p	Giảm	Tăng	Thay đổi ít	Giảm
K_i	Giảm	Tăng	Tăng	Triệt tiêu

Bộ điều khiển PI thích nghi mờ là bộ điều khiển kết hợp bộ điều khiển PI với thuật toán logic mờ để cải thiện hiệu suất của robot chuyển động đa hướng. Cấu trúc của điều này bộ điều khiển thích nghi mờ như **Hình 1**.



Hình 1. *Cấu trúc điều khiển PI thích nghi mờ*

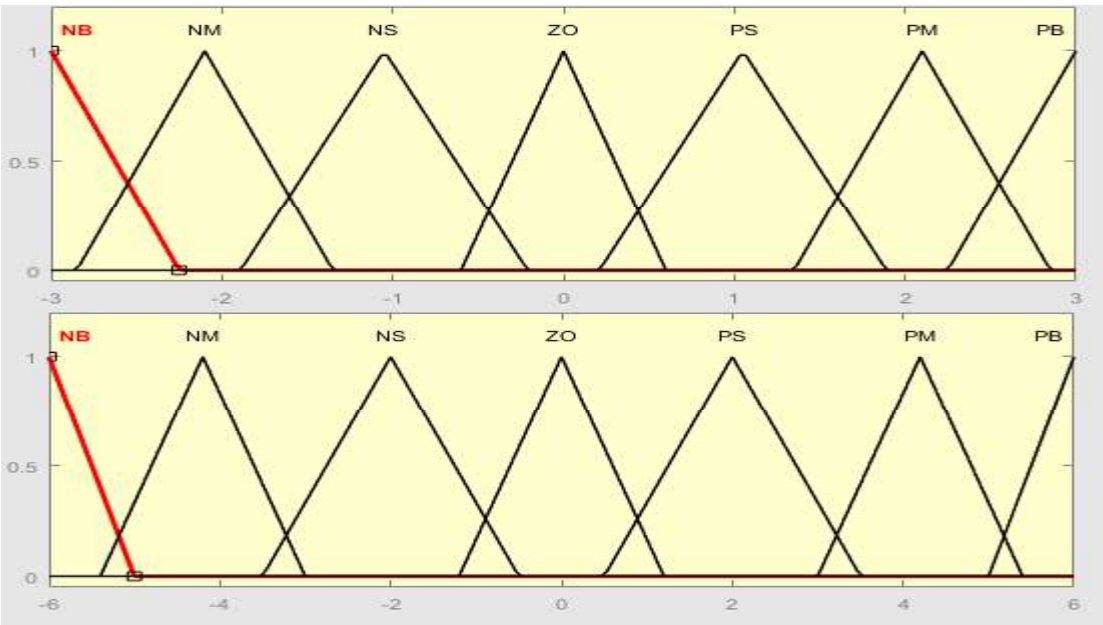
Bộ điều khiển mờ có hai đầu vào: theo dõi tham chiếu lỗi e và đạo hàm lỗi ec. Các đầu ra ΔK_p và ΔK_i của hệ logic mờ là những thay đổi trong độ lợi tỉ lệ K_p và độ lợi tích phân K_i của bộ điều khiển PI. **Hình 2** cho thấy sơ đồ PI thích nghi mờ với 3 thành phần chính: làm mờ, suy luận mờ và giải mờ.



