

## การออกแบบระบบหลบหลีกสิ่งกีดขวางสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์

### Obstacle Avoidance Design for Differential Drive Mobile Robot

มนุศักดิ์ จานทอง<sup>1\*</sup> ไกรศักดิ์ โพธิ์ทองคำ<sup>2</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ถนนรังสิต-นครนายก ธัญบุรี ปทุมธานี 12110

<sup>2</sup>วิศวกรรมเมคคาทรอนิกส์และหุ่นยนต์ คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏวไลยอลงกรณ์

ในพระบรมราชูปถัมภ์ คลองหนึ่ง คลองหลวง ปทุมธานี 13180

\*Corresponding author: E-mail: manusak.j@en.rmutt.ac.th

#### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก สำหรับควบคุมการสร้างเส้นทางเพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ โดยที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้แบบอัตโนมัติ การออกแบบเริ่มจากหาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ ซึ่งจะทำการหาแบบจำลองทางจลนศาสตร์และพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ จากนั้นสร้างเส้นทางให้กับหุ่นยนต์ด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกโดยการกำหนดตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการไว้ และใช้ตัวควบคุมพีไอดีเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้น และหากมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะสร้างเส้นทางใหม่เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกและเคลื่อนที่ผ่านไปได้อย่างปลอดภัย โดยทำการทดสอบจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink จากผลทดสอบจำลองการเคลื่อนที่พบว่าตัวควบคุมที่สร้างขึ้นสามารถสร้างเส้นทางเคลื่อนที่เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้ และเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์นั้นสามารถหลบหลีกและเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้เช่นกัน

**คำสำคัญ:** ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก หุ่นยนต์เคลื่อนที่ หลบหลีกสิ่งกีดขวาง

#### ABSTRACT

This article presents the design and application of fuzzy logic controller for path generator control in order that mobile robot tracks the path to the target and avoids the obstacle. The control design is required the mathematical model of differential drive mobile robot, which includes the kinematic and dynamic models. Fuzzy logic controller is used to generate a path for the mobile robot and PID controller is implemented for controlling the position of mobile robot to tracks the path, which is generated by fuzzy logic controller. And when it detects the obstacle, then fuzzy logic controller will generates a new path for avoiding that obstacle. MATLAB/Simulink software is implemented to simulate the proposed algorithm. The simulation results show that the proposed controller can generates a good path with avoiding the obstacle to the target and mobile robot can tracks this path to the target.

**Keywords:** Fuzzy Logic Controller, Mobile Robot, Obstacle Avoidance

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันหุ่นยนต์ได้เข้ามามีบทบาทและมีความสำคัญต่อชีวิตประจำวันของมนุษย์เป็นอย่างมาก อีกทั้งยังมีการนำไปประยุกต์ใช้งานกันอย่างแพร่หลายทั้งด้านอุตสาหกรรม งานวิจัย หรืออื่นๆ ไม่ว่าจะเป็นการใช้งานเพื่ออำนวยความสะดวกในการขนย้ายสิ่งของวัสดุ หรือใช้ในการปฏิบัติงานแทนมนุษย์ในพื้นที่ที่มีความเสี่ยงต่ออันตรายที่มนุษย์ไม่สามารถเข้าไปปฏิบัติงานได้ ซึ่งในหลายประเทศได้มีการออกแบบและพัฒนาหุ่นยนต์อย่างต่อเนื่อง โดยแบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ หุ่นยนต์แบบติดตั้งอยู่กับที่ (Fixed Robot) [1] เป็นหุ่นยนต์ที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ไปไหนได้ด้วยตัวเอง มีลักษณะเป็นแขนกลเคลื่อนไหวยากในตัวเองเท่านั้น มีข้อจำกัดในเรื่องของขอบเขตของพื้นที่การทำงาน ต่างจากหุ่นยนต์ชนิดที่ 2 คือหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระ โดยข้อดีของหุ่นยนต์เคลื่อนที่คือสามารถเคลื่อนที่ได้ด้วยตัวเองโดยการใช้ล้อหรือขา ซึ่งในปัจจุบันมีการศึกษาวิจัย และพัฒนาออกมาในรูปแบบต่างๆ เช่นหุ่นยนต์สำรวจของนาซ่า [2] เป็นต้น โดยโจทย์ปัญหาที่สำคัญของหุ่นยนต์เคลื่อนที่คือการวางแผนเส้นทางการเคลื่อนที่ และการหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ในสภาวะแวดล้อมที่ไม่ทราบลักษณะที่แน่นอน

งานวิจัยจำนวนมากเกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง เมื่อทำการออกแบบตัวควบคุมที่จะนำไปใช้กับหุ่นยนต์แล้วจะมีการทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยซอฟต์แวร์ก่อนนำไปทดสอบการทำงานจริง โดยในส่วนของการจำลองการเคลื่อนที่นั้นมีทั้งการใช้แบบจำลองจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Kinematics Model) [3-4] และแบบจำลองพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Dynamics Model) [5-6] เพื่อทดสอบตัวควบคุมจากพฤติกรรมของหุ่นยนต์ โดยแบบจำลองพลศาสตร์ของหุ่นยนต์นั้นจะมีการพิจารณาถึงมวล (Mass), โมเมนต์ความเฉื่อย (Moment of Inertia) และแรงต่างๆ ที่มากระทำกับหุ่นยนต์ด้วย ซึ่งสมการพลศาสตร์ของหุ่นยนต์สามารถหาได้จากวิธีของลากรางจ์ (Lagrange's approach) หรือวิธีของนิวตัน-ออยเลอร์ (Newton-Euler's approach) [7] วิธีการ

