



# การออกแบบตัวควบคุมฟuzzy+พีซีสำหรับการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายในอาคาร ไกรศักดิ์ โพธิ์ทองคำ\* และมนุศักดิ์ จานทอง

## PID+Fuzzy Controller Design for Obstacle Avoidance of Indoor Mobile Robot

Kraisak Phothongkum\* and Manusak Janthong

ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ธัญบุรี ปทุมธานี 12110

Department of Mechanical Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Thanyaburi, Pathumthani 12110

\* Corresponding author. E-mail address: kraisak\_p@mail.rmutt.ac.th

### บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการใช้ตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ขับเคลื่อน 2 ล้อ โดยเป็นการนำมาประยุกต์ใช้งานร่วมกับการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ในระบบคาร์ทีเซียนและตัวควบคุมพีซี เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดไว้ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการพร้อมทั้งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้แบบอัตโนมัติ ซึ่งในงานนี้จะทำการทดสอบวิธีการควบคุมที่จะนำมาใช้กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่อัตโนมัติที่จะสามารถนำมาใช้ทดแทนการใช้แรงงานมนุษย์ในการขนถ่ายสิ่งของวัสดุภายในโรงงานหรือคลังสินค้าได้ โดยทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยโมเดลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่มีรูปแบบการขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ซึ่งจากผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์พบว่าตัวควบคุมฟuzzy-พีซีสามารถควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ โดยตัวควบคุมฟuzzyลอจิกสามารถสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ใหม่เพื่อหลบหลีกสิ่งกีดขวางให้กับหุ่นยนต์ได้ในกรณีที่หุ่นยนต์มีการตรวจพบสิ่งกีดขวางในเส้นทางการเคลื่อนที่หลัก ซึ่งเมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถึงตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการแล้วมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมายสูงสุดไม่เกิน 0.025 เมตร

คำสำคัญ: หุ่นยนต์เคลื่อนที่ หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ตัวควบคุมฟuzzyลอจิก

### Abstract

This article presents the fuzzy logic controller used for motion control of 2-wheel mobile robot. The trajectory planning in cartesian space and PID controller is applied to track specified path toward a desired target point and to avoid the obstacle automatically. In this work, experimentations of the proposed algorithm for autonomous mobile robot can help to replace workers for material handling in factory or warehouse. Motion simulation using a mathematical model of differential drive mobile robot is performed by MATLAB/Simulink software. Simulation results show that the fuzzy-PID controller can control mobile robot to move along desired path toward the target, and then the fuzzy logic controller is able to generate a new path for mobile robot to avoid the obstacle when mobile robot detects the obstacle in original planned path and distance error when mobile robot reaches the target is less than 0.025 meters.

Keywords: Mobile Robot, Obstacle Avoidance, Fuzzy Logic Controller

### บทนำ

ในปัจจุบันการขนย้ายสิ่งของวัสดุภายในโรงงานอุตสาหกรรมหรือภายในคลังสินค้านั้น โดยส่วนมากแล้ว

จะใช้แรงงานมนุษย์ในการเข็นหรือลากเพื่อเคลื่อนย้าย ซึ่งหากวัสดุนั้นมีน้ำหนักมากก็จำเป็นต้องใช้แรงงานหลายคน ทำให้มีการสิ้นเปลืองแรงงานและค่าใช้จ่ายที่สูงขึ้น รวมทั้งอาจทำให้พื้นที่ปฏิบัติงานหรือการจราจรภายใน



โรงงานหรือคลังสินค้านั้นติดขัดหรือเกิดความวุ่นวายได้ ซึ่งแนวทางหนึ่งในการแก้ไขปัญหาส่วนนี้ก็คือการนำเอา หุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้ามาช่วยทำงานแทนมนุษย์ เช่น หุ่นยนต์เคลื่อนที่ติดตามเส้นทางที่ได้มีการกำหนดเส้นทาง การเคลื่อนที่ไว้โดยการทาสีเส้นไว้กับพื้นที่ต้องการให้ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไป ซึ่งหุ่นยนต์ในลักษณะนี้อาจมี ข้อจำกัดในเรื่องของการตรวจรูสิ่งกีดขวางว่าเส้นทางที่จะ เคลื่อนที่ไปนั้นไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่หรือไม่และอาจ ทำให้เกิดอุบัติเหตุขึ้นได้ ด้วยเหตุนี้จึงมีแนวคิดที่จะ นำเอาหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบอัตโนมัติเข้ามาทำงานแทน รวมทั้งมีการควบคุมให้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ อัตโนมัติเพื่อป้องกันอุบัติเหตุที่อาจเกิดขึ้นจากสภาวะ แวดล้อมที่ไม่แน่นอนภายในพื้นที่ปฏิบัติงานนั้น ๆ ซึ่งใน พื้นที่ปฏิบัติงานนั้นต้องมีการกำหนดพิกัดหรือตำแหน่งที่ แน่นนอนไว้เพื่อใช้ในการอ้างอิงตำแหน่งจากตัวของหุ่นยนต์ เพื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการทำงาน