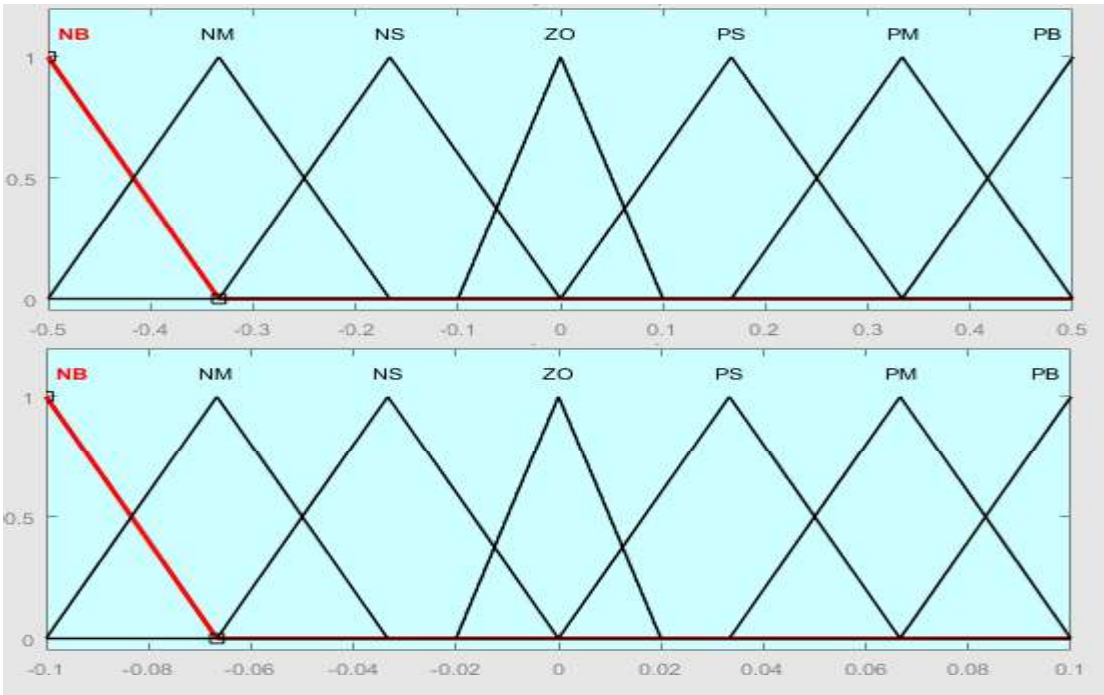
Hình 2. *Cấu trúc bộ điều khiển mờ*

2.3. Mờ hóa dữ liệu biến đầu vào và đầu ra

Bước đầu tiên trong việc thiết kế bộ điều khiển logic mờ là mờ hóa các biến đầu vào và đầu ra. Trong nội dung bài báo, phạm vi mờ của các biến được xác định $e \in [-3,3], ec \in [-6,6]$, $\Delta K_p \in [-0.5,0.5]$ và $\Delta K_i \in [-0.1,0.1]$. Trong đó, phạm vi mờ chia thành 7 biến ngữ nghĩa và được mờ hóa bởi 7 tập con e, ec, ΔK_p, ΔK_i = [NB, NM, NS, ZO, PS, PM, PB], trong đó NB là âm lớn; NM là âm vừa; NS là âm nhỏ; ZO bằng không; PS là dương nhỏ; PM là dương vừa và PB là dương lớn. Tất cả các chức năng thành viên là hình tam giác. Các hàm thành viên mờ được trình bày như **Hình 3** và **Hình 4**.



Hình 3. *Hàm thành viên mờ của e và ec*



Hình 4. *Hàm thành viên mờ của ΔK_p và ΔK_I*

2.4. Xây dựng cơ sở luật

Bước quan trọng nhất trong thiết kế điều khiển mờ là thiết lập quy tắc suy luận mờ giữa biến đầu vào e, ec và các biến đầu ra ΔK_P, ΔK_I theo kiến thức và kinh nghiệm của các chuyên gia hoặc dữ liệu đầu vào - đầu ra. Tại đây, các thông số của bộ PI được lựa chọn theo kinh nghiệm từ các mô hình robot thuần chỉ sử dụng bộ PI trong môi trường sàn gỗ và mặt sàn gạch thông thường. Dựa vào 2 yếu tố là e (độ lệch góc) và ec (đạo hàm độ lệch góc), tác giả xây dựng được 2 ma trận luật tương ứng với 2 thông số đầu ra của ΔK_p (độ lợi tỉ lệ) và ΔK_i (độ lợi tích phân) như **Bảng 2** và **Bảng 3**.

