การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทยครั้งที่ 18
18-20 ตุลาคม 2547 จังหวัด ขอนแก่น

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ควบคุมโดยระบบการอนุมานนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้

Mobile Robot Control Using Adaptive Neuro-Fuzzy Inference System

พิศิษฏ์ โภคารัตน์กุล[1] ศุภชัย ไพบูลย์[1] วรากร เจริญสุข[1] อดิรักษ์ กาญจนหฤทัย[2]
ดนัย ลิสวัสดิรัตนากุล[3] สัญชัยยะ ผสมกุศลศีล[3] และ ชัยวัฒน์ จามจรีกุล[3]
[1]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล อ.พุทธมณฑล จ.นครปฐม 73170
โทร 028892138 โทรสาร 024419731 E-mail: egpph@mahidol.ac.th, egspb@mahidol.ac.th
[2]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยรังสิต ปทุมธานี
[3]คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต สวนหลวง กรุงเทพฯ

Pisit Phokharatkul[1], Supachai Phaiboon[1], Warakorn Charoensuk[1], Adirak Kanchanaharuthai[2],
Danai Liswadiratanakul[3], Sanchaiya Pasomkusolsil[3], Chaiwat Jamjareekul[3]
[1]Faculty of Engineering, Mahidol University, Nakhon Pathom, 73170, Thailand
Tel: 028892138 Fax: 024419731 E-mail: egpph@mahidol.ac.t h, egspb@mahidol.ac.th
[2]Faculty of Engineering, Rangsit University, Pathum Thani, Thailand
[3]Faculty of Engineering, Kasem Bundit University, Bangkok, 10250, Thailand

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้กล่าวถึงหุ่นยนต์เคลื่อนที่นิวโร-ฟัซซี่ที่สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ ซึ่งเป็นการนำความรู้หลายส่วนมาประยุกต์ใช้ร่วมกันได้แก่ ความรู้เกี่ยวกับตัวตรวจรู้อินฟราเรด ความรู้ด้านการควบคุมมอเตอร์กระแสตรง ความรู้ด้านไมโครคอนโทรลเลอร์ ความรู้ด้านการมัลติเพลกซ์, ความรู้ด้านการต่อร่วมและความรู้เกี่ยวกับระบบการอนุมานนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ หุ่นยนต์เคลื่อนที่นิวโร-ฟัซซี่มีตัวตรวจรู้อินฟราเรดซึ่งสามารถตรวจจับวัตถุ โดยระยะทางที่วัดได้จะอยู่ในรูปของข้อมูลทางดิจิตอลขนาด 8 บิต ไมโครคอนโทรลเลอร์จะส่งค่าเหล่านี้ผ่านวงจรอินเทอร์เฟส (RS-232) ไปประมวลผลที่ระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่บนคอมพิวเตอร์ทำให้สามารถควบคุมทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ โดยจะส่งค่าที่ได้กลับไปที่ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งจะส่งสัญญาณไปควบคุมมอเตอร์เพื่อบังคับทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ให้หุ่นยนต์วิ่งตามที่ต้องการได้ หุ่นยนต์เคลื่อนที่นิวโร-ฟัซซี่ถูกออกแบบให้มีความสามารถหลบสิ่งกีดขวางและเดินไปตามช่องทางต่าง ๆได้ ซึ่งข้อมูลจากการฝึกหัดการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์จะถูกเรียนรู้โดยโครงข่ายเซลประสาทเพื่อปรับค่าพารามิเตอร์และเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่น (membership function) ของกฎการควบคุมของฟัซซี่ให้ดีที่สุด จากการทดลองพบว่าระบบควบคุมการอนุมานนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้สามารถแก้ปัญหาการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางหรือเดินไปตามช่องทางต่าง ๆได้และแสดงศักยภาพในการควบคุมหุ่นยนต์เหนือกว่าการควบคุมแบบดั่งเดิมหรือการควบคุมด้วยฟัซซี่แบบธรรมดา

Abstract

This paper presents neuro-fuzzy mobile robot which is a project associated with using infrared sensor as distance sensors, DC motor control system, knowledge of multiplex, RS-232 interface line, knowledge of microcontroller, and knowledge of adaptive neuro-fuzzy inference systems. Infrared sensors are used to measure distance between robot and obstacle. RS-232 is used to connect between a robot and a computer to control the robot. The data from infrared sensors transfer to processor unit in computer. The programming processor unit will process data output to control the direction of mobile robot moving by using adaptive neuro-fuzzy inference system. The behavior-based control for mobile robot was designed, which consists of two task, obstacle avoidance and corridor following. These behavior data are trained by neuro-fuzzy for learning in the controlling mobile robot. The results obtained demonstrate the efficiency of adaptive neuro-fuzzy inference system to control the system and the ability to solve the problem. From the experimental results shown that the better performances than those using on-off and ordinary fuzzy logic controllers.