ควบคุมหรือการวางแผนการเคลื่อนที่ที่มีการประยุกต์ใช้งานกับหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางหลากหลายวิธี เช่น Bug Algorithm [8], A-Star Algorithm [9] และวิธีการที่นิยมอีกชนิดหนึ่งคือฟัซซีลอจิก โดยใช้หลักเหตุผลคล้ายการเลียนแบบวิธีคิดของมนุษย์ที่มีความซับซ้อน มีเสถียรภาพสูงและสามารถรองรับอินพุตที่มีความคลุมเครือได้หลากหลายโดยไม่มีข้อจำกัดในเรื่องของจำนวนอินพุตและเอาต์พุต และยังมีควมยืดหยุ่นในการควบคุมเพราะสามารถปรับแต่งกฎในการควบคุมได้ [10] การประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับการจำลองการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์นำเสนอในบทความวิจัย [11-12] ใช้กฎการควบคุม (Rules) และฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (Membership Function) ที่แตกต่างกัน, การใช้ฟัซซีลอจิกสำหรับการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยทำการทดสอบกับหุ่นยนต์จริงมีการนำเสนอในบทความวิจัย [13-15] และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยเลเซอร์สแกนเนอร์ และอัลตราโซนิก เพื่อตรวจจับระยะของสิ่งกีดขวางกับหุ่นยนต์และนำไปใช้เป็นอินพุตของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้นเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้

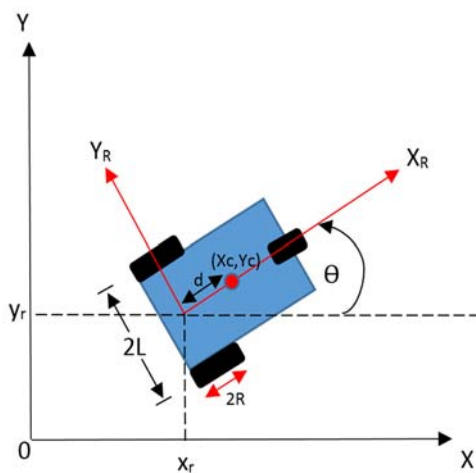
บทความนี้นำเสนอการใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกมาใช้สำหรับควบคุมการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายและหลบหลีกสิ่งกีดขวางแบบอัตโนมัติ และใช้ตัวควบคุมพีไอดีในการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้น โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink

## 2. โมเดลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์

### 2.1 จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Kinematic Model)

ลักษณะของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ใช้มีการขับเคลื่อนเป็นแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ (Differential Drive Mobile Robot) แสดงดังรูปที่ 1 ซึ่งประกอบไปด้วยล้อขับเคลื่อนด้านหลัง 2 ล้อ ที่เป็นอิสระต่อกัน และมีล้อด้านหน้า (Caster Wheel) เพื่อใช้สำหรับการ

สมดุลตัวหุ่นยนต์ เฟรมที่ใช้ในการพิจารณาหาโมเดลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์มี 2 เฟรม ประกอบไปด้วยเฟรมอ้างอิงหลักที่ไม่มีเคลื่อนที่ (Inertial Frame)  $\{X, Y\}$  และเฟรมของตัวหุ่นยนต์ (Robot Frame)  $\{X_R, Y_R\}$  ที่มีจุดกำเนิดอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางระหว่างล้อขับเคลื่อนทั้ง 2 ข้าง โดยที่แกน  $x_R$  ชี้ไปทางด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์ และมีการเคลื่อนที่หรือหมุนไปตามกับตัวของหุ่นยนต์ด้วย โดยแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ แสดงดังสมการที่ 1



รูปที่ 1 โมเดลหุ่นยนต์เคลื่อนที่ดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์

$$\begin{aligned} \dot{x}_r &= v \cdot \cos(\theta) \\ \dot{y}_r &= v \cdot \sin(\theta) \\ \dot{\theta} &= \omega \end{aligned} \quad (1)$$

จากสมการที่ 1 สามารถเขียนให้อยู่ในรูปของเมทริกซ์ที่เป็นฟังก์ชันของความเร็วเชิงมุมของล้อขับเคลื่อนด้านซ้ายและขวา ดังสมการที่ 2 [16]

$$\begin{bmatrix} \dot{x}_r \\ \dot{y}_r \\ \dot{\theta} \end{bmatrix} = \frac{1}{2} \begin{bmatrix} R \cdot \cos(\theta) & R \cdot \cos(\theta) \\ R \cdot \sin(\theta) & R \cdot \sin(\theta) \\ L & -L \\ 0 & 2 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\theta}_R \\ \dot{\theta}_L \end{bmatrix} \quad (2)$$

โดยที่

$$\begin{aligned} v &= \frac{R \cdot (\dot{\theta}_R + \dot{\theta}_L)}{2} \\ \omega &= \frac{R \cdot (\dot{\theta}_R - \dot{\theta}_L)}{2L} \end{aligned}$$

เมื่อ  $x_r, y_r$  และ  $\theta$  คือ ตำแหน่งและมุมหันเหของหุ่นยนต์เทียบกับเฟรมอ้างอิง

$v, \omega$  คือ ความเร็วเชิงเส้นและความเร็วเชิงมุมของหุ่นยนต์

$\dot{\theta}_R, \dot{\theta}_L$  คือ ความเร็วเชิงมุมของล้อขับเคลื่อนด้านขวาและซ้ายของหุ่นยนต์

