

บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะได้กล่าวถึงรายละเอียดในการออกแบบและสร้างหุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยฟิสิกส์ ลอจิกในการวิจัยนี้ รายละเอียดการออกแบบจะดำเนินการเป็นลำดับดังนี้

3.1 โครงสร้างการทำงาน

การทำงานของหุ่นยนต์ในปัจจุบันมีลักษณะที่ซับซ้อน ส่วนประกอบของหุ่นยนต์ ในการวิจัยนี้แบ่งงานออกเป็น 2 ส่วน คือ

1) ทางด้านฮาร์ดแวร์ (Hardware) เป็นส่วนที่ติดต่อกับอุปกรณ์ตรวจวัดต่างๆ เช่น การตรวจวัดระยะทางของวัตถุที่ตำแหน่งต่างๆ โดยสัญญาณอินฟราเรด (Infrared) และการเคลื่อนที่ตามเส้นทางด้วยอินฟราเรด (Infrared) เช่นกัน ส่วนอุปกรณ์ประมวลผลใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์เบอร์ 16F877 ในการควบคุมการทำงานของหุ่นยนต์ทั้งหมด สุดท้ายเป็นวงจรที่ใช้ในการจับมอเตอร์ ออกแบบมาให้สามารถควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ได้

2) ทางด้านซอฟต์แวร์ (Software) เป็นการควบคุมพฤติกรรมของหุ่นยนต์ ประกอบด้วยพฤติกรรมพื้นฐานต่างๆ เช่น การหยุด การเลี้ยว การหลบหลีกสิ่งกีดขวาง การเรียนรู้และการตัดสินใจของหุ่นยนต์ด้วยฟิสิกส์ลอจิก

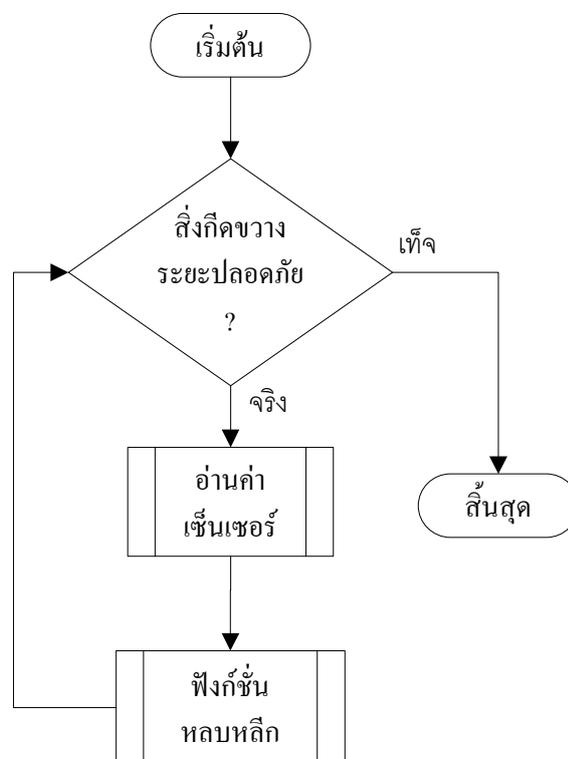
3.2 การออกแบบพฤติกรรมพื้นฐาน

3.2.1 พฤติกรรมการหลบสิ่งกีดขวาง (Avoidance Obstacle Behavior) เป็นพฤติกรรมที่ใช้ข้อมูลตัวตรวจวัดกำเนิดฟิสิกส์เซต ซึ่งเป็นความสัมพันธ์ระหว่างระยะห่างและทิศทางของหุ่นยนต์กับ วัตถุมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

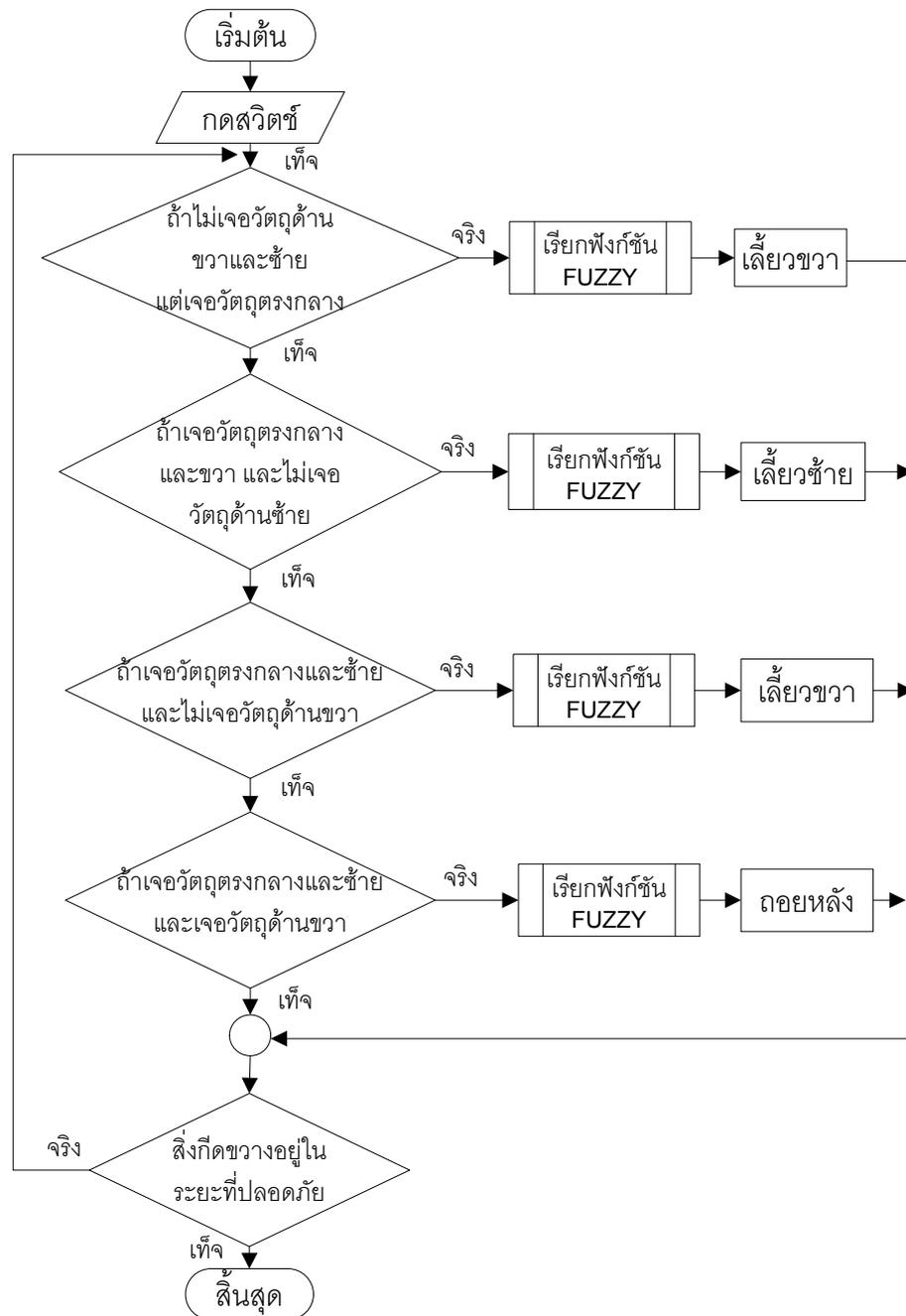
- 1) ตรวจสอบระยะห่างจากวัตถุ จากด้านหน้า
- 2) หลบหลีกสิ่งกีดขวางถ้าวัตถุใกล้กว่าระยะหลบ
- 3) เลี้ยวขวาถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าซ้าย
- 4) เลี้ยวซ้ายถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ด้านหน้าขวา
- 5) ถ้ามีสิ่งกีดขวางอยู่ใกล้กว่าระยะฉุกเฉินให้ยกเลิกพฤติกรรมนี้