Bảng 2. *Ma trận luật đầu ra ΔK_p*

e \ ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	PB	PB	PM	PM	PS	ZO	ZO
NM	PB	PB	PM	PS	PS	ZO	NS
NS	PM	PM	PM	PS	PS	ZO	NS
ZO	PM	PM	PS	ZO	NS	NM	NM
PS	PS	PS	ZO	NS	NS	NM	NM
PM	PS	ZO	NS	NM	NM	NM	NB
PB	ZO	ZO	NM	NM	NM	NB	NB

Bảng 3. *Ma trận luật đầu ra ΔK_i*

e \ ec	NB	NM	NS	ZO	PS	PM	PB
NB	NB	NB	NM	NM	NS	ZO	ZO
NM	NB	NB	NM	NS	NS	ZO	ZO
NS	NB	NM	NS	NS	ZO	PS	PS
ZO	NM	NM	NS	ZO	PS	PM	PM
PS	NM	NS	ZO	PS	PS	PM	PB
PM	ZO	ZO	PS	PS	PM	PB	PB
PB	ZO	ZO	PS	PM	PM	PB	PB

Dựa vào 2 ma trận quyết định trên, chúng ta có thể xây dựng 98 luật, tương ứng 49 luật cho mỗi bảng như sau:

(R1) If e is NB and ec is NB then ΔK_p is PB

(R2) If e is NB and ec is NM then ΔK_p is PB

(R3) If e is NB and ec is NS then ΔK_p is PM

(R4) If e is NB and ec is ZO then ΔK_p is PM

.....

(R48) If e is PB and ec is PM then ΔK_p is NB

(R49) If e is PB and ec is PB then ΔK_p is NB

(R50) If e is NB and ec is NB then ΔK_i is NB

(R51) If e is NB and ec is NM then ΔK_i is NB

(R52) If e is NB and ec is NS then ΔK_i is NM

.....

(R97) If Error is PB and ErrorD is PM then ΔK_i is PB

(R98) If Error is PB and ErrorD is PB then ΔK_i is PB

3. Kết quả thử nghiệm

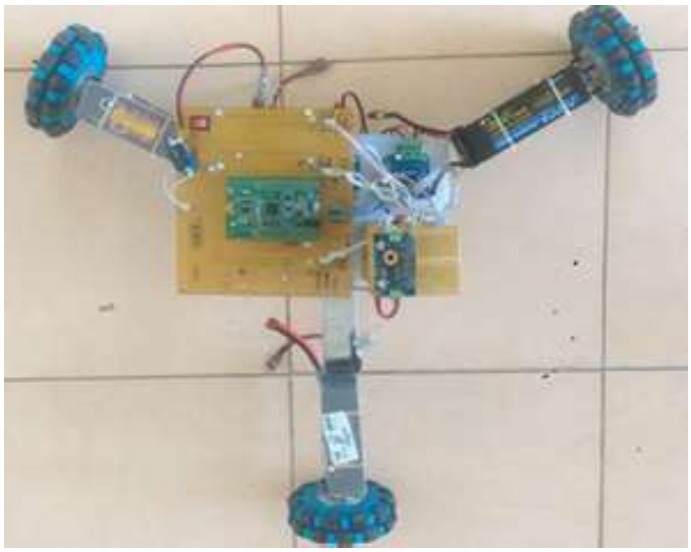
Trong phần này, nhóm tác giả thiết kế robot đa hướng với mạch điều khiển trung tâm STM32F411, cài đặt thử nghiệm điều khiển robot chuyển động với quỹ đạo đường thẳng.

3.1. Thiết kế robot

Robot được thiết kế gồm 3 bánh xe kết nối với nhau tạo một góc đều 120^0, sử dụng công nghệ bánh xe robot đa hướng - Omni Wheels. Công nghệ bánh đa hướng giúp robot có thể di chuyển theo hướng bất kỳ. Với thiết kế 3 bánh, và bán kính thân 30 cm, robot có thể di chuyển ở địa hình tương đối hẹp (**Hình 5**).

3.2. Mạch điều khiển

Trên robot sử dụng mạch trung tâm STM32F411, nhà sản xuất STMicroelictronic. Sai số góc đầu (Yaw) của robot được xác định nhờ cảm biến WAVGAT 6 Axis MPU6050 có tích hợp bộ lọc chống nhiễu Kalman và giao tiếp với mạch trung tâm thông qua giao thức UART baud rate 115200. Mạch trung tâm có nhiệm vụ thực hiện các thuật toán logic mờ tích hợp trong bộ điều khiển PI thích nghi mờ, đảm nhiệm việc kết nối các Driver Smart PID



Hình 5. *Khung robot và bánh xe robot đa hướng*

với nhau thành một khối thống nhất. Driver Smart PID nhận tín hiệu điện áp từ mạch trung tâm, phân tích duty cycle (*chu kỳ xung*) để điều khiển động cơ quay với vận tốc tương ứng chu kỳ xung của mạch trung tâm.