1. บทนำ

ในปัจจุบันนี้ได้มีการนำเอาหุ่นยนต์มาช่วยงานด้านการผลิต การ

ประกอบชิ้นส่วนผลิตภัณฑ์ การสำรวจพื้นที่ การทำความสะอาด และอำนวยความสะดวกต่าง ๆกันมากขึ้น หุ่นยนต์เหล่านี้มีอยู่หลากหลายรูปแบบแล้วแต่ลักษณะการใช้งานซึ่งพอที่จะแบ่งหุ่นยนต์ออกได้เป็น 2 ประเภทใหญ่ ๆประเภทแรกคือ หุ่นยนต์ที่มีฐานถูกยึดติดอยู่กับที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้อิสระเช่น แขนกลที่ทำหน้าที่ในการประกอบชิ้นส่วนอุปกรณ์ต่าง ๆในโรงงานอุตสาหกรรม เป็นต้น หุ่นยนต์ประเภทที่สองคือ หุ่นยนต์ที่ถูกตรึงอยู่กับฐานที่สามารถเคลื่อนที่ได้โดยอิสระที่ฐานอาจมีล้อหรือระบบการเคลื่อนที่แบบต่าง ๆ หุ่นยนต์เคลื่อนที่นิวโร-ฟัซซี่ในงานวิจัยนี้เป็นหุ่นยนต์ประเภทที่สองซึ่งสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการปฏิบัติงาน การสำรวจพื้นที่ต่าง ๆ ใช้นำทาง และขนส่งวัสดุต่าง ๆในโรงงานอุตสาหกรรม การสร้างหุ่นยนต์ให้สามารถทำงานให้เราได้นั้นต้องใช้เทคโนโลยีที่มีความสลับซับซ้อนและมีปัญหาต่าง ๆที่ต้องแก้ไข ปัญหาหนึ่งในการพัฒนาหุ่นยนต์คือ การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางในขณะที่มันเคลื่อนที่

จากงานวิจัยที่ผ่านมาได้มีการศึกษาวิธีการออกแบบตัวควบคุมสำหรับหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลายงานวิจัย เช่น Marley Maria B.R. Vellasco และคณะได้จำลองการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้ฟัซซี่ลอจิกบน Khepera Simulator [1] ซึ่งเป็นการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์โดยใช้กฎฟัซซี่ที่ใช้ผู้เชี่ยวชาญเป็นผู้สร้างกฎ S. Thongchai และคณะได้ทดลองศึกษาพฤติกรรมการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการเดินตามผนังกำแพงของหุ่นยนต์โดยใช้ฟัซซี่ควบคุม [2] ซึ่งในงานวิจัยนี้ได้ทดลองสร้างกฎฟัซซี่จากระบบโซน่า 4 ชุดเพื่อใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์ Ayanna Howard และคณะได้ทดลองสร้างระบบหุ่นยนต์สำรวจในการวิเคราะห์ภูมิประเทศ [3] ในงานวิจัยดังกล่าวมุ่งเน้นระบบการมองเห็นของหุ่นยนต์โดยใช้ฟัซซี่ลอจิก Mohd Rizal Arshad และคณะได้พัฒนาหุ่นยนต์ตรวจตราอุโมงค์โดยมุ่งเน้นไปที่ระบบการมองของหุ่นยนต์แต่ระบบที่ควบคุมการเคลื่อนที่ควบคุมโดยใช้ฟัซซี่ลอจิก [4]

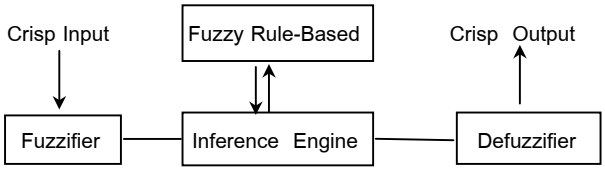
งานวิจัยนี้นำเสนอระบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่ควบคุมโดยระบบอนุมานนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ ซึ่งมีความแตกต่างจากผลงานวิจัยที่ได้กล่าวมาแล้วข้างต้น โดยระบบควบคุมหุ่นยนต์นี้สามารถเรียนรู้และสร้างกฎฟัซซี่จากการทดลองได้ด้วยการปรับค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นของฟัซซี่จากข้อมูลด้านอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมให้เหมาะสมได้