3.2.2 พฤติกรรมการหยุดฉุกเฉิน (Emergency Behavior) เป็นพฤติกรรมที่ขึ้นกับค่าระยะปลอดภัยมีขั้นตอนการทำงานดังนี้

- 1) หยุดเคลื่อนที่ถ้าสิ่งกีดขวางใกล้กว่าระยะปลอดภัย
- 2) หยุดเคลื่อนที่ถ้าหลุดออกจากเส้นทาง
- 3) หยุดเคลื่อนที่ต่อจากนั้นสามารถถอยหลังได้



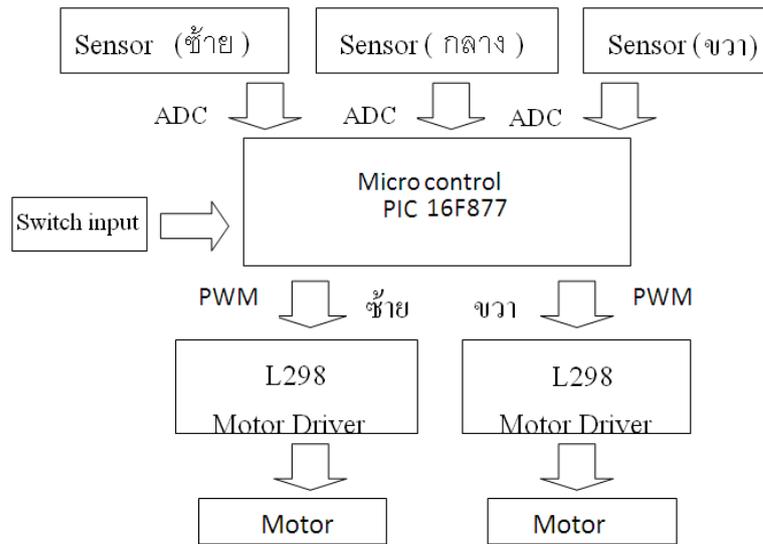
ภาพที่ 3-1 ผังงานการทำงานของโปรแกรมหลัก



ภาพที่ 3-2 ฟังก์ชันการทำงานฟังก์ชันหลัก

3.3 โครงสร้างของระบบ

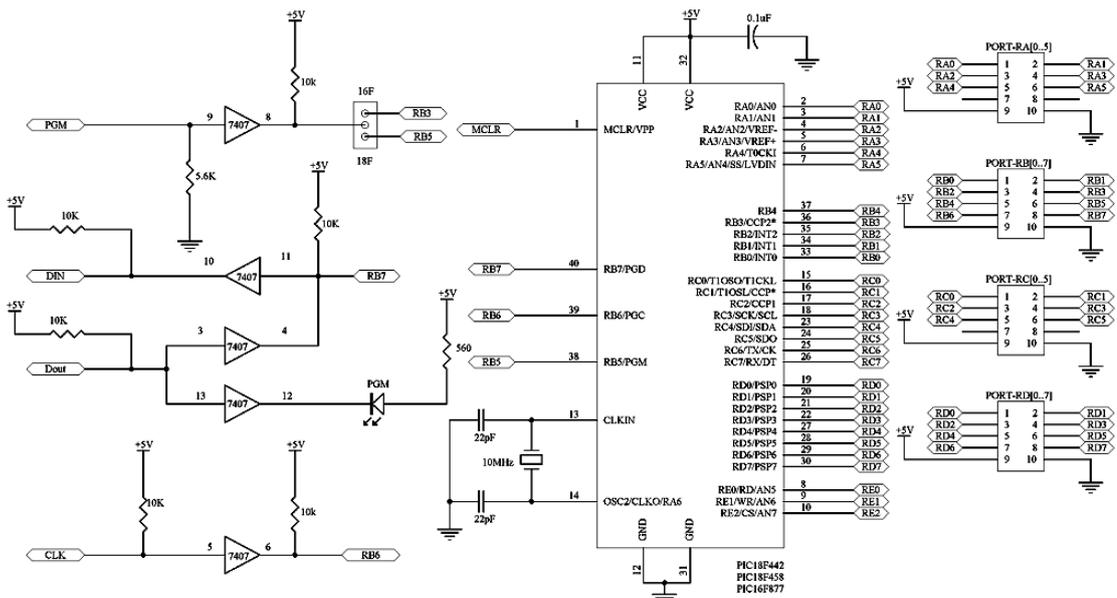
โครงสร้างการทำงานของงานวิจัยนี้ได้ออกแบบไว้โดยอาศัยการอ่านค่าจากตรวจจับสิ่งกีดขวางของเซนเซอร์แล้วนำสัญญาณที่ได้ส่งไปยังไมโครคอนโทรลเลอร์ทำการประมวลผลแล้วส่งสัญญาณพัลส์ให้กับไคร์ฟเวอร์มอเตอร์เพื่อที่จะไปควบคุมมอเตอร์ตามภาพที่ 3-3



ภาพที่ 3-3 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบ

3.4 วงจรควบคุมหลัก

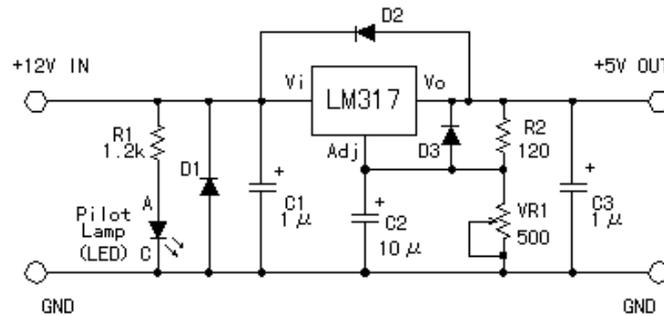
การทำงานของวงจรตามภาพที่ 3-4 เป็นหัวใจหลักของงานวิจัย เมื่อมีการป้อนข้อมูลเข้าไปก็จะทำการประมวลผลการทำงานตามโปรแกรมภายในไมโครคอนโทรลเลอร์ เมื่อทำการประมวลผลเสร็จเรียบร้อยแล้วก็จะส่งสัญญาณที่ได้ไปให้ชุดควบคุมมอเตอร์ทำงานเพื่อที่จะสั่งให้มอเตอร์ทำงานตามกฎที่ตั้งไว้ข้างต้น คือสามารถเคลื่อนที่เพิ่ม หรือลดความเร็วได้ตามที่กำหนดไว้