$L$  คือ ระยะจากล้อขับเคลื่อนถึงจุดศูนย์กลางระหว่างล้อทั้ง 2 ข้าง

$R$  คือ รัศมีล้อขับเคลื่อนของหุ่นยนต์

## 2.2 พลศาสตร์ของหุ่นยนต์ (Dynamic Model)

การหาแบบจำลองทางพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ได้ใช้สมการลากรางจ์ (Lagrange's Equation) โดยการคำนวณหาจากพลังงานจลน์ (Kinetic Energy) และพลังงานศักย์ของระบบ (Potential Energy) แสดงดังสมการที่ 3 [17] โดย  $Q_i$  คือแรงในระบบพิกัดที่สนใจ

$$\frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} \right) - \left( \frac{\partial L}{\partial q_i} \right) = Q_i \quad (3)$$

กำหนดให้

$q_1 = x_r =$  ตำแหน่งหุ่นยนต์แกน x ของเฟรมอ้างอิง

$q_2 = y_r =$  ตำแหน่งหุ่นยนต์แกน y ของเฟรมอ้างอิง

$q_3 = \theta =$  มุมหุ่นยนต์เทียบกับแกน x ของเฟรมอ้างอิง

$q_4 = \theta_R =$  มุมล้อขับเคลื่อนด้านขวาของหุ่นยนต์

$q_5 = \theta_L =$  มุมล้อขับเคลื่อนด้านซ้ายของหุ่นยนต์

โดยที่ค่าลากรางจ์ฟังก์ชัน ( $L$ ) หาได้จากสมการที่ 4

$$L = T - V \quad (4)$$

ซึ่งจากสมมุติฐานที่ว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่บนพื้นเรียบภายในตัวอาคารและไม่มีการสิ้นเปลืองพลังงานใด ๆ ดังนั้นได้ลากรางจ์ฟังก์ชัน ( $L$ ) ที่เป็นฟังก์ชันของ  $q$  ดังสมการที่ 5

$$L(q, \dot{q}) = T(q, \dot{q}) = T_c + T_{wR} + T_{wL} \quad (5)$$

โดยที่  $T_c, T_{wR}$  และ  $T_{wL}$  คือ พลังงานจลน์ของตัวหุ่นยนต์, ล้อขับเคลื่อนด้านขวา และ ล้อขับเคลื่อนด้านซ้ายของหุ่นยนต์ หาได้จากสมการที่ 6, 7 และ 8

$$T_c = \frac{1}{2} m_c v_c^2 + \frac{1}{2} I_c \dot{\theta}^2 \quad (6)$$

$$T_{wR} = \frac{1}{2} m_w v_{wR}^2 + \frac{1}{2} I_m \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_w \dot{\theta}_R^2 \quad (7)$$

$$T_{wL} = \frac{1}{2} m_w v_{wL}^2 + \frac{1}{2} I_m \dot{\theta}^2 + \frac{1}{2} I_w \dot{\theta}_L^2 \quad (8)$$

นำสมการที่ 6, 7 และ 8 แทนลงในสมการที่ 5 ได้ตั้งสมการที่ 9

$$T = \frac{1}{2} m (\dot{x}_r^2 + \dot{y}_r^2) + m_c d \dot{\theta} (\dot{y}_r \cdot \cos(\theta) - \dot{x}_r \cdot \sin(\theta)) \quad (9)$$

$$+ \frac{1}{2} I_w (\dot{\theta}_R^2 + \dot{\theta}_L^2) + \frac{1}{2} I \dot{\theta}^2$$

เมื่อ  $I = I_c + m_c d^2 + 2m_w L^2 + 2I_m$  และ  $m = m_c + 2m_w$  จากนั้นนำสมการที่ 9 แทนค่าลงในสมการที่ 3 และจัดรูปให้อยู่ในสมการแบบจำลองพลศาสตร์ของหุ่นยนต์ได้ว่า

$$\bar{M}(q) \cdot \ddot{\eta} + \bar{V}(q, \dot{q}) \cdot \dot{\eta} = \bar{B}(q) \cdot \tau \quad (10)$$

$$\bar{M}(q) = \begin{bmatrix} I_w + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) & \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) \\ \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) & I_w + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) \end{bmatrix}$$

$$\bar{V}(q, \dot{q}) = \begin{bmatrix} 0 & \frac{R^2}{2L} m_c d \dot{\theta} \\ -\frac{R^2}{2L} m_c d \dot{\theta} & 0 \end{bmatrix}$$

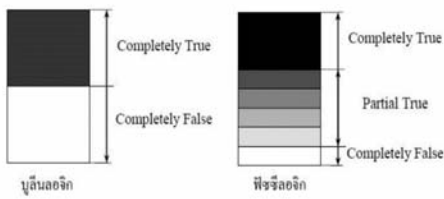
$$\bar{B}(q) = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}, \quad \tau = \begin{bmatrix} \tau_R \\ \tau_L \end{bmatrix}, \quad \dot{\eta} = \begin{bmatrix} \dot{\theta}_R \\ \dot{\theta}_L \end{bmatrix}$$

ตารางที่ 1 ค่าตัวแปรต่างๆ ของหุ่นยนต์

ตัวแปร	คำอธิบาย	ขนาด
$m_c$	มวลของหุ่นยนต์	8 kg
$m_w$	มวลล้อของหุ่นยนต์	0.6 kg
$I_c$	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนตั้งของหุ่นยนต์	0.48 kg·m <sup>2</sup>
$I_m$	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนรัศมีของล้อ	8.43×10 <sup>-4</sup> kg·m <sup>2</sup>
$I_w$	โมเมนต์ความเฉื่อยรอบแกนหมุนของล้อ	0.0017 kg·m <sup>2</sup>
$d$	ระยะจากศูนย์กลางระหว่างล้อถึงจุด CG	0.15 m
$L$	ระยะจากล้อถึงล้อศูนย์กลางระหว่างล้อ	0.25 m
$R$	รัศมีของล้อ	0.075 m