โดยมีงานวิจัยจำนวนมากที่เกี่ยวข้องกับหุ่นยนต์ เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง ซึ่งส่วนใหญ่แล้วจะมีการ นำเอาแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์มาทำการ ทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ด้วยซอฟต์แวร์ก่อนเพื่อ ทดสอบวิธีการหรืออัลกอริทึมที่จะนำมาใช้ในการควบคุม การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ ในส่วนของแบบจำลองที่ นำมาใช้ในการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ นั้น ประกอบด้วยแบบจำลองทางจลนศาสตร์ (Kinematics Model) (Lee, Lin, Lim, & Lee, 2009) และแบบจำลองทางพลศาสตร์ (Dynamics Model) (Ali, Aldair, & Almousawi, 2014) ซึ่งจะมีความ แตกต่างกันโดยแบบจำลองทางพลศาสตร์นั้นจะมีการ นำเอาค่ามวล โมเมนต์และแรงต่างๆที่เกี่ยวข้องกับตัว หุ่นยนต์เข้ามาทำการคำนวณด้วย โดยจะทำให้ผลลัพธ์ที่ ได้มีความใกล้เคียงกับการทำงานจริงของหุ่นยนต์มาก ยิ่งขึ้น เช่นวิธีการของลากรางจ์ (Lagrange's approach) หรือวิธีการของนิวตัน-ออยเลอร์ (Newton-Euler's approach) (Rached & Ahmad, 2013) ในส่วนของการ ควบคุมนั้นวิธีการหนึ่งที่นิยมนำมาประยุกต์ใช้กับหุ่นยนต์ เคลื่อนที่คือตัวควบคุมฟัซซีลอจิก ซึ่งจะมีหลักการคล้าย กับวิธีคิดของมนุษย์ ที่มีความซับซ้อนหรือคลุมเครือ และ มีเสถียรภาพสูงอีกด้วย (Xi & Byung-Jae, 2013) นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกสำหรับ

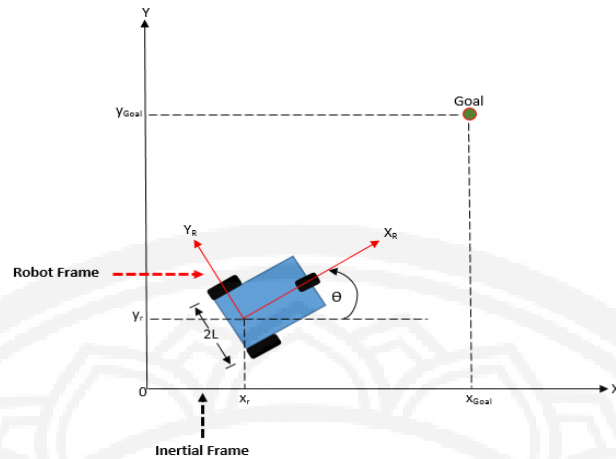
จำลองการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์ โดย ใช้แบบจำลองทางจลนศาสตร์ (Kinematics Model) โดย การสร้างเส้นทางเคลื่อนที่และควบคุมความเร็วล้อ ขับเคลื่อนทั้ง 2 ข้างเพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่ง กีดขวางไปยังตำแหน่งเป้าหมาย (Faisal, Hedjar, Sulaiman & Mutib, 2013) นำเสนอการใช้ฟัซซีลอจิก สำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยทำการ ทดสอบกับหุ่นยนต์จริง และมีการติดตั้งเซ็นเซอร์ ตรวจจับสิ่งกีดขวางด้วยอัลตราโซนิก เพื่อตรวจรูระยะ ของสิ่งกีดขวางกับหุ่นยนต์และนำไปใช้ป้อนข้อมูลของตัว ควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบ หลีกสิ่งกีดขวางนั้นเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้

โดยบทความนี้เป็นนำเสนอการประยุกต์ใช้ตัว ควบคุมฟัซซีลอจิกร่วมกับการสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ ในระบบคาร์ทีเซียนเพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยัง ตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการและสามารถหลบหลีกสิ่งกีด ขวางได้แบบอัตโนมัติ ซึ่งจะเป็นทดสอบจำลองการ เคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จากแบบจำลองทางคณิตศาสตร์โดย ใช้โปรแกรม MATLAB/Simulink

### วิธีการศึกษาและวัสดุอุปกรณ์

1. โมเดลทางคณิตศาสตร์ของหุ่นยนต์ คือ แบบจำลองของตัวหุ่นยนต์ที่เขียนออกมาเป็นสมการทาง คณิตศาสตร์ เพื่อใช้ในการศึกษาพฤติกรรมหรือใช้เพื่อ การจำลองการทำงานของหุ่นยนต์ก่อนที่จะทำการทดสอบ กับหุ่นยนต์จริง