ภาพที่ 3-4 วงจรควบคุมหลัก

3.5 วงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

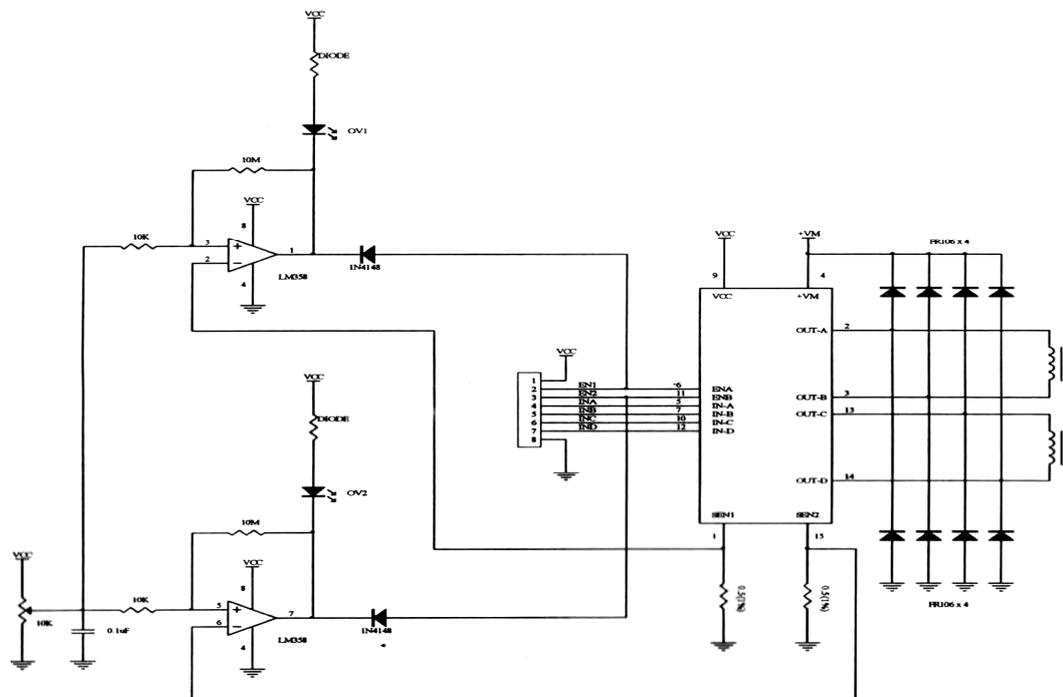
วงจรแหล่งจ่ายไฟตามภาพที่ 3-5 ใช้ไอซี LM317 ทำหน้าที่ปรับแรงดันไฟฟ้าให้คงที่ +5 โวลต์ขา 1 เป็นขาไฟเข้า ขา 2 เป็นขาที่สามารถปรับแรงดันได้ซึ่งต่ออยู่กับตัวต้านทานปรับค่าได้ VR1 ส่วนขา 3 เป็นขาเอาต์พุตให้แรงดันออกมาที่ 5 โวลต์ และ C3 ทำหน้าที่กรองแรงดันไฟฟ้า



ภาพที่ 3-5 แสดงวงจรแหล่งจ่ายไฟฟ้า

3.6 วงจรขับมอเตอร์

จากภาพที่ 3-6 แสดงวงจรขับมอเตอร์ ซึ่งเป็นอุปกรณ์ทางด้านเอาต์พุตที่ทำหน้าที่รับสัญญาณมาจากวงจรควบคุมซึ่งทำหน้าที่ควบคุมการทำงานของมอเตอร์ เพื่อเพิ่ม ลด ความเร็ว และ เคลื่อนที่ตามระยะทางที่กำหนดตามกฎของระบบที่ตั้งไว้



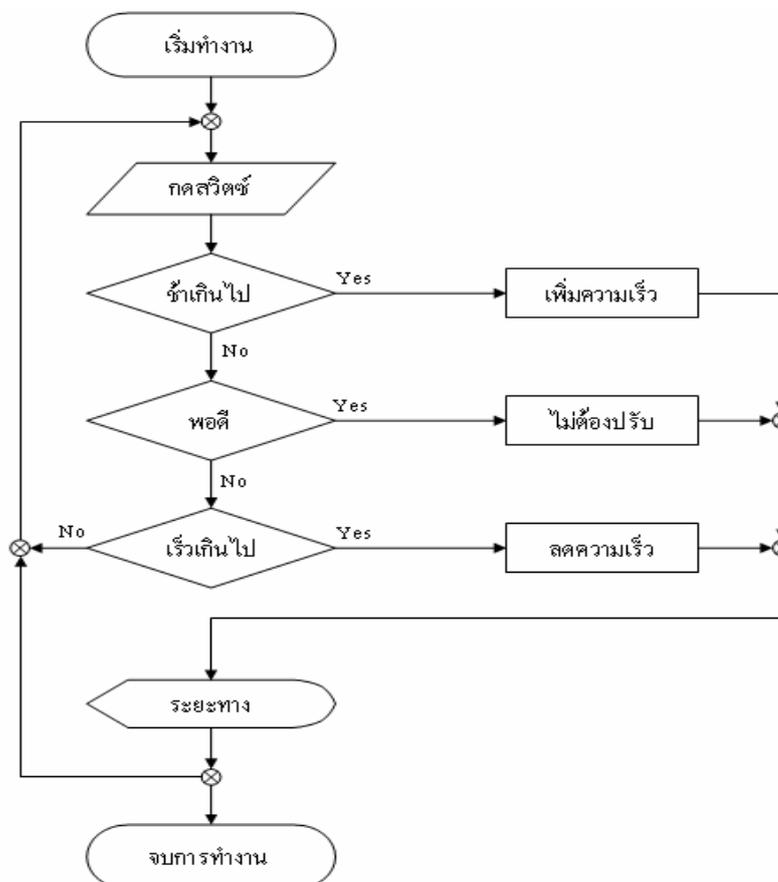
ภาพที่ 3-6 วงจรสมบูรณ์ของแผงวงจรขับมอเตอร์

3.7 การออกแบบระบบการเรียนรู้ของหุ่นยนต์

การตั้งกฎพีซีซีและการออกแบบโปรแกรมควบคุม สิ่งที่สำคัญคือต้องรู้ว่ามียะโรบ่างที่ต้องควบคุมและจะทำการควบคุมอย่างไรเพื่อให้เอาท์พุตที่ได้ตรงตามที่ต้องการ งานวิจัยนี้ต้องการควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงขนาด 6 โวลต์ 2 ตัว ให้สามารถเพิ่มและลดความเร็วได้พร้อมกันทั้ง 2 ตัวโดยใช้หลักการทํางานแบบมอดูเลตความกว้างพัลส์ (Pulse-Width Modulation: PWM.) เพื่อให้ค่าเอาท์พุตที่ได้สัมพันธ์กับค่าระยะทางที่ต้องการ การควบคุมความเร็วมีขั้นตอนดังนี้

1. พิจารณาอินพุตของระบบควบคุม ในที่นี้ คือค่าสัญญาณอนาลอก (Analog Signals)
2. พิจารณาเอาต์พุตของระบบควบคุม ในที่นี้ คือระยะทางที่รถเคลื่อนที่
3. พิจารณาระยะทางเป้าหมาย ซึ่งก็คือระยะทาง 5 เมตร
4. กำหนดสถานะของอินพุตและเอาต์พุต (Chin-Teng Lin and George Lee, C.S., 1995)

ซึ่งแสดงผังการทำงานตามภาพที่ 3-7



ภาพที่ 3-7 ผังงานแสดงการทำงาน

3.8 การออกแบบลักษณะโปรแกรม

หุ่นยนต์จะถูกควบคุมการหลบหลีกด้วยการจับระยะสิ่งกีดขวางข้างหน้าโดยอินฟราเรดเซนเซอร์ด้านซ้าย (Sensor1) อินฟราเรดเซนเซอร์ด้านหน้า (Sensor2) และอินฟราเรดเซนเซอร์ด้านขวา (Sensor3) การควบคุมการเคลื่อนที่โดยระบบควบคุมแบบฟัซซีการจับด้านหน้าและด้านข้างตั้งไว้ 30 เซนติเมตร แต่จะเลี้ยวในระยะ 15 เซนติเมตร เมื่อรถเคลื่อนที่เข้าน้อยกว่า 15 เซนติเมตร รถจะเคลื่อนที่ถอยหลังตามระยะควบคุมแบบฟัซซี การควบคุมทางด้านเอาต์พุตของการเคลื่อนที่ไปข้างหน้าจะได้เอาต์พุต 5 ตัวแปร คือ Move Very Fast, Move Fast, Move Forward, Move Slow, Move Very Slow และการควบคุมทางด้านเอาต์พุตของการเลี้ยวซ้าย การเลี้ยวขวาและถอยหลังได้ตัวแปรอีก 6 ตัว คือ Move fast and turn to the left, Move slow and turn to the left, Move forward and not turning, Move slow and turn to the right, Move fast and turn to the right, Move backwards สามารถอธิบายตัวแปรภาษา (linguistic variable) ดังต่อไปนี้

ความหมายในส่วนของ Input

ระยะ Sensor ไกลมาก (The Distance Very Far : DVF)

ระยะ Sensor ไกล (The Distance Far : DF)

ระยะ Sensor พอดี (The Distance is Okay : DO)

ระยะ Sensor ใกล้ (The Distance Near : DN)