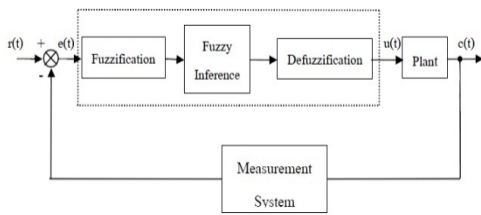
### 3. ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก

ฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic) เป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทมากขึ้นในวงการวิจัยด้านคอมพิวเตอร์ และได้ถูกนำไปประยุกต์ใช้ในงานต่างๆ มากมาย เช่น ด้านการแพทย์ ด้านการทหาร ด้านธุรกิจ ด้านอุตสาหกรรม เป็นต้น ถูกคิดค้นโดย L. A. Zadeh ในปี ค.ศ. 1965 ซึ่งเป็นผลงานวิทยานิพนธ์ระดับปริญญาเอก ฟัซซีลอจิกเป็นตรรกะที่อยู่บนพื้นฐานความเป็นจริงที่ว่า ทุกสิ่งบนโลกแห่งความเป็นจริงไม่ใช่มีเฉพาะสิ่งมีความแน่นอนเท่านั้น แต่มีหลายสิ่งหลายเหตุการณ์ที่เกิดขึ้นอย่างไม่เที่ยงและไม่แน่นอน อาจเป็นสิ่งที่คลุมเครือไม่ชัดเจน ซึ่งเป็นลักษณะของความไม่แน่นอนทางธรรมชาติที่เกิดขึ้นทั่วไป โดยการบอกความเป็นไปได้ของเหตุการณ์ที่ไม่แน่นอนเช่นนี้จะถูกสร้างขึ้นเป็นฟังก์ชันหรือเซตเรียกว่าฟัซซีเซต (Fuzzy Set) [18] โดยฟัซซีลอจิกจะมีการต่อขยายในส่วนค่าความจริงเพิ่มเข้ามาเพื่อบอกถึงความคลุมเครือต่างกับบูลีนลอจิกที่มีเฉพาะส่วนของค่าจริงกับเท็จเท่านั้น



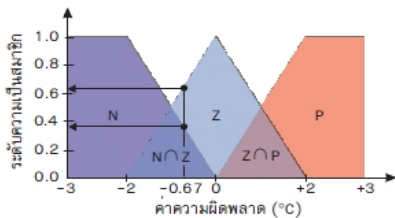
รูปที่ 2 ตรรกะแบบจริงเท็จและตรรกะแบบฟัซซี [18]

ฟัซซีลอจิกสำหรับการควบคุมจะมีส่วนประกอบหลักๆ ที่สำคัญอยู่ 3 ส่วน แสดงดังรูปที่ 3



รูปที่ 3 ระบบควบคุมของฟัซซีลอจิก [18]

ส่วนแรกของระบบควบคุมฟัซซีลอจิกเรียกว่าฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) จะเป็นการแปลงข้อมูลอินพุตที่ฟัซซีรับเข้ามา ให้อยู่ในรูปแบบของค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกซึ่งจะแทนด้วยตัวแปรทางภาษา โดยจะเป็นการคำนวณหาค่าระดับความเป็นสมาชิกของตัวแปรทางภาษานั้นๆ จากอินพุตที่เป็นค่าเชิงตัวเลข



รูปที่ 4 การทำฟัซซีฟิเคชันแปลงค่าอินพุต [18]

ส่วนของการวินิจฉัย (Fuzzy Inference) ซึ่งเป็นส่วนที่สองจะทำหน้าที่ประเมินค่าของตัวแปรที่ได้จากกฎของฟัซซี และทำการวิเคราะห์อินพุตตามเงื่อนไขที่

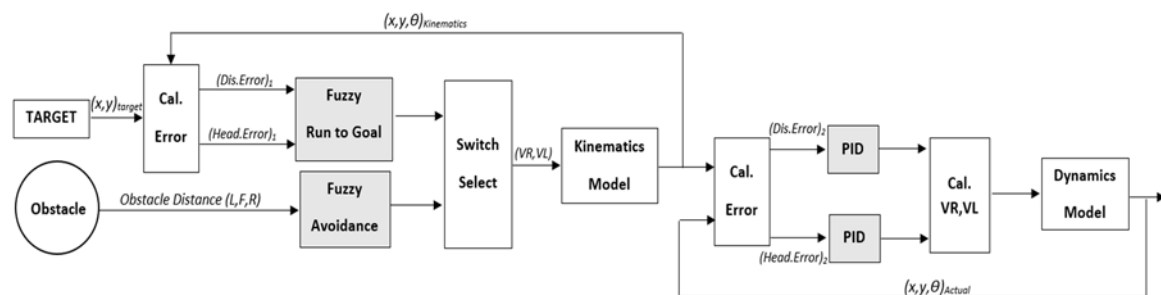
กำหนดเอาไว้ โดยการควบคุมนั้นจะอยู่ในลักษณะของกฎ IF-THEN Rules ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ ส่วนของอินพุต (IF) และส่วนของเอาต์พุต (THEN) เมื่อได้เอาต์พุตจากแต่ละกฎการควบคุมแล้วจะถูกนำมา รวมกันให้มีเพียงค่าเดียวเพื่อใช้สำหรับส่วนสุดท้ายคือ ดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification) จะทำหน้าที่แปลงเอาต์พุตของระบบที่ได้มาให้อยู่ในรูปแบบที่สามารถนำไปใช้งานสำหรับการควบคุมได้ โดยการแปลงค่าจากผลการรวมเอาต์พุตของแต่ละกฎให้อยู่ในรูปของค่าที่ชัดเจน แสดงดังสมการที่ 11 [18]

$$Y = \frac{\sum \mu_n y_n}{\sum \mu_n} \quad (11)$$

โดยที่  $Y$  คือเอาต์พุตของระบบ  
 $\mu_n$  คือเอาต์พุตที่ได้จากแต่ละกฎ  
 $y_n$  คือค่าความเป็นสมาชิกของเอาต์พุต