2. ระบบฟัซซี่

ฟัซซี่หมายถึง ความไม่ชัดเจน คลุมเครือ ซึ่งแตกต่างจากคริส์ปเซตที่มีลักษณะการแทนปริมาณที่มีค่าสมาชิกเพียง 0 และ 1 เท่านั้น คอมพิวเตอร์ถูกออกแบบให้ทำงานและประมวลผลกับปริมาณที่มีอยู่ในรูปของคริส์ปเซตซึ่งจะเห็นถึงขีดจำกัดในการตัดสินปัญหาในโลกแห่งความเป็นจริง ซึ่งมนุษย์เรามักจะเกี่ยวข้องในลักษณะที่เป็นฟัซซี่เซต ดังนั้นทฤษฎีฟัซซี่จึงถูกพัฒนาขึ้นมาเพื่อให้คอมพิวเตอร์สามารถที่จะจัดการกับสถานการณ์ที่เป็นฟัซซี่ได้ ระบบฟัซซี่จะประกอบด้วยส่วนสำคัญ 3 ส่วนดังแสดงในรูปที่ 1 โดยระบบจะรับค่าอินพุทที่เป็นคริส์ปเซตจากตัวตรวจรู้ ซึ่งจะต้องมาผ่านการเปลี่ยนให้เป็นฟัซซี่เซตโดยใช้กระบวนการฟัซซิไฟเออร์ (Fuzzifier) แล้วไปผ่านขบวนการอนุมานเพื่อหาคำตอบจากฐานความรู้ในรูปของฟัซซี่รูเบส (Fuzzy Rule-Based) จะได้คำตอบออกมาในรูปของฟัซซี่เซต ซึ่งจะต้องแปลงกลับเป็นคริส์ปเซตอีกครั้ง เรียกกระบวนการนี้ว่าดีฟัซซิไฟเออร์ (Defuzzifier) กฎฟัซซี่จะอธิบายภาษาธรรมชาติโดยอาศัยตัวแปรภาษาศาสตร์ (Linguistic Variables) เช่น ขนาด ระยะทาง มุม ความเร็วของมอเตอร์ในรูปแบบของ near far zero positive-big negative-medium เป็นต้น โดยจะเขียนอยู่ในรูปแบบ IF…THEN… ดังตัวอย่างต่อไปนี้

IF distance is far AND angle is positive-big THEN motor-speed is negative-medium

จากแนวความคิดของทฤษฎีฟัซซี่ระบบควบคุมแบบฟัซซี่จึงเป็นระบบผู้เชี่ยวชาญรูปแบบหนึ่ง ซึ่งต้องอาศัยความเชี่ยวชาญหรือผู้เชี่ยวชาญในการสร้างกฎการควบคุม แต่เนื่องจากการควบคุมระบบขึ้นอยู่กับค่าพารามิเตอร์และค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นในกฎฟัซซี่ซึ่งจะต้องปรับค่าให้เหมาะสมกับสภาวะการควบคุมระบบ ดังนั้นถ้าหากเราสามารถสร้างระบบควบคุมแบบฟัซซี่ที่สามารถสร้างกฎได้เองจากการเรียนรู้และปรับตนเองได้ก็จะได้ระบบควบคุมแบบฟัซซี่ที่เหมาะสมในการควบคุมระบบดังรายละเอียดในหัวข้อที่ 4