1.1 Kinematics Model หรือแบบจำลองทาง จลนศาสตร์แสดงดังสมการที่ 1 โดยจากรูปที่ 1 แสดง ลักษณะของตัวหุ่นยนต์ขับเคลื่อนแบบดิฟเฟอเรนเชียล ไดรฟ์ (Differential Drive Mobile Robot) โดยประกอบ ไปด้วยล้อขับเคลื่อนด้านหลัง 2 ล้อ ที่เป็นอิสระต่อกัน และล้อตามด้านหน้า (Caster Wheel) เพื่อใช้ในการ สมดุลตัวหุ่นยนต์ มีเฟรมที่สำคัญ 2 เฟรมคือ เฟรม อ้างอิงหลักที่ไม่มีการเคลื่อนที่ (Initial Frame) ใช้ในการ บอกตำแหน่งของหุ่นยนต์ และเฟรมของตัวหุ่นยนต์ (Robot Frame) ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่หรือหมุนหันเหไป กับตัวหุ่นยนต์ด้วย มีจุดกำเนิดอยู่ระหว่างล้อขับเคลื่อน ทั้ง 2 ข้าง โดยแกน x ชี้ไปทางด้านหน้าของตัวหุ่นยนต์



รูปที่ 1 ลักษณะแบบจำลองของหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบดิฟเฟอเรนเชียลไดรฟ์

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

- เมื่อ  $x$  คือตำแหน่งของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับแกน  $x$  ของเฟรมอ้างอิง
- $y$  คือตำแหน่งของหุ่นยนต์เมื่อเทียบกับแกน  $y$  ของเฟรมอ้างอิง
- $\theta$  คือมุมหันเหของหุ่นยนต์เมื่อวัดเทียบกับแกน  $x$  ของเฟรมอ้างอิง
- $v$  คือ ความเร็วเชิงเส้นของหุ่นยนต์
- $\omega$  คือ ความเร็วเชิงมุมของหุ่นยนต์

จากสมการที่ 1 สามารถเขียนแบบจำลองทาง ล้อขับเคลื่อนซ้ายและขวาอยู่ในรูปแบบของเมทริกซ์ได้  
 จลนศาสตร์ของหุ่นยนต์ที่เป็นฟังก์ชันของความเร็วเชิงมุม เป็น (Mishra, 2014)

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

1.2 Dynamics Model หรือแบบจำลองทาง พลังงานจลน์ (Kinetic Energy) และพลังงานศักย์  
 พลศาสตร์ของหุ่นยนต์ สามารถหาได้จากสมการลากราง (Potential Energy) ของระบบ โดยสมการลากราง  
 รานจ์ (Lagrange's Equation) ซึ่งจะทำกรคำนวณจาก แสดงดังสมการที่ 3 (Edouard, Toni, & Ivan, 2010)

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



โดยที่

$$L = T - V$$

เมื่อ  $L$  คือ สมการลากรางจ์ (Lagrangian) $T$  คือ พลังงานจลน์รวมของระบบ (Total Kinetic Energy) $V$  คือ พลังงานศักย์รวมของระบบ (Total Potential Energy) $q_i$  คือ ระบบพิกัดที่สนใจ (Generalized Coordinate System) $Q_i$  คือ แรงในระบบพิกัดที่สนใจ (Generalized Force)

โดยเมื่อทำการแทนค่าลงในสมการลากรางจ์แล้ว  
จัดรูปให้อยู่ในรูปแบบของสมการแบบจำลองทาง  
พลศาสตร์ของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ได้ว่า

$$\bar{M}(q) \cdot \ddot{\eta} + \bar{V}(q, \dot{q}) \cdot \dot{\eta} = \bar{B}(q) \cdot \tau \quad (4)$$

โดยที่

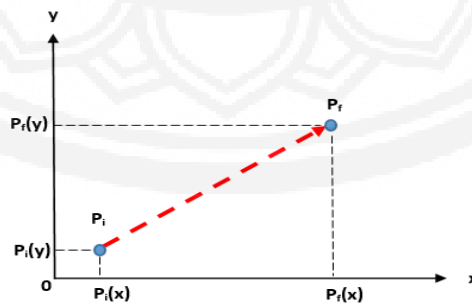
$$\bar{M}(q) = \begin{bmatrix} I_w + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) & \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) \\ \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 - I) & I_w + \frac{R^2}{4L^2}(mL^2 + I) \end{bmatrix}$$

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

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

2. การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่หลัก (Trajectory Planning in Cartesian Space) เป็นส่วนที่ใช้สร้างเส้นทางการเคลื่อนที่หลักของหุ่นยนต์โดยจะเป็นเส้นทางระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมายในแนวตรง และไม่ได้

พิจารณาถึงสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ โดยสมการที่นำมาประยุกต์ใช้เป็นของแขนกลหุ่นยนต์ใน 3 มิติ ซึ่งในกรณีของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่จะพิจารณา 2 มิติคือบนระนาบ  $x, y$  เท่านั้น (Luca, 2008)



รูปที่ 2 การสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่หลัก (Trajectory Planning)