#### 4. การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ประกอบด้วยส่วนที่สำคัญ 2 ส่วนคือ การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ จากตัวควบคุมฟัซซีลอจิกโดยทำการกำหนดตำแหน่งของเป้าหมายที่ต้องการไว้ ซึ่งหากมีสิ่งกีดขวางตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะสร้างเส้นทางใหม่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้นและสร้างเส้นทางไปยังตำแหน่งเป้าหมาย สำหรับส่วนที่สองคือการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้นโดยใช้ตัวควบคุมพีไอดีควบคุมค่าความผิดพลาดของตำแหน่งและมุมหันเหของหุ่นยนต์กับเป้าหมาย ซึ่งผังไดอะแกรมการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ แสดงดังรูปที่ 5



รูปที่ 5 ผังการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์

4.1 Fuzzy Run to Goal

ใช้ควบคุมการสร้างเส้นทางให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ โดยมีค่าอินพุต 2 ตัว คือค่าความผิดพลาดของระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับตำแหน่งเป้าหมาย (Distance Error) หาได้จากสมการที่ 12 มีตัวแปรทางภาษาที่เป็นฟังก์ชันทั้งหมด 7 ตัว ประกอบด้วย Z=Zero, NZ=Near Zero, N=Near, M=Medium, NF=Near Far, F=Far, VF=Very Far และอินพุตตัวที่ 2 คือค่าความผิดพลาดของมุมระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมาย (Heading Error) หาได้จากสมการที่ 13 มีตัวแปรทางภาษาที่เป็นฟังก์ชันทั้งหมด 7 ตัว ประกอบด้วย N=Negative, SN=Small Negative, NNZ=Near Negative Zero, Z=Zero, NPZ=Near Positive Zero, SP=Small Positive, P=Positive โดยได้เอาท์พุตออกมาเป็นความเร็วของล้อขับเคลื่อนด้านซ้ายและขวา มีตัวแปรทางภาษาที่เป็นฟังก์ชันทั้งหมด 7 ตัว ประกอบด้วย Z=Zero, S=Small, NM=Near Medium, M=Medium, NH=Near High, H=High, VH=Very High แสดงดังรูปที่ 6

$$Dis. Error_1 = \sqrt{(x_{tar} - x_{kine})^2 + (y_{tar} - y_{kine})^2} \quad (12)$$

$$Head Error_1 = atan2((y_{tar} - y_{kine}), (x_{tar} - x_{kine})) - \theta_{kine} \quad (13)$$

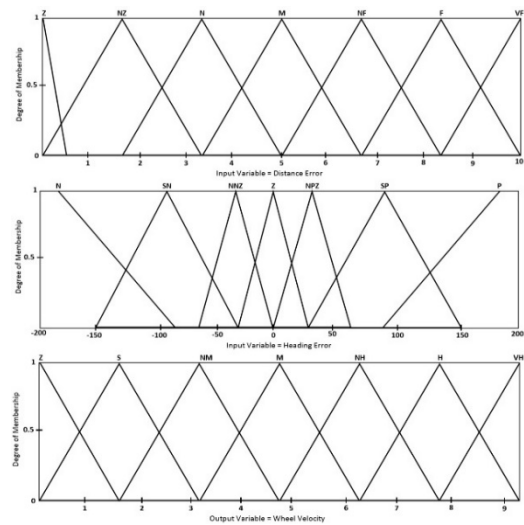
โดยที่  $x_{tar}, y_{tar}$  คือตำแหน่งของเป้าหมาย  
 $x_{kine}, y_{kine}, \theta_{kine}$  คือตำแหน่งและมุมหันเหที่ได้จากแบบจำลองทางจลนศาสตร์ของหุ่นยนต์

4.2 Fuzzy Avoidance

ใช้สำหรับสร้างเส้นทางสำหรับหลบหลีกสิ่งกีดขวางในกรณีที่หุ่นยนต์มีการตรวจพบสิ่งกีดขวาง การเคลื่อนที่อยู่ โดยมีค่าอินพุตเป็นระยะของสิ่งกีดขวางที่ตรวจพบได้ (Obstacle Distance) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ด้านหน้า, ด้านซ้าย และด้านขวา ของหุ่นยนต์ มีตัวแปรทางภาษาที่เป็นฟังก์ชันทั้งหมด 3

ตารางที่ 2 กฎในการควบคุมของ Fuzzy Run to Goal

Angle Error	Dis. Error	N	SN	NNZ	Z	NPZ	SP	P
Z	L=Z	L=Z	L=Z	L=Z	L=Z	L=NM	L=NM	L=M
	R=M	R=NM	R=NM	R=Z	R=Z	R=Z	R=Z	R=Z
NZ	L=S	L=S	L=Z	L=S	L=M	L=NH	L=H	
	R=H	R=NH	R=M	R=S	R=Z	R=S	R=S	
N	L=S	L=S	L=S	L=NM	L=NH	L=H	L=VH	
	R=VH	R=H	R=NH	R=NM	R=S	R=S	R=S	
M	L=S	L=S	L=S	L=M	L=H	L=H	L=VH	
	R=VH	R=H	R=H	R=M	R=S	R=S	R=S	
NF	L=S	L=S	L=NM	L=NH	L=NH	L=H	L=VH	
	R=VH	R=H	R=NH	R=NH	R=NM	R=S	R=S	
F	L=S	L=S	L=M	L=H	L=NH	L=H	L=VH	
	R=VH	R=H	R=NH	R=H	R=M	R=S	R=S	
VF	L=S	L=S	L=NM	L=VH	L=NH	L=H	L=VH	
	R=VH	R=H	R=NH	R=VH	R=NM	R=S	R=S	