ระยะ Sensor ใกล้มาก (The Distance Very Near : DVN)

ความหมายในส่วนของ Output (เคลื่อนที่ไปข้างหน้า)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็วมาก (Move Very Fast : MVF)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ด้วยความเร็ว (Move Fast : MF)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่พอดี (Move Forward : MFW)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลดความเร็ว (Move Slow : MS)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ลดความเร็วมาก (Move Very Slow : MVS)

ความหมายในส่วนของ Output (เคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย ขวาและถอยหลัง)

หุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายด้วยความเร็วมาก (Move fast and turn to the left : MFL)

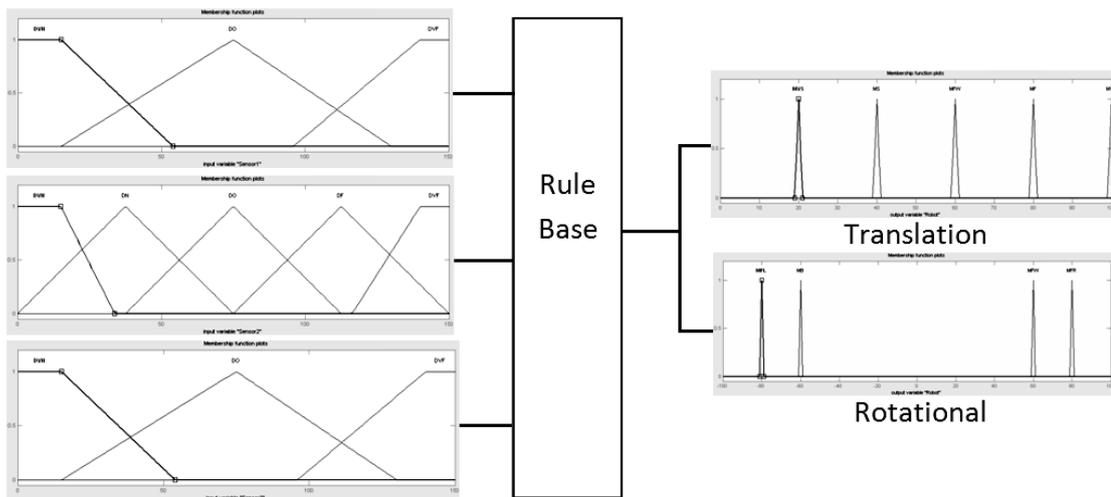
หุ่นยนต์เลี้ยวซ้ายด้วยความเร็ว (Move slow and turn to the left : MSL)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่พอดี ไม่เลี้ยว (Move forward and not turning : MFW)

หุ่นยนต์เลี้ยวขวาด้วยความเร็วค่อย (Move slow and turn to the right : MSR)

หุ่นยนต์เลี้ยวขวาด้วยความเร็วมาก (Move fast and turn to the right : MFR)

หุ่นยนต์เคลื่อนที่ที่กลับหลัง (Move backwards : MB)

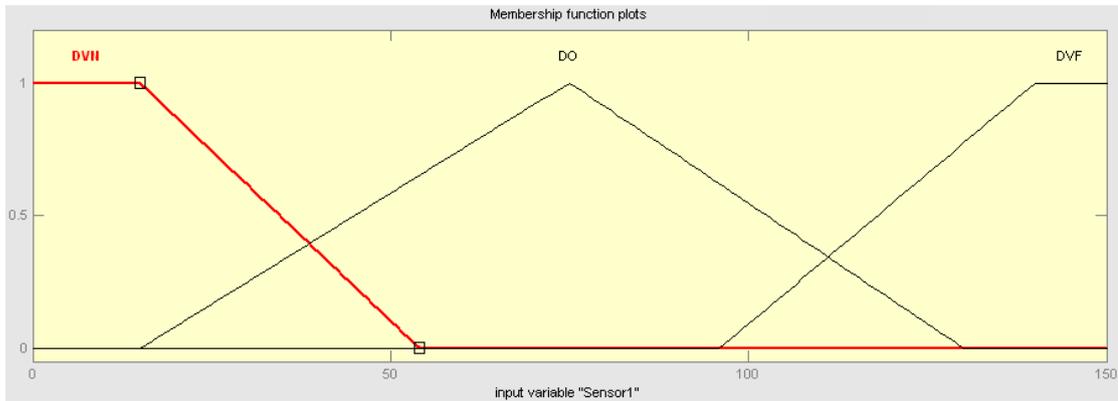


ภาพที่ 3-8 ผังงานการควบคุมหุ่นยนต์ด้วยการควบคุมแบบฟัซซี

3.9 ขั้นตอนการออกแบบด้วยระบบฟัซซีลอจิก

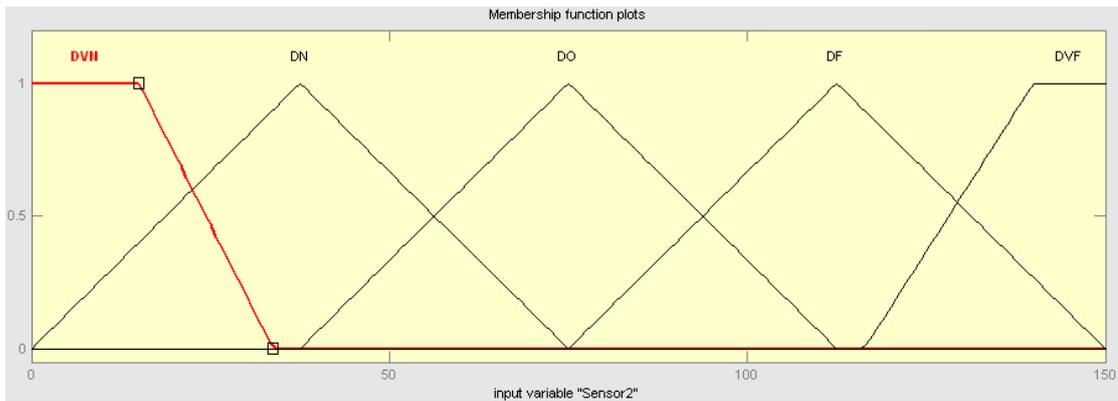
ขั้นตอนที่ 1 การฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification) เป็นการนำเอาปริมาณอินพุตที่รับมาซึ่งส่วนใหญ่จะเป็นปริมาณคริสป์มาตีค่าให้เป็นค่าฟัซซี (Fuzzy Values) ซึ่งประกอบด้วย ชื่อของฟัซซีเซตที่ปริมาณอินพุตนั้นเป็นสมาชิกและค่าความเป็นสมาชิก (Membership grades) ที่แสดงระดับความเป็นสมาชิก ในที่นี้จะกำหนดให้มีอินพุตของระบบ 3 ตัว คือ

3.9.1 เซนเซอร์ทางด้านซ้าย (Sensor1) สำหรับปริมาณอินพุต ระยะวัตถุ (Distance Detection) ซึ่งแบ่งฟัซซีเซตออกเป็น DVN, DO และ DVF ดังภาพที่ 3-9



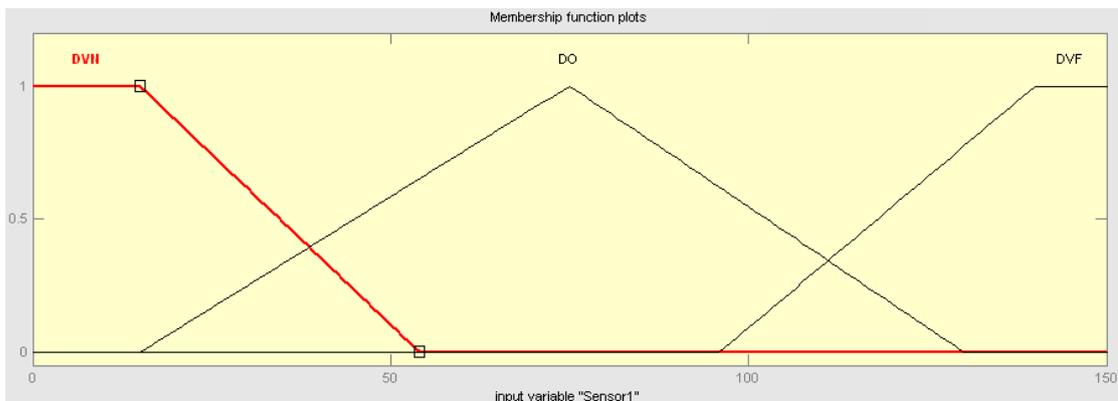
ภาพที่ 3-9 ฟังก์ชันเซตสำหรับปริมาณอินพุตเซนเซอร์ทางด้านซ้าย