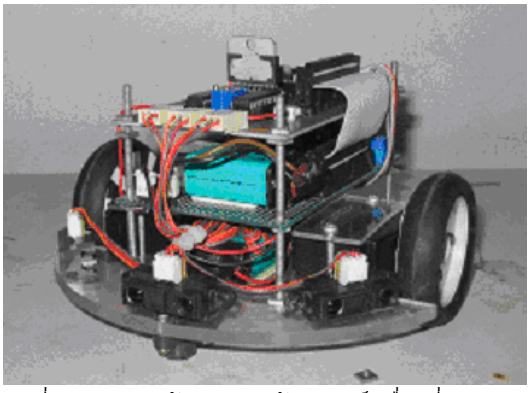


รูปที่ 1 แสดงแผนผังการทำงานของระบบฟัซซี่

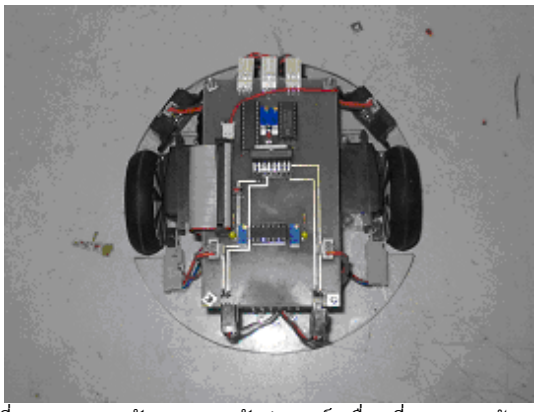
3. การออกแบบหุ่นยนต์เคลื่อนที่

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในงานวิจัยนี้ถูกสร้างขึ้นเพื่อให้มีความสามารถในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางดังแสดงในรูปที่ 2 และ 3 ตัวหุ่นยนต์มีรูปร่างเป็นรูปทรงกระบอก ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 0.17 เมตร สูง 0.11 เมตร มีล้อสองล้ออยู่ด้านหน้าและมีลูกกลิ้ง 1 ลูกอยู่ที่ด้านท้ายของหุ่นยนต์ ล้อทั้งสองของหุ่นยนต์ถูกขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์กระแสตรง ความเร็วของหุ่นยนต์ประมาณ 0.15 เมตรต่อวินาที ที่ตัวหุ่นยนต์ติดตั้งตัวตรวจรู้อินฟราเรด 3 ชุดที่ตำแหน่งด้านหน้า ด้านซ้าย และด้านขวาของหุ่นยนต์ตามลำดับ ในตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่มีวงจรขับเคลื่อนมอเตอร์กระแสตรง โดยใช้หลักการทำงานของวงจร H-Bridge Switching เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางที่ต้องการได้ ในการตรวจจับความเร็วของล้อหุ่นยนต์ ใช้วงจรตรวจจับแถบเอนโค๊ดเดอร์ เพื่อส่งข้อมูลไปยัง MCS-51 ไมโครคอนโทรลเลอร์ MCS-51 จะทำหน้าที่จัดการระบบหุ่นยนต์และรับส่งข้อมูลผ่าน R5332 ไปยังระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่บนไมโครคอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลข้อมูลในการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ เพื่อให้หุ่นยนต์สามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ผ่านช่องทางระหว่างฝาผนังหรือผนังห้องได้ อินพุทจากตัวตรวจรู้อินฟราเรดจะถูกแปลงเป็นตัวแปรภาษาศาสตร์ของระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง และ ถูกประมวลผลโดย

ระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่ได้เอาท์พุทที่เป็นทิศทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์



รูปที่ 2 ภาพแสดงลักษณะของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายนอก



รูปที่ 3 ภาพแสดงลักษณะของตัวหุ่นยนต์เคลื่อนที่ภายนอก(ด้านบน)

4. การออกแบบระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่เพื่อควบคุมหุ่นยนต์

วัตถุประสงค์หลักของหุ่นยนต์ในงานวิจัยนี้คือ หุ่นยนต์เคลื่อนที่ต้องสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางในขณะที่เคลื่อนที่ได้รวมทั้งสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เปลี่ยนแปลงตำแหน่งจากเดิมได้ด้วย โดยไม่ทำความเสียหายให้กับตัวหุ่นยนต์หรือสิ่งกีดขวาง จากเงื่อนไขดังกล่าวข้างต้นจึงต้องออกแบบระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่ให้เป็นไปตามความต้องการดังต่อไปนี้

4.1 อินพุทและเอาท์พุทฟีเจอร์ของระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่

หุ่นยนต์เคลื่อนที่มีตัวตรวจรู้อินฟราเรด 3 ตัวที่ตำแหน่งด้านซ้ายหน้า และ ขวาของตัวหุ่นยนต์ เพื่อทำหน้าที่วัดระยะทางระหว่างตัวหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง ดังนั้นหุ่นยนต์จึงมี 3 อินพุท และ 1 เอาท์พุท ข้อมูลทั้งหมดจะอยู่ในรูปตัวแปรภาษาศาสตร์ โดยอินพุทจะมีค่าตัวแปรภาษาศาสตร์ 3 เซตคือ Near Commond และ Far ส่วนเอาท์พุทซึ่งใช้ในการควบคุมล้อของหุ่นยนต์ให้เลี้ยวซ้าย หรือเลี้ยวขวา หรือตรงไปข้างหน้า เป็นมุมต่าง ๆ 5 ขนาดคือ $-50°, -25°, 0°, 25°$ และ $50°$ ตามลำดับ

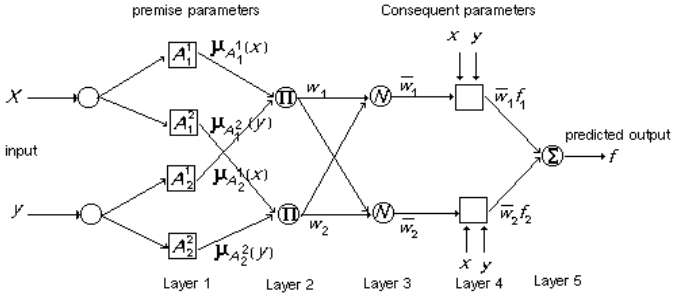
4.2 อัลกอริทึมการเรียนรู้และระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่

การเรียนรู้แบบนิวโร-ฟัซซี่เป็นการนำเอาข้อมูลด้านอินพุทและเอาท์พุทของตัวควบคุมมาเรียนรู้โดยโครงข่ายการเรียนรู้ [5] แล้วได้ผลลัพธ์เป็นพารามิเตอร์ที่ปรับแต่งตำแหน่งและขนาดของเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่น ซึ่งในงานวิจัยนี้เลือกใช้ชนิดสามเหลี่ยม โครงสร้างของกฎการควบคุมแบบฟัซซี่ประกอบด้วยกฎฟัซซี่แบบ Takagi-Sugeno ที่มีอินพุทเป็น x , y และ เอาท์พุทที่เป็นสมการเชิงเส้นดังตัวอย่างต่อไปนี้

กฎที่ 1 IF x is A_1 AND y is B_1 THEN $f_1 = p_1 x + q_1 y + r_1$

กฎที่ 2 IF x is A_2 AND y is B_2 THEN $f_2 = p_2 x + q_2 y + r_2$

ลำดับขั้นตอนการเรียนรู้แบบนิวโร-ฟัซซี่ประกอบด้วยลำดับขั้นตอนดังแสดงในรูปที่ 4 [5]