เริ่มจากการกำหนดตำแหน่งเริ่มต้นของตำแหน่ง (L) และคำนวณหาระยะเวลาที่ใช้ในการสร้างหุ่นยนต์ ( $P_i$ ), ตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการ ( $P_f$ ), เส้นทางเคลื่อนที่สำหรับช่วงการเร่ง ( $T_s$ ) และเวลาที่ความเร็วสูงสุด ( $V_{max}$ ) และความเร่งสูงสุดที่ต้องการใช้ทั้งหมด (T) ( $a_{max}$ ) จากนั้นทำการคำนวณหาระยะทางระหว่าง 2

$$L = \|P_f - P_i\| \tag{5}$$

$$T_s = \frac{V_{max}}{a_{max}} \tag{6}$$

$$T = \frac{L \cdot a_{max} + V_{max}^2}{a_{max} \cdot V_{max}} \tag{7}$$

จากนั้นคำนวณหาระยะทางที่เพิ่มขึ้นซึ่งเป็นฟังก์ชันของเวลา ( $\sigma$ ) โดยจะแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลาคือที่  $t = 0$  ถึง  $T_s$ ,  $t = T_s$  ถึง  $T - T_s$  และ  $t = T - T_s$  ถึง  $T$

$$\sigma(t) = \begin{cases} a_{max} \cdot \frac{t^2}{2} & ; t \in [0, T_s] \\ V_{max} \cdot t - \frac{V_{max}^2}{2a_{max}} & ; t \in [T_s, T - T_s] \\ -a_{max} \cdot \frac{(t - T)^2}{2} + V_{max} \cdot T - \frac{V_{max}^2}{2a_{max}} & ; t \in [T - T_s, T] \end{cases} \tag{8}$$

สุดท้ายหาค่าสัมประสิทธิ์ของอัตราการสร้างเส้นทางเคลื่อนที่ (S) และจะได้สมการการสร้างเส้นทางเคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายเพื่อนำไปใช้งานกับหุ่นยนต์แสดงดังสมการที่ 10

$$S = \frac{\sigma}{L} \tag{9}$$

$$P(s) = P_i + S \cdot (P_f - P_i) \tag{10}$$

3. ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก (Fuzzy Logic Controller) เป็นศาสตร์ด้านการคำนวณที่เข้ามามีบทบาทสำคัญมากขึ้นในวงการวิจัย และได้มีการนำไปประยุกต์ใช้งานต่างๆ มากมาย ซึ่งฟัซซีลอจิกนั้นเป็นเครื่องมือที่เข้ามาช่วยในการตัดสินใจภายใต้ความไม่แน่นอนของข้อมูลโดยยอมให้มีความยืดหยุ่นได้ ซึ่งจะใช้หลักการเหตุผลที่คล้ายการเลียนแบบวิถีคิดของมนุษย์ (ประหยัด สุพะกำ, 2553)

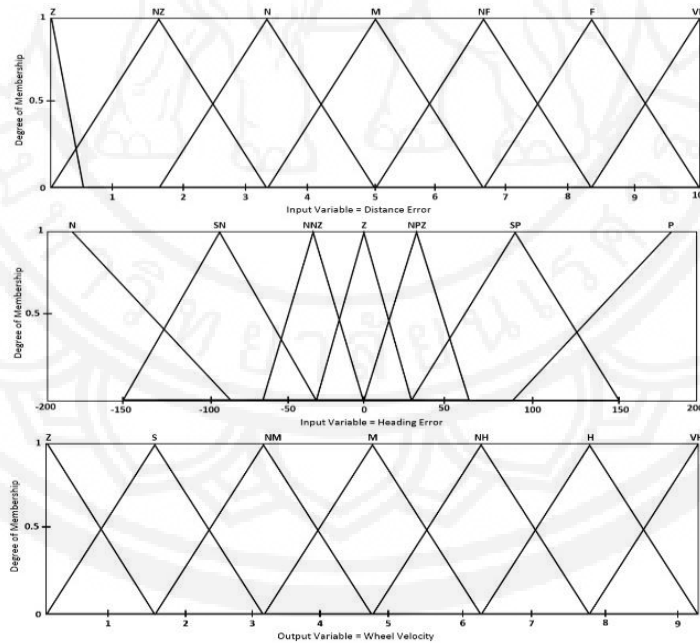
3.1 Fuzzy Tracking (FT) ใช้ในการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางหลักที่กำหนดไว้จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมาย รับค่าอินพุต 2 ค่า คือ ความผิดพลาดของระยะทาง (Distance Error) ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษาคือ {Z, NZ, N, M, NF, F, VF} และความผิดพลาดของมุมหันเห (Heading Error) ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษาคือ {N, SN,



NNZ, Z, NPZ, SP, P) โดยเมื่อประมวลผลแล้วจะได้ ขวา (VL, VR) ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษาคือ {Z, S, NM, M, NH, H, VH} แสดงดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 กฎในการควบคุมของ Fuzzy Tracking

Angle Er.	N	SN	NNZ	Z	NPZ	SP	P
Dis. Er.	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
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 3 ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ Fuzzy Tracking (FT)

3.2 Fuzzy Avoidance (FA) ใช้ในการควบคุม เพื่อสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ใหม่ให้กับหุ่นยนต์ในการ หลบหลีกสิ่งกีดขวางเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางการ

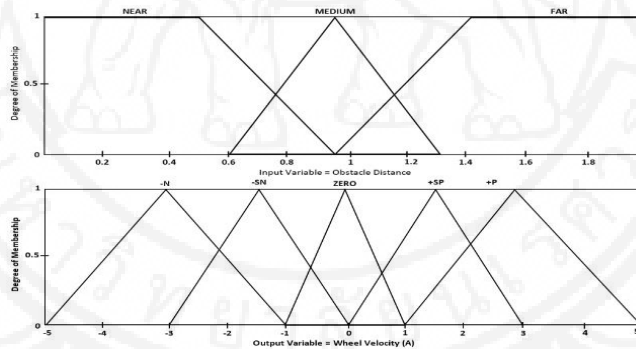
เคลื่อนที่อยู่ รับค่าอินพุตระยะของสิ่งกีดขวางที่ตรวจพบ ได้ (Obstacle Distance) แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ ด้านหน้า, ด้านซ้าย และด้านขวาของหุ่นยนต์



ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษาคือ {NEAR, MEDIUM, FAR} ซึ่งเมื่อประมวลผลแล้วได้เข้าที่พูดเป็นความเร็วของล้อขับเคลื่อนซ้ายและขวา (VL, VR) แสดงดังรูปที่ 4

ตารางที่ 2 กฎในการควบคุมของ Fuzzy Avoidance

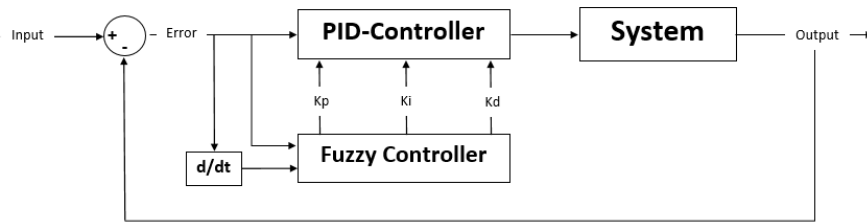
Obstacle Distance			Wheel Vel.	
Front	Right	Left	Left Vel.	Right Vel.
FAR	FAR	FAR	P+	P+
FAR	FAR	NEAR	P+	SP+
FAR	NEAR	FAR	SP+	P+
fAR	NEAR	NEAR	N-	SP+
NEAR	FAR	FAR	SP+	P+
NEAR	FAR	NEAR	P+	SP+
NEAR	NEAR	FAR	SP+	P+
NEAR	NEAR	NEAR	N-	P+
FAR	FAR	MEDIUM	SP+	SP+
FAR	MEDIUM	FAR	SP+	SP+
FAR	MEDIUM	MEDIUM	SP+	SP+
MEDIUM	FAR	FAR	ZERO	SP+
MEDIUM	FAR	MEDIUM	P+	SP+
MEDIUM	MEDIUM	FAR	SP+	P+
MEDIUM	MEDIUM	MEDIUM	ZERO	SP+



รูปที่ 4 ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ Fuzzy Avoidance (FA)

3.3 Fuzzy-PID (FPID) ใช้ในการเพิ่มประสิทธิภาพตัวควบคุมพีไอดี (PID Controller) ในการควบคุมหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่กำหนดได้อย่างถูกต้องมากขึ้น โดยจะมีการนำเอาค่าความผิดพลาด (Error) ของระบบมาคำนวณ ซึ่งหากระบบมีค่าความผิดพลาดที่เปลี่ยนไปจะมีการปรับค่าเกณฑ์โดยอัตโนมัติเพื่อความเหมาะสมในการควบคุมระบบในขณะนั้นๆ

โดยบล็อกไดอะแกรมการควบคุมแสดงดังรูปที่ 5 รับค่าอินพุต 2 ค่า คือ ความผิดพลาด (Error) ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษา {NB, NM, NS, ZE PS, PM, PB} และอัตราการเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด (Delta Error) ประกอบด้วยตัวแปรทางภาษา {NB, NM, NS, ZE PS, PM, PB} แสดงดังรูปที่ 6