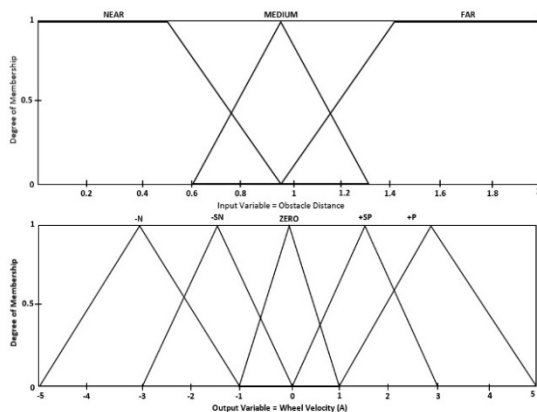


รูปที่ 6 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุตและเอาท์พุต ของ Fuzzy Run to Goal

ตัว ประกอบด้วย NEAR, MEDIUM, FAR โดยจะได้เอาท์พุตออกมาเป็นความเร็วของล้อขับเคลื่อนด้านซ้ายและขวา มีตัวแปรทางภาษาที่เป็นฟังก์ชันทั้งหมด 5 ตัว ประกอบด้วย P=Positive, SP=Small Positive, Z=Zero, SN=Small Negative, N=Negative แสดงดังรูปที่ 6

ตารางที่ 3 กฎในการควบคุมของ Fuzzy Avoidance

LEFT Obs.	FRONT Obs.	RIGHT Obs.	LEFT Wheel	RIGHT Wheel
N	N	N	N	N
N	N	M	SP	SN
N	N	F	SP	N
N	M	N	SN	SN
N	M	M	SP	SN
N	M	F	SP	Z
N	F	N	SN	SP
N	F	M	SP	Z
N	F	F	SP	Z
M	N	N	SN	SP
M	N	M	N	SN
M	N	F	Z	N
M	M	N	Z	SP
M	M	M	Z	SP
M	M	F	SP	Z
M	F	N	Z	SP
M	F	M	SP	SP
M	F	F	P	SP
F	N	N	N	SP
F	N	M	N	Z
F	N	F	N	P
F	M	N	Z	SP
F	M	M	Z	SP
F	M	F	Z	P
F	F	N	Z	P
F	F	M	SP	P
F	F	F	P	P



รูปที่ 7 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกอินพุตและเอาท์พุตของ Fuzzy Avoidance

#### 4.3 ตัวควบคุมพีไอดี [19]

ตัวควบคุมพีไอดีเป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับรูปแบบหนึ่ง ซึ่งใช้การควบคุมในระบบวงปิด (Closed Loop Control) มีการใช้งานกันอย่างกว้างขวาง โดยค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ (Input) โดยตัวควบคุมจะพยายามลดค่าความผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุด โดยการปรับค่าอัตราขยาย Kp, Ki และ Kd ซึ่งได้เอ้าท์พุตออกมาสำหรับการควบคุมแสดงดังสมการที่ 14

$$Output = K_p e(t) + K_i \int_0^t e(\tau) d\tau + K_d \frac{d}{dt} e(t) \quad (14)$$

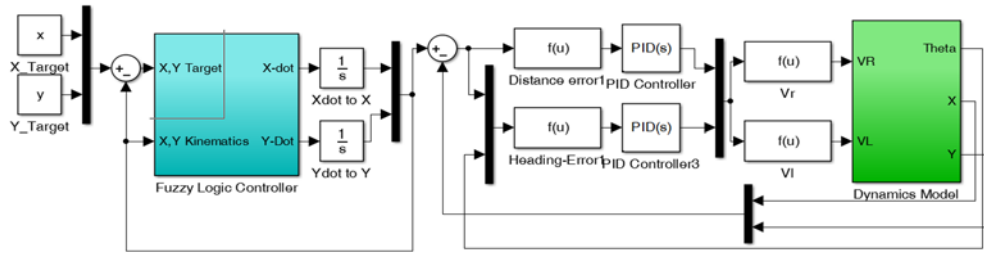
สำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่นั้นจะใช้ตัวควบคุมพีไอดีในการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้นโดยจะทำการควบคุมค่าความผิดพลาดของตำแหน่งระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมาย (Distance Error) และค่าความผิดพลาดของมุมหันเหระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมาย (Heading Error) แสดงดังสมการที่ 15 และสมการที่ 16 จากนั้นแปลงเป็นสัญญาณอินพุตเพื่อส่งสัญญาณควบคุมไปยังแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของตัวหุ่นยนต์

$$Dis. Error_2 = \sqrt{(x_{kine} - x_{act})^2 + (y_{kine} - y_{act})^2} \quad (15)$$

$$Head. Error_2 = atan2((y_{kine} - y_{act}), (x_{kine} - x_{act})) - \theta_{act} \quad (16)$$