3.9.2 เซนเซอร์ทางด้านหน้า (Sensor2) สำหรับปริมาณอินพุต ระยะวัตถุ (Distance Detection) ซึ่งแบ่งฟังก์ชันเซตออกเป็น DVN, DN, DO, DF และ DVF ดังภาพที่ 3-10



ภาพที่ 3-10 ฟังก์ชันเซตสำหรับปริมาณอินพุตเซนเซอร์ทางด้านหน้า

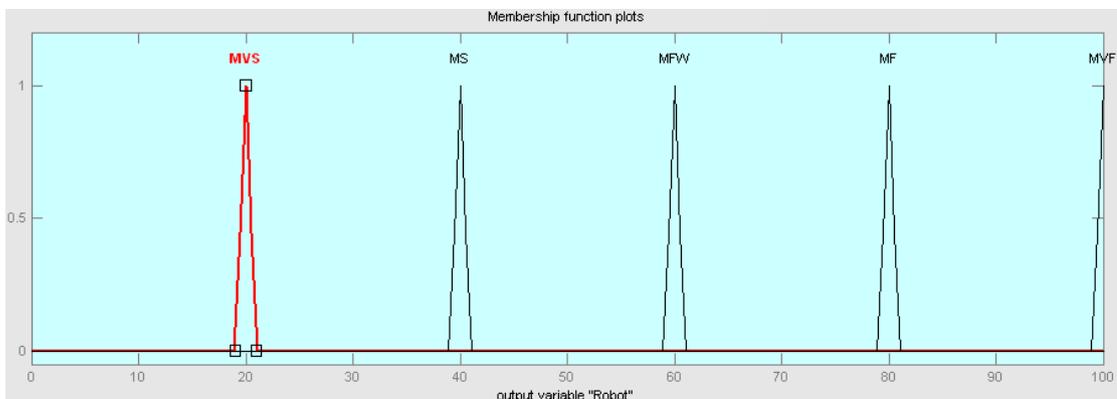
3.9.3 เซนเซอร์ทางด้านขวา (Sensor3) สำหรับปริมาณอินพุต ระยะวัตถุ (Distance Detection) ซึ่งแบ่งฟังก์ชันเซตออกเป็น DVN, DO และ DVF ดังภาพที่ 3-11



ภาพที่ 3-11 ฟังก์ชันเซตสำหรับปริมาณอินพุตเซนเซอร์ทางด้านขวา

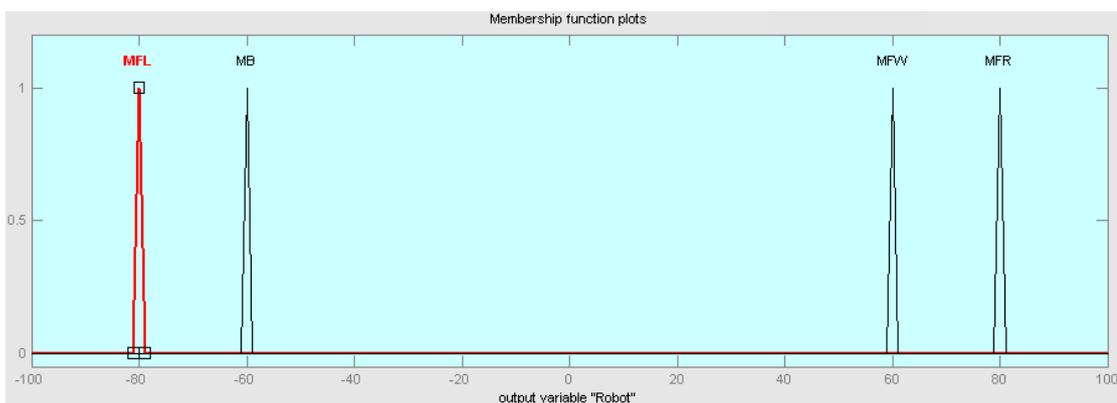
การกำหนดตัวแปรเอาต์พุตฟัซซี การสร้างระดับการเป็นสมาชิกที่เป็นไปได้ในแต่ละช่วง จะกำหนดตัวแปรอินพุตฟัซซี 1 ตัว เพื่อที่จะนำค่าของการเปลี่ยนแปลงระยะทางเพื่อเปลี่ยนแปลง ดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ได้เป็นไฟกระแสดตรงเพื่อไปควบคุมความเร็วของมอเตอร์ กระแสดตรงให้มีความเร็วคงที่ตามค่าของระยะทางที่อ้างอิงและมีการกำหนดค่าจุดศูนย์ (Assigned Value) ของเอาต์พุตฟัซซีเพื่อให้สามารถทำการดีฟัซซีฟิเคชันได้

1) การเคลื่อนที่หุ่นยนต์ไปข้างหน้า สำหรับปริมาณเอาต์พุต การเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ซึ่งแบ่งฟัซซีเซตออกเป็น MVS, MS, MFW, MF และ MVF ดังภาพที่ 3-12



ภาพที่ 3-12 ฟัซซีเซตสำหรับปริมาณเอาต์พุตหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

2) การเคลื่อนที่หุ่นยนต์ให้เลี้ยวซ้ายขวาและถอยหลัง สำหรับปริมาณเอาต์พุต การเปลี่ยนแปลงดิวตี้ไซเคิล (Duty Cycle Change, Dch) ซึ่งแบ่งฟัซซีเซตออกเป็น MFL, MB, MFW และ MFR ดังภาพที่ 3-13



ภาพที่ 3-13 ฟัซซีเซตสำหรับปริมาณเอาต์พุตหุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย ขวาและถอยหลัง

ขั้นตอนที่ 2 ฐานกฎฟัซซี (Fuzzy Rule Base) ประกอบด้วยชุดของกฎฟัซซี (Rules) ได้จากการหาเหตุผลแบบฟัซซีลอจิกนั้นเมื่อทราบปริมาณอินพุตแล้ว ก็จะต้องมีกฎฟัซซีเพื่อที่จะสามารถโยงจากปริมาณอินพุตที่ทราบไปยังปริมาณเอาต์พุตได้ เขียนอยู่ในรูปแบบความสัมพันธ์ (Relation) ของประโยค “IF x is A THEN y is B”

กฎของการควบคุม (หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า)

- 1) If (Sensor1 is DVF) and (Sensor2 is DVF) and (Sensor3 is DVF) Then (Robot is MVF)
- 2) If (Sensor2 is DF) Then (Robot is MF)
- 3) If (Sensor1 is DO) and (Sensor2 is DO) and (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)
- 4) If (Sensor1 is DO) Then (Robot is MFW)
- 5) If (Sensor2 is DO) Then (Robot is MFW)
- 6) If (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)
- 7) If (Sensor2 is DN) Then (Robot is MS)
- 8) If (Sensor2 is DVN) Then (Robot is MVS)

กฎของการควบคุม (หุ่นยนต์เคลื่อนที่เลี้ยวซ้าย ขวาและถอยหลัง)

- 1) If (Sensor2 is DVN) and (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MFL)
- 2) If (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MFL)
- 3) If (Sensor1 is DO) and (Sensor2 is DO) and (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)
- 4) If (Sensor1 is DVN) and (Sensor2 is DVN) Then (Robot is MFR)
- 5) If (Sensor1 is DVN) Then (Robot is MFR)
- 6) If (Sensor1 is DVN) and (Sensor2 is DVN) and (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MB)