รูปที่ 4 การเรียนรู้ของระบบนิวโร-ฟัซซี่

ขั้นที่ 1 ทุกโนดในขั้นนี้สามารถปรับเปลี่ยนได้โดยมีฟังก์ชั่น เป็น $O_{1,i} = \mu_A(x)$ เมื่อ x คือ อินพุทที่โนด i และ A_i เป็นค่าทางภาษาศาสตร์ (ใกล้ ไกล ฯลฯ) ที่สัมพันธ์กับโนดฟังก์ชั่น โดยอาจเลือก $\mu_A(x)$ เป็นเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นแบบสามเหลี่ยมซึ่งมีค่าอยู่ระหว่าง 0 ถึง 1

$$O_{1,i} = \mu_{Ai}(x) = f(x,a,b,c) = \begin{cases} 0 & , x \le a \\ \dfrac{x-a}{b-a} & , a \le x \le b \\ \dfrac{c-x}{c-b} & , b \le x \le c \\ 0 & , c \le x \end{cases} \quad (1)$$

เมื่อ a, b, และ c คือ ค่าพารามิเตอร์เมมเบอร์ชิฟฟังก์ชั่นแบบสามเหลี่ยมซึ่งอาจจัดให้อยู่ในรูปใหม่ได้ดังนี้

$$f(x,a,b,c) = \max\left(\min\left(\frac{x-a}{b-a} - \frac{c-x}{c-b}\right), 0\right) \quad (2)$$

ขั้นที่ 2 ในขั้นนี้สัญลักษณ์ในวงกลมแบบ π เป็นผลการคูณของสัญญาณอินพุท โดยในแต่ละโนดนั้นแสดงค่า Firing strength ของกฎดังนี้

$$O_{2,\ i} = \mu_{A_i}(x) \times \mu_{B_i}(y), \qquad i = 1, \quad 2 \quad (3)$$

ขั้นที่ 3 ทุกโนดในสัญลักษณ์ในวงกลมแบบ N ลำดับที่ i เป็นการรวมกฎทั้งหมดในส่วนของ Firing strength ดังนี้

$$O_{3,\ i} = \max(O_{2,\ i}), \qquad \overline{w} = \frac{w_i}{w_i + w_2}, i = 1, \quad 2 \quad (4)$$

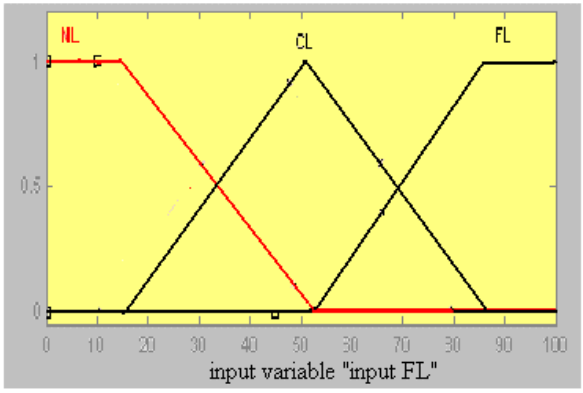
ขั้นที่ 4 สัญลักษณ์โนดสี่เหลี่ยมมีฟังก์ชั่นดังนี้

$$O_{4,\ i} = \overline{w}_i f_i = \overline{w}_i (p_i x + q_i y + r_i) \qquad (5)$$

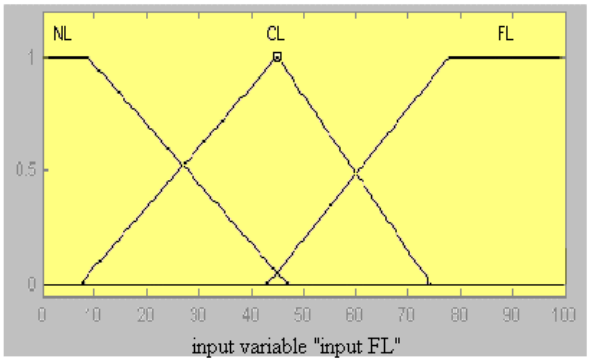
เมื่อ $\overline{w}$ คือเอาท์พุทของขั้นที่ 3 ส่วน p_i , q_i และ r_i เป็นค่าผลลัพธ์ที่อ้างอิงถึง consequence parameters

ขั้นที่ 5 โนดเดียวที่เป็นสัญลักษณ์วงกลมแบบ $\sum$ เป็นการรวมสัญลักษณ์อินพุททั้งหมดเข้าสู่ฟัซซี่เอาท์พุท โดยสามารถทำการคำนวณค่าดีฟัซซิฟายเออร์แบบศูนย์กลางของพื้นที่ได้ดังนี้

$$O_{5,\ 1} = \text{overall output} = \sum_i \overline{w}_i f_i = \frac{\sum_i w_i f_i}{\sum_i w_i} \qquad (6)$$



เมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นก่อนทำการปรับค่าด้วย ANFIS

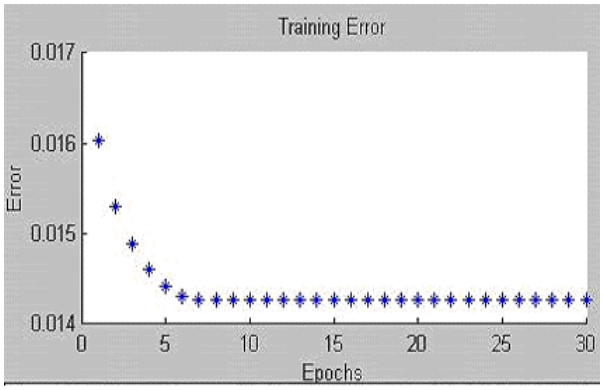


เมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นหลังทำการปรับค่าด้วย ANFIS

รูปที่ 5 แสดงอินพุทเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นก่อนการเรียนรู้และหลังการเรียนรู้ตามกระบวนการของ ANFIS

4.3 ระบบการอนุมานนิวโร-ฟัซซี่แบบปรับตัวได้ (ANFIS)

ในกระบวนการนี้จะเป็นการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆรวมถึงการปรับโครงสร้างของการหาค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่น ซึ่งในงานวิจัยนี้ใช้จำนวนชุดข้อมูลในการเรียนรู้ 120 ชุด ต่อจากนั้นจะนำโมเดลฟัซซี่ลอจิกคอนโทรลที่สร้างขึ้นมาไปทำการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์โดยจะทำการสอนด้วยวิธี Sugeno ซึ่งใช้หลักการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆแบบแพร่กระจายย้อนกลับจะทำให้ได้ค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นภายหลังการเรียนรู้ดังแสดงในรูปที่ 5 ในการเรียนรู้เพื่อปรับแต่งค่าพารามิเตอร์และเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นนั้นจะใช้ค่าตัวแปรทางภาษาศาสตร์ (Linguistic) ทางด้านอินพุทจำนวน 3 ตัวแปร เอาท์พุท 5 ตัวแปร กฎการควบคุมฟัซซี่ 27 กฎ ขั้นการเรียนรู้ (Epoch) = 30 และค่าความคลาดเคลื่อน RMS = 0.0142 ตามลำดับ ค่าความผิดพลาดในแต่ละรอบการสอนจะแสดงดังในรูปที่ 6



รูปที่ 6 แสดงค่าความผิดพลาดในรอบการสอนต่าง ๆ

4.4 การควบคุมหุ่นยนต์

การควบคุมหุ่นยนต์ขึ้นอยู่กับข้อมูลระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางโดยรอบตัวหุ่นยนต์ซึ่งได้รับจากตัวตรวจรู้อินฟราเรดจำนวน 3 ชุดและจะถูกแปรความหมายให้อยู่ในรูปของฟัซซี่เซต Near Commond และ Far ระบบนิวโร-ฟัซซี่จะอนุมานหาคำตอบจากฟัซซี่รูเบส (Fuzzy Rule-Based) ในฐานความรู้ของระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่ส่งออกเป็นเอาท์พุทไปควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ที่ขับเคลื่อนล้อแต่ละข้างของหุ่นยนต์ทำให้หลบหลีกสิ่งกีดขวางได้ดังนี้

เลี้ยวขวา ถ้าสิ่งกีดขวางอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าซ้าย

เลี้ยวซ้าย ถ้าสิ่งกีดขวางอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าขวา

ตรงไปข้างหน้า ถ้าไม่มีสิ่งกีดขวางอยู่ในตำแหน่งด้านหน้าของหุ่นยนต์

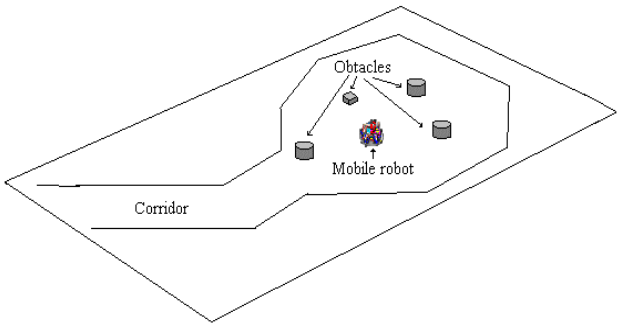
5. ผลการทดลอง

ในงานวิจัยนี้ได้ทดสอบความสามารถของระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ในการหลบหลีกสิ่งกีดขวางและการเคลื่อนที่ผ่านช่องทางระหว่างฝาผนังหรือผนังห้องดังต่อไปนี้