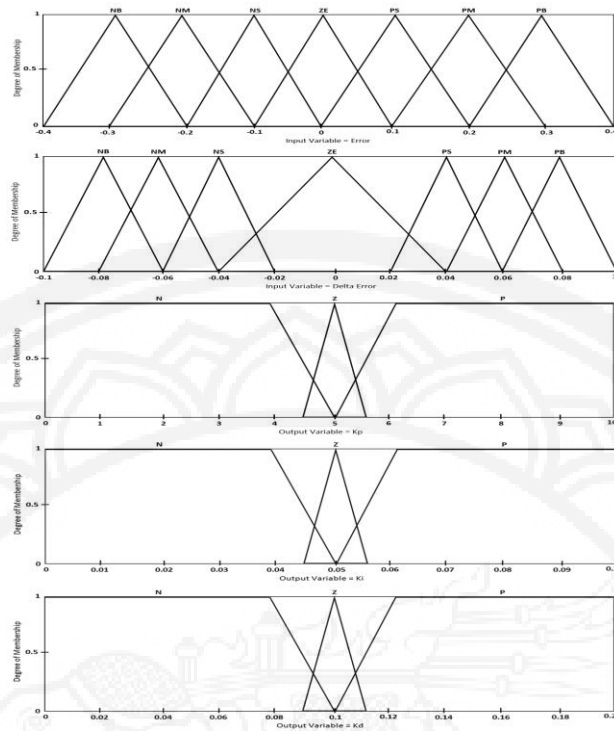


รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมตัวควบคุม Fuzzy-PID

ตารางที่ 3 กฎในการควบคุมของ Fuzzy-PID

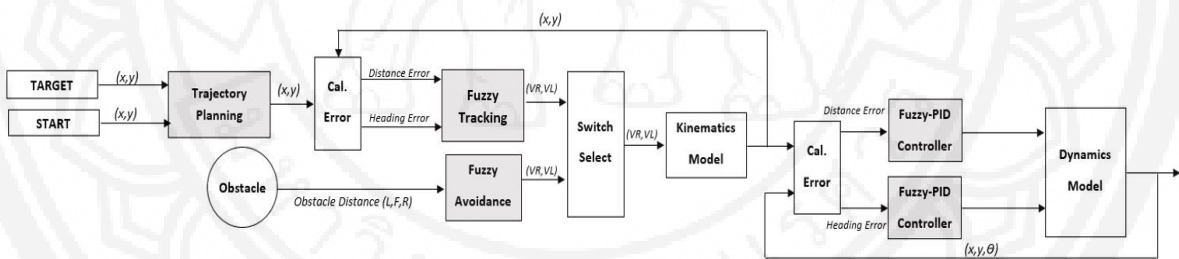
Delta-Error	Error								
	Kp		NB	NM	NS	ZE	PS	PM	PB
	Ki								
	Kd								
NB	P	Z	N	N	N	N	Z	P	
	N	P	P	N	P	P	P	N	
NM	P	Z	N	N	N	Z	P	P	
	P	P	Z	N	Z	P	Z	N	
NS	P	Z	Z	N	Z	Z	Z	P	
	P	P	Z	N	Z	P	P	P	
ZE	P	P	P	Z	P	P	P	P	
	N	N	N	Z	N	N	N	N	
PS	P	P	Z	N	Z	P	P	P	
	N	N	Z	P	Z	N	N	N	
PM	P	P	Z	N	Z	P	P	P	
	P	P	Z	N	Z	P	Z	N	
PB	P	Z	Z	N	Z	Z	Z	P	
	P	Z	N	N	P	Z	Z	P	
	P	Z	N	N	P	N	P	N	
	N	P	P	P	N	P	P	N	
	P	Z	N	N	P	Z	Z	P	



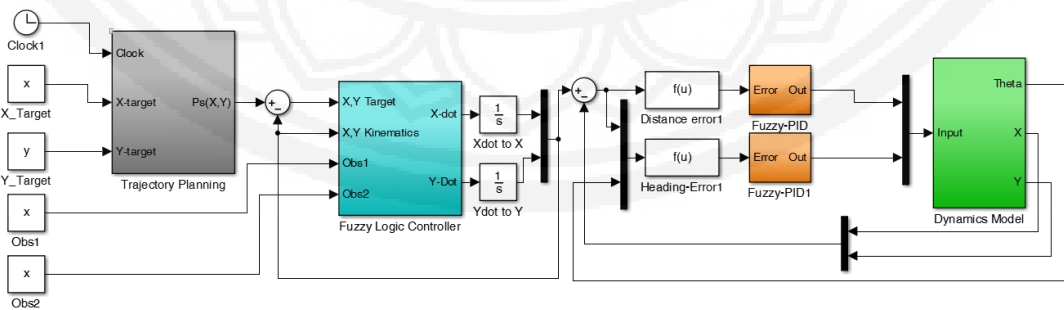


รูปที่ 6 ค่าฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของ Fuzzy-PID (FPID)

#### 4. การควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์



รูปที่ 7 โดอะแกรมการควบคุมจำลองการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง



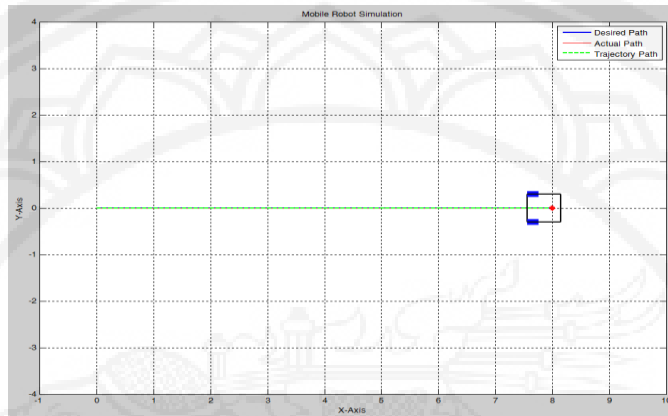
รูปที่ 8 ซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink ที่ใช้ในการควบคุมการทำงาน