ขั้นตอนที่ 3 การสร้างเงื่อนไขหรือกฎการควบคุม หรือการหากฎเกณฑ์และเงื่อนไขที่สามารถนำค่าจากอินพุตประมวลผลออกไปได้ เมื่อได้ทำขั้นตอนที่ 1 และ 2 แล้วก็จะเป็นการสร้างเงื่อนไขที่จะนำมาใช้ในการควบคุมของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกเพื่อสามารถควบคุมความเร็วของหุ่นยนต์ได้ตามจุดประสงค์

- 1) การคำนวณหาค่าความเป็นสมาชิกของฟังก์ชันฟัซซี (Fuzzy Membership Function)

การหาข้อมูลที่ได้จากอุปกรณ์ตรวจวัดระยะทาง ทิศทาง และความเร็วการเคลื่อนที่ การหาค่าค่าความเป็นสมาชิกของฟัซซี โดยวิธีจัดกลุ่ม(Mapping) โดยใช้ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal

membership function) และฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function) โดยการหาค่าความเป็นสมาชิกแบบ Maxterm มาเป็นตัวดำเนินการ เมื่อหุ่นยนต์อ่านระยะด้วยตัวตรวจวัดด้วยเซนเซอร์ทั้ง 3 ตัว คือ Sensor1 Sensor2 และ Sensor3 ได้ค่าระยะ 45 เซนติเมตร 54 เซนติเมตรและ 40 เซนติเมตรตามลำดับ

จากตัวอย่างดังกล่าวสามารถสร้างระบบฟัซซีโดยผู้เชี่ยวชาญวิเคราะห์จากข้อมูลซึ่งชนิดฟังก์ชันความเป็นสมาชิก (membership function) ของระบบมีดังนี้

- ฟังก์ชันสี่เหลี่ยมคางหมู (trapezoidal membership function) ประกอบด้วย 4 พารามิเตอร์คือ {a,b,c,d} ดังสมการที่ (1)

$$trapezoidal(x : a, b, c, d) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a) / (b - a) & a \leq x < b \\ 1 & b \leq x < c \\ (d - x) / (d - c) & c \leq x < d \\ 0 & x \geq d \end{cases} \dots\dots\dots(1)$$

- ฟังก์ชันสามเหลี่ยม (triangular membership function) ประกอบด้วย 3 พารามิเตอร์คือ {a,b,c} ดังสมการที่ (2)

$$triangular(x : a, b, c) = \begin{cases} 0 & x < a \\ (x - a) / (b - a) & a \leq x < b \\ (c - x) / (c - b) & b \leq x \leq c \\ 0 & x > c \end{cases} \dots\dots\dots(2)$$

นำผลรวมของเอาต์พุตฟัซซีทั้งหมดหาได้จากการยูเนียนผลลัพธ์จากแต่ละกฎ ดังสมการที่ (3)

$$C(w) = (\alpha_1 \wedge C_1(w)) \vee (\alpha_2 \wedge C_2(w)) \vee (\alpha_n \wedge C_n(w)) \dots\dots\dots(3)$$

วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) เป็นวิธีการเฉลี่ยผลที่ได้จากการตีความหาเหตุที่ได้จากการประมาณค่า ดังสมการที่ (4)

$$COG = \frac{\sum_{i=1}^N \alpha_i w_i}{\sum_{i=1}^N \alpha_i} \dots\dots\dots(4)$$

COG แทน ค่าของจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity)

N แทน ค่าตั้งแต่ตำแหน่งที่ 1 ถึงตำแหน่งที่ i

α_i แทน ค่าฟัซซีของเอาต์พุตในเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

w_i แทน พื้นที่ใต้โค้งของเซตฟัซซีตำแหน่งที่ i

การคำนวณ (Membership Function: MF) ของกฎการควบคุม (หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า)

Rule 1: If (Sensor1 is DVF) and (Sensor2 is DVF) and (Sensor3 is DVF) Then (Robot is MVF)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF1} &= \text{trapmf}(45,96,140,156,156) \\ &= (x1-aDVF)/(bDVF-aDVF) = (45-96)/(140-96) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF2} &= \text{trapmf}(54,116.3,140,154,154) \\ &= (x2-aDVF)/(bDVF-aDVF) = (54-116.3)/(140-116.3) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF3} &= \text{trapmf}(40,96,140,156,156) \\ &= (x3-aDVF)/(bDVF-aDVF) = (40-90)/(140-90) = 0\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_1 = \min(0,0,0) = 0 \text{ [Implication is Robot moving Very Fast]}$$

Rule 2: If (Sensor2 is DF) Then (Robot is MF)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF2} &= \text{trimf}(54,75,112.5,150) \\ &= (x2-aDF)/(bDF-aDF) = (54-75)/(112.5-75) = 0\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_2 = \min(0) = 0 \text{ [Implication is Robot moving Fast]}$$

Rule 3: If (Sensor1 is DO) and (Sensor2 is DO) and (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF1} &= \text{trimf}(45,15,75,130) \\ &= (x1-aDO)/(bDO-aDO) = (45-15)/(75-15) = 0.5\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF2} &= \text{trimf}(54,37.5,75,112.5) \\ &= (x2-aDO)/(bDO-aDO) = (54-37.5)/(75-37.5) = 0.44\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF3} &= \text{trimf}(40,15,75,130) \\ &= (x3-aDO)/(bDO-aDO) = (40-15)/(75-15) = 0.41\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_3 = \min(0.5,0.44,0.41) = 0.41 \text{ [Implication is Robot moving forward]}$$

Rule 4: If (Sensor1 is DO) Then (Robot is MFW)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF1} &= \text{trimf}(45,15,75,130) \\ &= (x1-aDO)/(bDO-aDO) = (45-15)/(75-15) = 0.5\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_4 = \min(0.5) = 0.5 \text{ [Implication is Robot moving forward]}$$

Rule 5: If (Sensor2 is DO) Then (Robot is MFW)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trimf}(54, 37.5, 75, 112.5) \\ &= (x_2 - a_{DO}) / (b_{DO} - a_{DO}) = (54 - 37.5) / (75 - 37.5) = 0.44 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_5 = \min(0.44) = 0.44 \text{ [Implication is Robot moving forward]}$$

Rule 6: If (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF3} &= \text{trimf}(40, 15, 75, 130) \\ &= (x_3 - a_{DO}) / (b_{DO} - a_{DO}) = (40 - 15) / (75 - 15) = 0.41 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_6 = \min(0.41) = 0.41 \text{ [Implication is Robot moving forward]}$$

Rule 7: If (Sensor2 is DN) Then (Robot is MS)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trimf}(54, 0, 37.5, 75) \\ &= (x_2 - a_{DN}) / (b_{DN} - a_{DN}) = (54 - 0) / (37.5 - 0) = 1 \end{aligned}$$

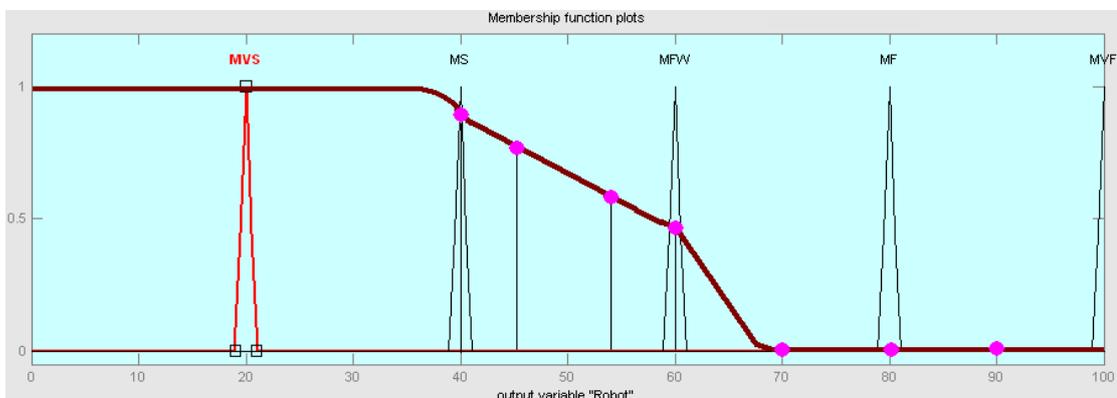
$$\text{ดังนั้น } \alpha_7 = \min(1) = 1 \text{ [Implication is Robot moving slow]}$$