Ngoài ra, tác giả sử dụng các phần mềm: *STM32CubeMX* - hỗ trợ cấu hình các giao tiếp ngoại vi cho vi điều khiển; *Keil ARM* - hỗ trợ lập trình vi điều khiển; *Matlab* phiên bản R2016a.

3.3. Kết quả thử nghiệm

Robot di chuyển theo quỹ đạo đường thẳng, thời gian di chuyển t = 8s. Có thể quan sát thấy từ vị trí xuất phát đến mục tiêu, robot di chuyển theo quỹ đạo được đặt ra và quỹ đạo robot thay đổi không đáng kể. Sai số quỹ đạo của robot có thể nhận thấy do khoảng giá trị thông số đầu ra của mô hình logic mờ chưa được tối ưu.

4. KẾT LUẬN

Trong bài báo này, tác giả đã đưa ra kết quả nghiên cứu ứng dụng mô hình logic mờ để giải quyết bài toán điều khiển chuyển động của robot đa hướng. Có thể thấy robot hoạt động

khá ổn định với quỹ đạo chuyển động là đường thẳng. Từ đó cho thấy việc ứng dụng phương pháp lập luận mờ để giải quyết vấn đề đã nêu trên là rất khả quan và có triển vọng phát triển.

Tuy nhiên, hệ thống do tác giả xây dựng mới chỉ ứng dụng điều khiển robot di chuyển theo quỹ đạo đường thẳng, chưa thử nghiệm robot với các quỹ đạo chuyển động và các bề mặt tiếp xúc khác nhau. Hệ thống đánh giá dựa trên 7 biến ngữ nghĩa, do đó các yếu tố khác như: cân nặng, môi trường làm việc, đặc tính của động cơ... chưa được xét đến trong quá trình thử nghiệm. Trên thực tế số lượng các biến số này rất lớn. Và vì thế để xây dựng một hệ thống điều khiển robot đa hướng thích nghi mờ với đầy đủ các yếu tố cần có một sự đầu tư nghiên cứu chuyên sâu, nghiêm túc.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] H.T. Hoàn, *Hệ thống điều khiển thông minh*. NXB: Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, 2006.

[2] K.J Astrom and T. Hagglund, *Automatic Tuning of PID Controllers*, 2nd edition. Place of publication: Research Triangle Park, NC, 1988.

[3] M. A. Johnson and M.H. Moradi, Chapter 8, In: "*PID Control - New Identification and Design Methods*", pp. 297-337, 2005. ISBN-10: 1-5233-702-8.

[4] N. Kanagaraj, P. Sivashanmugam and S. Paramsivam, "*Fuzzy coordinated PI controller: application to the real-time pressure control process*", *Journal Advances in Fuzzy Systems*,Vol. 8, pp.1-9, 2008.

[5] L. A. Zadeh, *"Fuzzy sets"*, Information and Control 8, pp. 338-353, 2006.

APPLYING FUZZY LOGIC TO PI CONTROLLER FOR THE PROBLEM OF OMNIDIRECTIONAL ROBOT CONTROL

Phung The Bao*, Le Cong Danh, Pham Van Sang, Dang The Hung, Hoang Xuan Tuan

ABSTRACT

This paper presents a method of controlling omnidirectional robots using fuzzy adaptive PI (Proportional - Integral controller) controller based on robot model built as a nonlinear MIMO (Multi Input - Multi Output) system. The control structure consists of a PI controller and an established fuzzy controller. In particular, the PI controller acts as the main controller, generates signal to control the object and the fuzzy controller serves as the observation unit, providing appropriate parameters for the PI controller in real time. Experimental results demonstrate that

the PI controller adapts to the application of Fuzzy Logic to greatly improve the motion control performance of the Omni-directional Robot.

***Keywords**: Omni-directional Robot, fuzzy logic, PI controller.*

Received: 18/02/2020

Revised: 04/03/2020

Accepted for publication: 06/03/2020