#### 5. การทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์

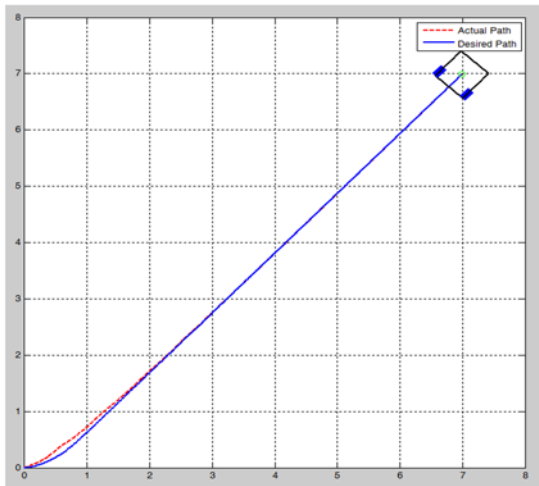
โดยการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink แสดงดังรูปที่ 8 ทำการจำลองการเคลื่อนที่ใน 2 กรณีคือการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายแบบไม่มีสิ่งกีดขวาง และการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายแบบมีสิ่งกีดขวางอยู่ด้วย



รูปที่ 8 ซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink

5.1 การเคลื่อนที่แบบไม่มีสิ่งกีดขวาง

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้น (0,0) ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (7,7) โดยไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ แสดงดังรูปที่ 9 โดยเส้นทึบหนา คือเส้นทางที่สร้างขึ้นและเส้นประคือตำแหน่งเส้นทางที่หุ่นยนต์วิ่งได้จริง ซึ่งตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบไว้สามารถสร้างเส้นทางเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายให้กับหุ่นยนต์และหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้

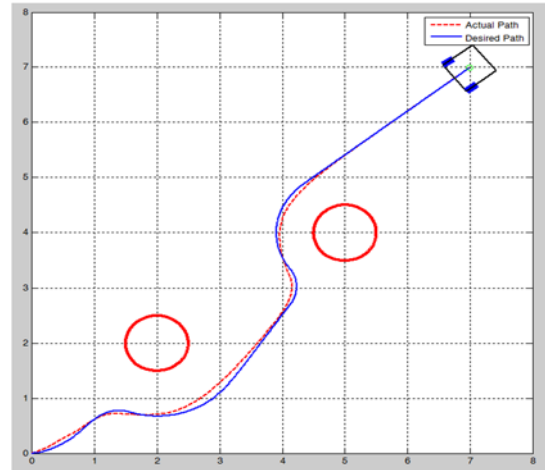


รูปที่ 9 ผลการทดสอบเคลื่อนที่โดยไม่มีสิ่งกีดขวาง

5.2 การเคลื่อนที่แบบมีสิ่งกีดขวางขนาดเท่ากัน

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้น (0,0) ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (7,7) โดยมีสิ่งกีดขวางเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากัน 2 ชั้น ที่ตำแหน่ง (2,2) และ (5,4) แสดงดังรูปที่ 10 โดยเส้นทึบหนา คือเส้นทางที่สร้างขึ้นและเส้นประคือตำแหน่งเส้นทางที่หุ่นยนต์วิ่งได้จริง จะเห็นได้ว่า

เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสามารถสร้างเส้นทางเพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางทั้ง 2 ชั้นไปยังตำแหน่งเป้าหมายและหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายได้

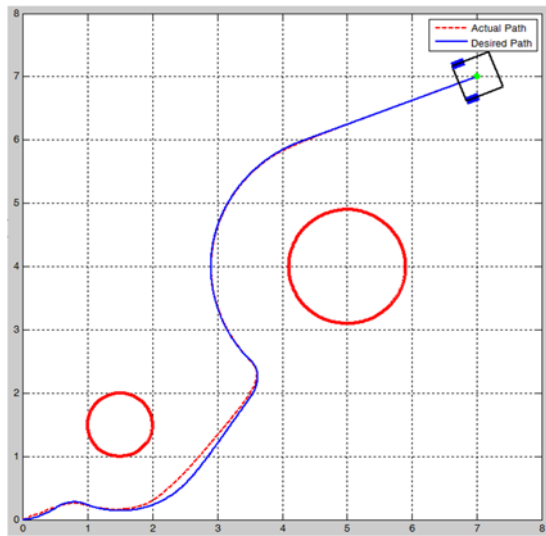


รูปที่ 10 ผลการทดสอบโดยมีสิ่งกีดขวางขนาดเท่ากัน

5.3 การเคลื่อนที่แบบมีสิ่งกีดขวางขนาดต่างกัน

ผลการทดสอบการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้น (0,0) ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (7,7) โดยมีสิ่งกีดขวางเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางต่างกัน 2 ชั้น ที่ตำแหน่ง (1.5, 1.5) และ (5,4) แสดงดังรูปที่ 11 โดยเส้นทึบหนา คือเส้นทางที่สร้างขึ้นและเส้นประคือตำแหน่งเส้นทางที่หุ่นยนต์วิ่งได้จริง เห็นได้ว่าเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางนั้นตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะสร้างเส้นทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางทั้ง 2 ชั้นเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายและหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้





รูปที่ 11 ผลการทดสอบโดยมีสิ่งกีดขวางขนาดต่างกัน

## 6. สรุป

บทความนี้นำเสนอการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี-ลอจิกเพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ (Differential Drive Mobile Robot) โดยทำการออกแบบตัวควบคุมฟัซซีลอจิก 2 ชนิดคือ Fuzzy Run to Goal และ Fuzzy Avoidance ในการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ให้กับหุ่นยนต์จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายพร้อมทั้งหลบหลีกสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ และใช้ตัวควบคุมพีไอดีในการควบคุมค่าความผิดพลาดให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งจากผลการทดสอบพบว่าตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่ออกแบบไว้สามารถสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่เพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ และเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวางจะมีการสร้างเส้นทางใหม่เพื่อหลบหลีกและไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ โดยที่ตัวควบคุมพีไอดีสามารถควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดไว้ได้เช่นกัน โดยวิธีในการหาค่าอัตราขยายสำหรับควบคุมนั้นใช้วิธีการปรับค่าอัตราขยายโดยการสังเกตจากพฤติกรรมเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ซึ่งในการทดสอบใช้ค่าอัตราขยาย  $K_p = 5$ ,  $K_i = 0.1$  และ  $K_d = 0.02$  โดยมีความผิดพลาดของตำแหน่งหุ่นยนต์กับเส้นทางสูงสุดเท่ากับ 0.2 เมตร บริเวณขณะที่หุ่นยนต์

หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ซึ่งเกิดจากความเร็วของการสร้างเส้นทางที่เปลี่ยนไปเมื่อพบหรือผ่านสิ่งกีดขวาง ทำให้ค่าอัตราขยายเดิมที่ใช้ควบคุมหุ่นยนต์นั้นไม่สามารถควบคุมให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางได้ทัน ดังนั้นแนวทางในการพัฒนาต่อไปคือการนำเอาตัวควบคุมที่สามารถปรับค่าอัตราขยายได้ในส่วนของการควบคุมตำแหน่งของหุ่นยนต์ให้สามารถติดตามเส้นทางหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้อย่างถูกต้องมากขึ้น

## 7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรีที่ได้สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

## 8. เอกสารอ้างอิง

- [1] กระทรวงวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี. (2557, ธันวาคม. 22). โครงการ “ดินสอด” หุ่นยนต์อัจฉริยะ, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.most.go.th/main/index.php/intro/structural-units/1458.html>
- [2] NASA Jet Propulsion Lab. (2015, Jan. 14). *Mars Exploration Rover*. [Online] Available: <http://mars.nasa.gov/mer/gallery/artwork/rover3browse.html>
- [3] H. L. Jun, L. Cong, L. Hoon, and M. L. Jang, “Sliding Mode Control for Trajectory Tracking of Mobile Robot in the RFID Sensor Space,” *International Journal of Control, Automation and System*, Vol. 7, pp. 429-435, 2009.
- [4] B. Saso and B. Miguel, “Trajectory Tracking for Nonholonomic Mobile Robots based on Extend Models”. *18th IFAC World Congress Milano*. 28 Aug. 2011. Italy : 5938-5943, (2011).
- [5] S. A. Ramzy, A. A. Ammar and K. A. Ali, “Design an Optimal PID Controller using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithm for Autonomous Mobile Robot,” *International*

- Journal of Computer Applications*, Vol. 100, pp. 8-16, 2014.
- [6] R. Fierro. and F. L. Lewis, "Control of a Nonholonomic Mobile Robot: Backstepping Kinematics into Dynamics," *Journal of Robotics System*, Vol. 14, pp. 149-163, 1997.
- [7] D. Rached and Abu H. Ahmad, "Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework," *Journal of Advances in Robotics & Automation*, Vol.2, pp.2-7, 2013.
- [8] Y. Alpaslan and P. Osman, "Performance Comparison of Bug Algorithms for Mobile Robots". *5th International Advanced Technologies Symposium (IATS'09)*. 13 May 2009. Karabuk, Turkey. 2009.
- [9] S. Mahadevi, K. R. Shylaja and M. E. Ravinandan, "Memory Based A-Star Algorithm for Path Planning of a Mobile Robot," *International Journal of Science and Research (IJSR)*, Vol. 3, pp. 1351-1355, 2014.
- [10] Ae Suwapan (2558, มกราคม. 20). ฟัซซี่ลอจิก Fuzzy Logic. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://www.academia.edu/7750667/บทที่18ฟัซซี่ลอจิกFuzzyLogic>.
- [11] S. M. Raguraman, D. Tamilselvi and N. Shivakumar, "Mobile Robot Navigation Using Fuzzy logic Controller". *International Conference on Control, Automation, Communication and Energy Conservation*. 4 June 2009. India : 1-5, (2009).
- [12] L. Xi and C. Byung-Jae, "Design of Obstacle Avoidance System for Mobile Robot using Fuzzy Logic Systems," *International Journal of Smart Home*, Vol. 7, pp. 321-328, 2013.
- [13] R. Limin, W. Weidong and D. Zhijiang, "A New Fuzzy Intelligent Obstacle Avoidance Control Strategy for Wheel Mobile Robot". *International Conference on Mechatronics and Automation*. 5 Aug. 2012, China : 1732-1737, (2012).
- [14] L. Xi and C. Byung-Jae, "An Intelligent Control System for Mobile Robot Navigation Tasks in Surveillance". *International Conference on Robot Intelligence Technology and Applications (RiTA)*, USA : 449-462, (2013).
- [15] F. Mohammed, H. Ramdane, Al S. Mansour and Al M. Khalid, "Fuzzy Logic Navigation and Obstacle Avoidance by a Mobile Robot in an Unknown Dynamic Environment," *International Journal of Advanced Robotic Systems*, Vol.10 pp1-7, 2013.
- [16] A. M. Ekta, "Trajectory Tracking of Differential Drive Wheeled Mobile Robot," *International Journal on Mechanical Engineering and Robotics (IJMER)*, Vol. 2, pp. 28-31, 2014.
- [17] I. Edouard, P. Toni and P. Ivan, "Modelling of Mobile Robot Dynamics". *Proceeding of the 7th EUROSIM Congress on Modelling and Simulation*. Czech, (2010).
- [18] ประหยัด สุพะท่า. (2557, ธันวาคม. 18). Fuzzy Logic, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <http://alaska.reru.ac.th/text/fuzzylogic.pdf>
- [19] วิกิพีเดีย สารานุกรมเสรี. (2558, มีนาคม. 20), ระบบควบคุมพีไอดี. [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: <https://th.wikipedia.org/wiki/ระบบควบคุมพีไอดี>