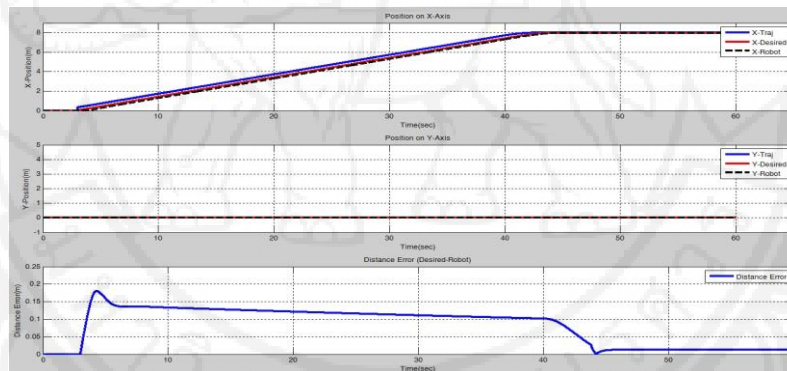
**ผลการศึกษา**

ในส่วนของการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะใช้ซอฟต์แวร์ MATLAB/Simulink โดยได้ทำการออกแบบโปรแกรมแสดงดังรูปที่ 8 ซึ่งการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่แบ่งออกเป็น 2 การทดสอบคือ การ

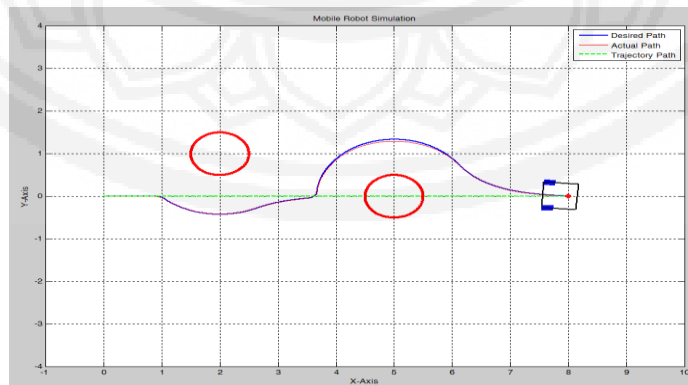
จำลองเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายโดยไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ เริ่มต้นที่ตำแหน่ง (0, 0) เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่ตำแหน่ง (8, 0) และกรณีที่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่รวมอยู่ด้วย เริ่มต้นที่ตำแหน่ง (0, 0) เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่ตำแหน่ง (8, 0) มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ 2 ชั้นที่ตำแหน่ง (2, 1) และ (5, 0)



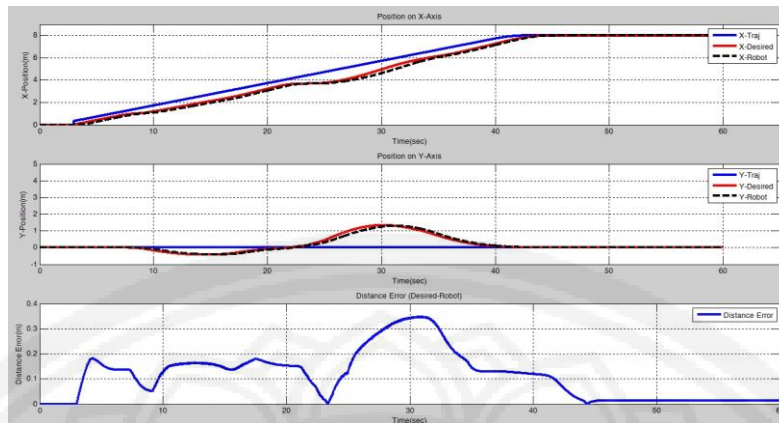
รูปที่ 9 ผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 10 ตำแหน่งของหุ่นยนต์และค่าความผิดพลาดของหุ่นยนต์กับเป้าหมายเทียบกับเวลากรณีไม่มีสิ่งกีดขวาง



รูปที่ 11 ผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์กรณีมีสิ่งกีดขวาง 2 ชั้น



รูปที่ 12 ตำแหน่งของหุ่นยนต์และค่าความผิดพลาดของหุ่นยนต์กับเป้าหมายเทียบกับเวลากรณีมีสิ่งกีดขวาง

### อภิปรายผลการศึกษา

จากรูปที่ 9 แสดงผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยแสดงเป็นเส้นทางการเคลื่อนที่หลัก (Trajectory), เส้นทางที่ได้จาก Kinematics Model (Desired) และเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของหุ่นยนต์ (Actual) โดยรูปที่ 10 แสดงตำแหน่งของการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่จากตัวควบคุมและตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์บนแกน x และ y เทียบกับเวลาที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่ต้องการ และค่าความผิดพลาดตำแหน่งของหุ่นยนต์กับเส้นทางการเคลื่อนที่ (Distance Error) เทียบกับเวลา ซึ่งจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายที่ต้องการซึ่งมีค่าไม่เกิน 0.025 เมตร

จากรูปที่ 11 แสดงผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แบบมีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่รวมอยู่ด้วยเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมาย โดยแสดงเป็นเส้นทางการเคลื่อนที่หลัก (Trajectory), เส้นทางที่ได้จาก Kinematics Model (Desired) และเส้นทางการเคลื่อนที่จริงของหุ่นยนต์ (Actual) ซึ่งเมื่อมีการตรวจพบสิ่งกีดขวางจะมีการสร้างเส้นทางใหม่เพื่อให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ตามเพื่อหลบหลีก โดยรูปที่ 12 แสดงตำแหน่งของการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่จากตัวควบคุมและตำแหน่งของตัวหุ่นยนต์บนแกน x และ y เทียบกับเวลาที่เคลื่อนที่จากตำแหน่งเริ่มต้นไปยังเป้าหมายที่ต้องการ และค่าความผิดพลาดตำแหน่งของหุ่นยนต์กับเส้นทางการเคลื่อนที่