5.1 การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง

การหลบสิ่งกีดขวางในสนามทดลองดังรูปที่ 7 ซึ่งมีสิ่งกีดขวางวางอยู่ในตำแหน่งต่าง ๆ หุ่นยนต์จะเรียนรู้การหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยมีผู้ชี้แนะนั่นคือ การควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางตามความต้องการของผู้ฝึกสอน ภายหลังจากได้ข้อมูลจากการชี้

แนะแล้ว ระบบนิวโร-ฟัซซี่จะปรับค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นให้มีค่าเหมาะสมกับเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางในสนามทดลอง เมื่อทดลองปล่อยให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ทำงานในสนามทดลองอีกครั้ง หุ่นยนต์เคลื่อนที่จะสามารถหลบหลีกสิ่งกีดขวางต่าง ๆได้เอง ถึงแม้ว่าจะเปลี่ยนตำแหน่งของสิ่งกีดขวางในสนามทดลอง



รูปที่ 7 สนามทดลองที่ใช้ทดสอบการทำงานของหุ่นยนต์เคลื่อนที่

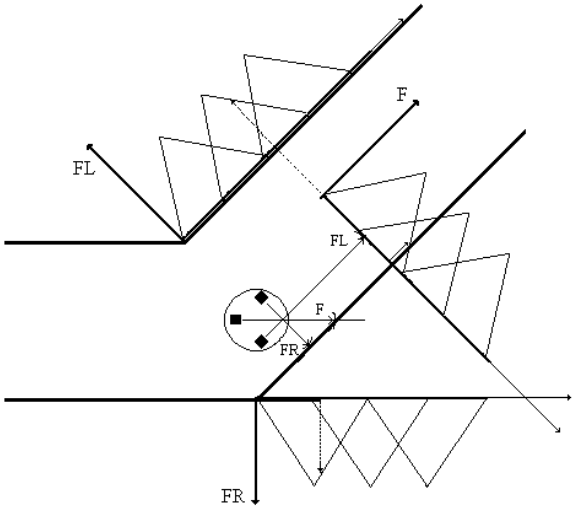
5.2 การเคลื่อนที่ไปตามฝาผนังหรือผนังห้อง

ในงานวิจัยนี้ได้ทดลองความสามารถของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่ไปตามฝาผนังหรือผนังห้องดังรูปที่ 8 ตัวตรวจรู้อินฟราเรด 2 ตัวที่ตำแหน่งทางด้านซ้ายและขวาของหุ่นยนต์จะตรวจสอบระยะห่างระหว่างผนังและตัวหุ่นยนต์ เพื่อควบคุมให้หุ่นยนต์สามารถเดินไปตามช่วยทางเดินได้

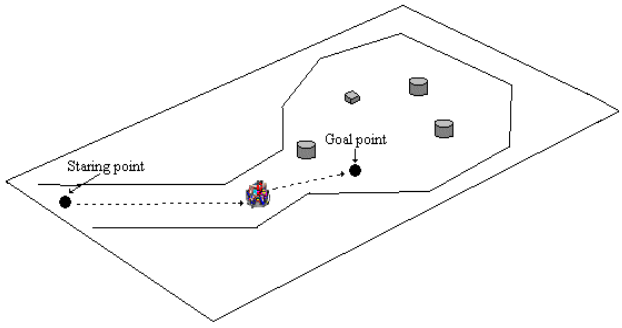
รูปที่ 8 ภาพแสดงช่องทางเดินตามฝาผนังที่ใช้ในการทดลอง ซึ่งมีขนาดกว้างของช่องทางเดินกว้าง 0.5 เมตร สูง 0.2 เมตร และ ยาว 3 เมตร

ในกรณีที่ช่องทางเดินมีการหักมุมหุ่นยนต์ต้องสามารถเคลื่อนที่หักมุมตามช่องทางเดินได้ดังแสดงในรูปที่ 9 จากรูปที่ 9 เมื่อหุ่นยนต์เดินทางมาจุดหักมุมตัวตรวจรู้อินฟราเรดที่ตำแหน่งต่าง ๆของหุ่นยนต์เคลื่อนที่จะตรวจวัดระยะทางระหว่างตัวหุ่นยนต์กับฝาผนัง ซึ่งจะพบว่าระยะทางด้านหน้าขวาจะใกล้ผนังกว่าทางด้านหน้าของหุ่นยนต์ ส่วนทางด้านซ้ายจะพบว่าไม่มีสิ่งใดกีดขวางเลย ดังนั้นหุ่นยนต์จะเลี้ยวซ้ายออกจากฝาผนังเพื่อปรับทิศทางในการเดินทางต่อไป