Rule 8: If (Sensor2 is DVN) Then (Robot is MVS)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trapmf}(54, -33.75, -15, 15, 33.75) \\ &= (x_2 - a_{DVN}) / (b_{DVN} - a_{DVN}) = (54 + 33.75) / (-15 + 33.5) = 1 \end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_8 = \min(1) = 1 \text{ [Implication is Robot moving very slow]}$$

รวมฟังก์ชันเอาต์พุตจากกฎทุกข้อ (Aggregation) ดังภาพที่ 3-14



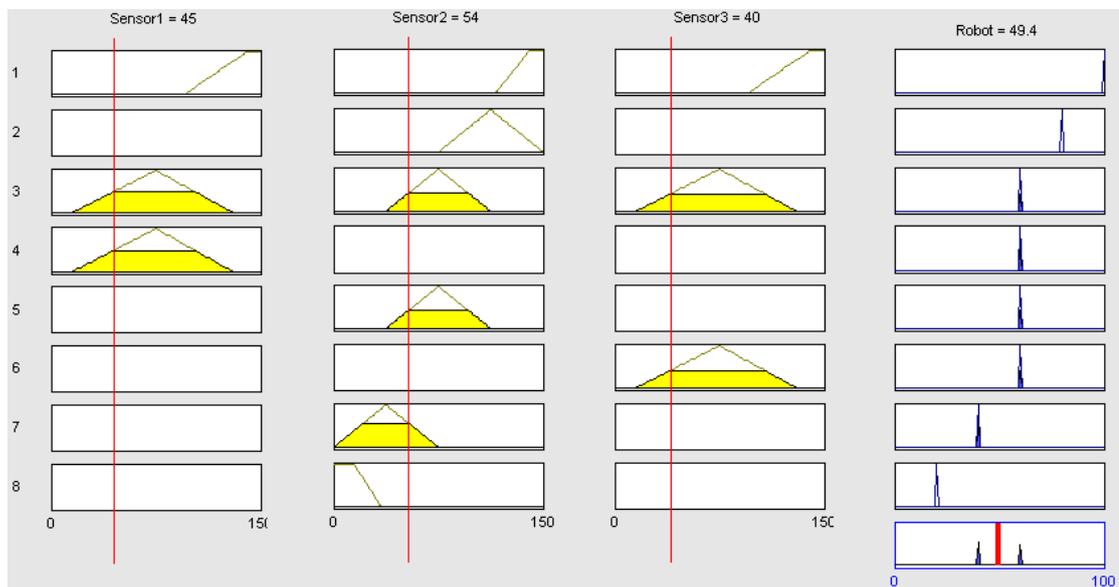
ภาพที่ 3-14 ฟังก์ชันเอาต์พุตจากกฎทุกกฎของหุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปข้างหน้า

แปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎทุกข้อเป็นค่าจริง (Defuzzification) วิธีการหาจุดศูนย์กลาง (Central of Gravity: COG) แทนค่าในสมการที่ (4) จะได้

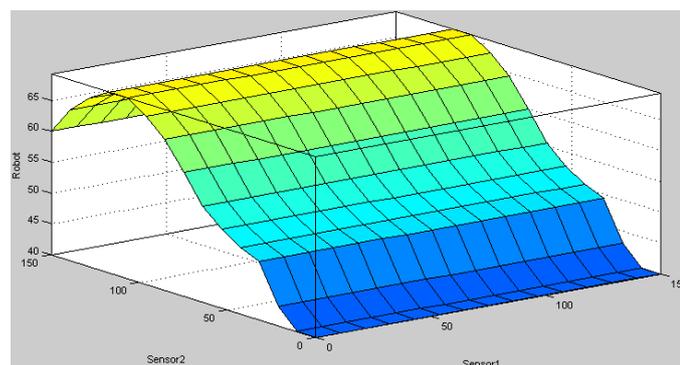
$$\text{COG} = \frac{[(0.8 \times 40) + (0.75 \times 45) + (0.55 \times 55) + (0.5 \times 60) + (0 \times 70) + (0 \times 80) + (0 \times 90)]}{(0.8 + 0.75 + 0.55 + 0.5 + 0 + 0 + 0)}$$

= 48.5 ซึ่งมีค่าประมาณใกล้เคียงกับค่าที่ได้จากโปรแกรม MATLAB คือ 49.4

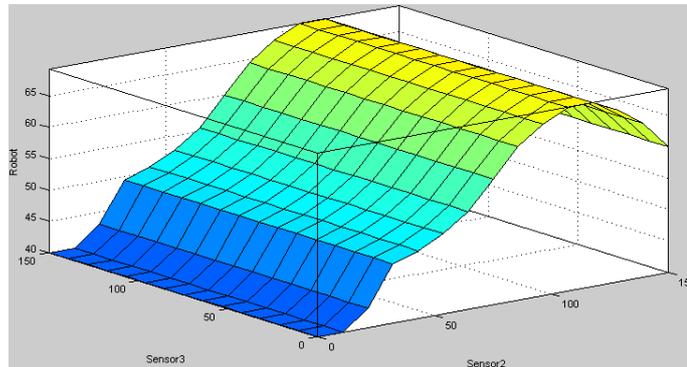
การจัดกลุ่ม (Mapping) ดังภาพที่ 3-15



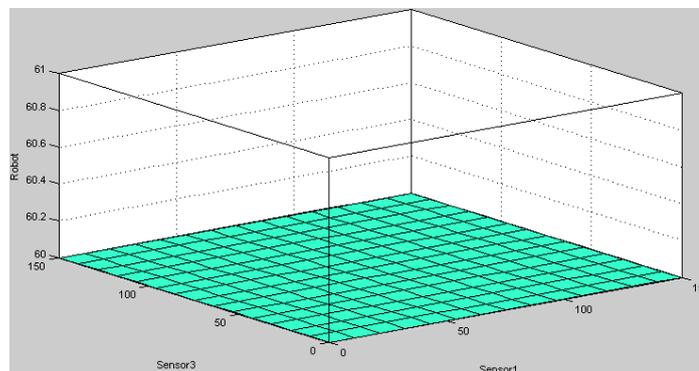
ภาพที่ 3-15 กราฟิกแสดงการคำนวณค่าเอาต์พุตด้วยวิธี Mamdani เมื่ออินพุตเป็น [45 54 40]



ภาพที่ 3-16 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor1 และ Sensor2



ภาพที่ 3-17 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor2 และ Sensor3



ภาพที่ 3-18 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor1 และ Sensor3

การคำนวณ (Membership Function: MF) ของกฎการควบคุม (หุ่นยนต์เคลื่อนที่เร็วซ้าย ขวาและถอยหลัง)

Rule 1: If (Sensor2 is DVN) and (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MFL)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF2} &= \text{trapmf}(37, -33.75, -15, 15, 33.75) \\ &= (x_2 - a_{DVN}) / (b_{DVN} - a_{DVN}) = (37 + 33.75) / (-15 + 33.5) = 1 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF3} &= \text{trapmf}(130, -54, -15, 15, 54) \\ &= (x_3 - a_{DVN}) / (b_{DVN} - a_{DVN}) = (130 + 54) / (-15 + 54) = 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น $\alpha_1 = \min(1, 1) = 1$ [Implication is Robot moving fast and turn to the left]