(Distance Error) เทียบกับเวลา ซึ่งจะค่อย ๆ ลดลงเมื่อเคลื่อนที่เข้าใกล้เป้าหมายที่ต้องการซึ่งมีค่าไม่เกิน 0.025 เมตร

### สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

บทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ตัวควบคุมพีชซี ลอจิกและการสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่ในระบบคาร์ทีเซียน กับหุ่นยนต์เคลื่อนที่ 2 ล้อ โดยเป็นการจำลองการทำงานเสมือนหุ่นยนต์เคลื่อนที่ขนย้ายวัสดุภายในโรงงานหรือคลังสินค้าต่าง ๆ แทนการใช้งานแรงงานคนหรือหุ่นยนต์เคลื่อนที่แบบติดตามเส้นที่พื้น ซึ่งไม่สามารถตรวจรู้หรือหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ โดยจะเป็นการควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการพร้อมทั้งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้แบบอัตโนมัติ และทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยโปรแกรม MATLAB/Simulink ในสถานะที่มีและไม่มีสิ่งกีดขวางการเคลื่อนที่ ซึ่งจากผลการทดสอบจำลองการเคลื่อนที่พบว่า ตัวสร้างเส้นทางการเคลื่อนที่และตัวควบคุมพีชซีลอจิกที่ได้ทำการออกแบบไว้สามารถควบคุมให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปตามเส้นทางที่สร้างขึ้นเพื่อไปยังตำแหน่งเป้าหมายที่ต้องการได้ และกรณีที่มีการตรวจพบสิ่งกีดขวางหุ่นยนต์ก็สามารถหลบหลีกและเคลื่อนที่ผ่านไปยังเป้าหมายที่ต้องการได้เช่นกัน โดยมีค่าความผิดพลาดของตำแหน่งระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมายไม่เกิน 0.025 เมตร

สำหรับการพัฒนาต่อไปควรมีการทดสอบจำลองกับกลุ่มของหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลาย ๆ ตัว ทำงานพร้อมกันใน



สภาวะแวดล้อมเดียวกันเพื่อให้เหมือนกับสภาพการทำงานจริง และควรมีการทดสอบหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่กำลังมีการเคลื่อนที่ด้วย

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่ได้สนับสนุนทุนในการดำเนินการวิจัยในครั้งนี้

### เอกสารอ้างอิง

ประหยัด สุพะกำ. (2553). Fuzzy Logic. สืบค้นจาก <http://alaska.reru.ac.th/text/fuzzylogic.pdf> [1]

Luca, A. D. (2008). *Trajectory Planning in Cartesian space*. Retrieved from [http://www.diag.uniroma1.it/~deluca/rob1\\_en/14\\_TrajectoryPlanningCartesian.pdf](http://www.diag.uniroma1.it/~deluca/rob1_en/14_TrajectoryPlanningCartesian.pdf)

Ali, R. S., Aldair, A. A., & Almousawi, A. K. (2014). Design an Optimal PID Controller using Artificial Bee Colony and Genetic Algorithm for Autonomous Mobile Robot. *Computer Applications*, 100(16), 8-16.

Edouard, I., Toni, P., & Ivan, P. (2010). MODELLING OF MOBILE ROBOT DYNAMICS. In *Proceeding of the 7<sup>th</sup> EUROSIM Congress on Modelling and Simulation in Czech* (6-10 September 2010). N.P.: n.p.

Faisal, M., Hedjar, R., Al Sulaiman, M., & Al-Mutib, K. (2013). Fuzzy Logic Navigation and Obstacle avoidance by a Mobile Robot in an Unknown Dynamic Environment. *Advanced Robotics Systems*, 10, 1-7.

Lee, J. H., Lin, C., Lim, H., & Lee, J. M. (2009). Sliding Mode Control for Trajectory Tracking of Mobile Robot in the RFID Sensor Space. *Control, Automation and Systems*, 7, 429-435. DOI 10.1007/s12555-009-0312-7.

Mishra, E. A. (2014). Trajectory Tracking of Differential Drive Wheeled Mobile Robot. *Mechanical Engineering and Robotics (IJMER)*, 2, 28-31.

Rached, D., & Ahmad A. H. (2013). Dynamic Modelling of Differential-Drive Mobile Robots using Lagrange and Newton-Euler Methodologies: A Unified Framework. *Advances in Robotics & Automation*, 2, 2-7. DOI.org/10.4172/2168-9695.1000107

Xi, L., & Byung-Jae, C. (2013). Design of Obstacle Avoidance System for Mobile Robot using Fuzzy Logic Systems. *Smart Home*, 7(3), 321-328.

### Translated Thai Reference

Supakum, P. (2010). Fuzzy Logic. Retrieved from <http://alaska.reru.ac.th/text/fuzzyllogic.pdf> [in Thai] [1]