ในการทดลองความสามารถทั้งสองกรณีได้กำหนดจุดเริ่มต้นของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ที่จุดทางเข้าของช่องทางระหว่างฝาผนังและสิ้นสุดการเดินที่สนามภายใน ก่อนถึงจุดสิ้นสุดได้นำสิ่งกีดขวางวางอยู่ 1 ตำแหน่งดังแสดงในรูปที่ 10 แล้วให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่จากจุดตั้งต้นจนถึงจุดสิ้นสุด โดยใช้อัลกอริทึมในการควบคุมการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ 3 แบบคือ การควบคุมหุ่นยนต์แบบ On-Off การควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบฟัซซี่ และการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยระบบนิวโร-ฟัซซี่ โดยจับเวลาการเดินทางของหุ่นยนต์จากจุดเริ่มต้นจนถึงจุดสิ้นสุดของอัลกอริทึมทั้ง 3 ดังผลลัพธ์ที่แสดงในตารางที่ 1 จากตารางการทดลองจะพบว่าระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่จะใช้เวลาเดินทางน้อยที่สุด ตามด้วยระบบควบคุมแบบฟัซซี่และแบบ On-Off ตามลำดับ ระบบควบคุมแบบนิวโร-ฟัซซี่จะใช้เวลาน้อยกว่าระบบควบคุมแบบฟัซซี่เล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการปรับค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นให้มีความเหมาะสมกับการเคลื่อนที่นั่นเอง



รูปที่ 9 การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์บริเวณหักมุมของช่องทางระหว่างฝาผนังและค่าอินพุทเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่น



รูปที่ 10 แสดงเส้นทางระหว่างจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของการทดลองเมื่อใช้อัลกอริทึมการควบคุมหุ่นยนต์แบบต่าง ๆ

ตารางที่ 1 แสดงเวลาที่ใช้ในการเคลื่อนที่จากจุดเริ่มต้นถึงจุดสิ้นสุดของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ใช้การควบคุมแบบต่าง ๆโดยสนามทดลองมีความกว้างของช่องทางเดิน 0.50 เมตร ยาว 3 เมตร

ครั้งที่	On-Off (วินาที)	ฟัซซี่ลอจิก (วินาที)	นิวโร-ฟัซซี่ (วินาที)
1	26.3	22	21
2	24.6	21.8	21.2
3	26.4	21.8	20.7
4	25.4	21.9	20.6
5	25.6	21.4	20.5
6	25.6	20.4	20.6
7	26	21.2	20.7
8	25.2	20.4	20.5
9	25.2	21.3	20.6
10	21.9	21.3	20.6
ค่าเฉลี่ย	25.22	21.35	20.7

6. สรุปผลการทดลอง

จากการทดลองจะพบว่าระบบควบคุมแบบนิวโร-ฟัซซี่สามารถควบคุมหุ่นยนต์เคลื่อนที่ให้สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ในช่องทางระหว่างฝาผนังหรือผนังห้องได้ดีกว่าการควบคุมแบบฟัซซี่ และการควบคุมแบบ On-Off ทั้งนี้เนื่องจากระบบการควบคุมแบบนิวโร-ฟัซซี่จะมีการปรับค่าพารามิเตอร์ในการควบคุม โดยเฉพาะค่าเมมเบอร์ชิพฟังก์ชั่นให้เหมาะสมกับการเคลื่อนที่มากที่สุด ซึ่งจะเห็นได้จากผลการเปรียบเทียบการเคลื่อนที่ผ่านช่องทางระหว่างฝาผนังหรือผนังห้อง จะพบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่ใช้ระบบควบคุมนิวโร-ฟัซซี่สามารถแก้ปัญหาการหักมุมของช่องทางเดินและเดินทางเข้าสู่จุดหมายได้เร็วกว่าการควบคุมแบบฟัซซี่ และแบบ On-Off ดังผลลัพธ์ในตารางที่ 1

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยประเภทเงินงบประมาณประจำปี 2546 มหาวิทยาลัยมหิดล

เอกสารอ้างอิง

[1] Marley M.B.R. Vellasco, Marco Aurélio C. Pacheco, Ivo Lima Brasil Jr. - Mobile Robot Control Using Fuzzy Logic, *1st International Khepera Workshop (IKW99)* - Paderborn, Germany, 10-11 December 1999, pp. 149 – 158.

[2] S. Thongchai, S. Suksakulchai, D.M. Wilkes, and N. Sarkar, "Sonar Behavior-Based Fuzzy Control for a Mobile Robot", *Proceedings of the IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics*, Nashvikke, Tennessee, October 8-11, 2000, pp. p.1-p.5.

[3] A. Howard, E. Tunstel, D. Edwards, A. Carlson, "Enhancing Fuzzy Robot Navigation Systems by Mimicking Human Visual Perception of Natural Terrain Traversability," *Joint 9th IFSA World Congress and 20th NAFIPS International Conference*, Vancouver, Canada, July 2001.

[4] M.R. Arshad, A.S. Abustan, M.Y. Radzak, and M.A. Selamat, "Design and Development of an Under-Highway Tunnel Inspection System", *Proceedings of the International Conference on Robotics, Vision, Information and Signal Processing*, Penang, Malaysia, January 22-24, 2003, pp. 346-349.

[5] J.S. Jang, C.T. Sun and E. Mizutani, Neuro-Fuzzy and Soft Computing A Computational Approach to Learning and Machine Intelligence, International Edition, Prentice-Hall International, Inc. 1997.