Rule 2: If (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MFL)

$$\begin{aligned} \text{ค่าฟัซซีในมิติที่ MF3} &= \text{trapmf}(130, -54, -15, 15, 54) \\ &= (x_3 - a_{DVN}) / (b_{DVN} - a_{DVN}) = (130 + 54) / (-15 + 54) = 1 \end{aligned}$$

ดังนั้น $\alpha_2 = \min(1) = 1$ [Implication is Robot moving fast and turn to the left]

Rule 3: If (Sensor1 is DO) and (Sensor2 is DO) and (Sensor3 is DO) Then (Robot is MFW)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF1} &= \text{trimf}(52,15,75,130) \\ &= (x1-aDO)/(bDO-aDO) = (52-15)/(75-15) = 0.61\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trimf}(37,37.5,75,112.5) \\ &= (x2-aDO)/(bDO-aDO) = (37-37.5)/(75-37.5) = 0\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF3} &= \text{trimf}(130,15,75,130) \\ &= (x3-aDO)/(bDO-aDO) = (130-15)/(75-15) = 1\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_3 = \min(0.61,0,1) = 0 \text{ [Implication is Robot moving forward]}$$

Rule 4: If (Sensor1 is DVN) and (Sensor2 is DVN) Then (Robot is MFR)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF1} &= \text{trapmf}(52,-54,-15,15,54) \\ &= (x1-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (52+54)/(-15+54) = 1\end{aligned}$$

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trapmf}(37,-33.75,-15,15,33.75) \\ &= (x2-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (37+33.75)/(-15+33.5) = 1\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_4 = \min(1,1) = 1 \text{ [Implication is Robot moving fast and turn to the right]}$$

Rule 5: If (Sensor1 is DVN) Then (Robot is MFR)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF1} &= \text{trapmf}(52,-54,-15,15,54) \\ &= (x1-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (52+54)/(-15+54) = 1\end{aligned}$$

$$\text{ดังนั้น } \alpha_5 = \min(1) = 1 \text{ [Implication is Robot moving fast and turn to the right]}$$

Rule 6: If (Sensor1 is DVN) and (Sensor2 is DVN) and (Sensor3 is DVN) Then (Robot is MB)

$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF1} &= \text{trapmf}(52,-54,-15,15,54) \\ &= (x1-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (52+54)/(-15+54) = 1\end{aligned}$$

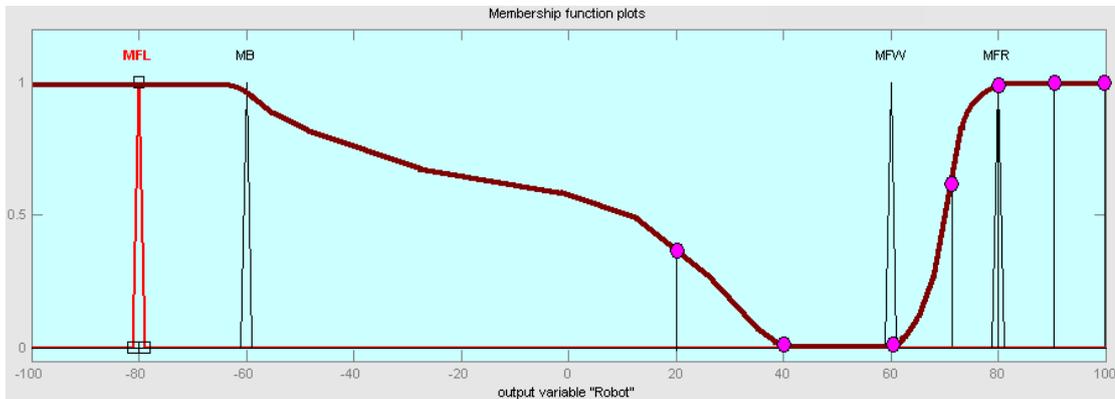
$$\begin{aligned}\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF2} &= \text{trapmf}(37,-33.75,-15,15,33.75) \\ &= (x2-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (37+33.75)/(-15+33.5) = 1\end{aligned}$$

$$\text{ค่าฟังก์ชันในมิติที่ MF3} = \text{trapmf}(130,-54,-15,15,54)$$

$$= (x3-aDVN)/(bDVN-aDVN) = (130+54)/(-15+54) = 1$$

ดังนั้น $\alpha_6 = \min(1,1,1) = 1$ [Implication is Robot moving backwards]

รวมฟัซซีเอาต์พุตจากกฎทุกข้อ (Aggregation) ดังภาพที่ 3-19

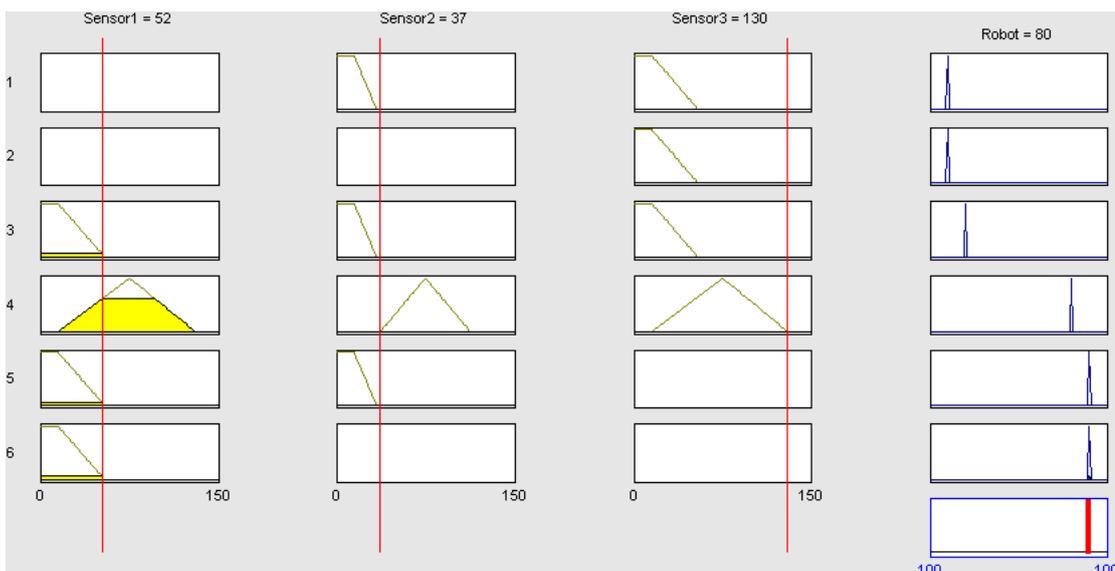


ภาพที่ 3-19 ฟัซซีเอาต์พุตจากทุกกฎของหุ่นยนต์เคลื่อนที่เดี่ยวซ้าย ขวาและถอยหลัง

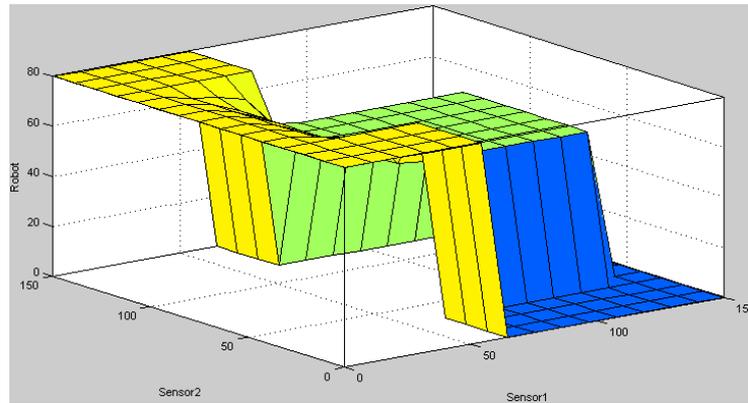
แปลงค่าฟัซซีเอาต์พุตจากกฎทุกข้อเป็นค่าจริง (Defuzzification) วิธีการหาจุดศูนย์กลางถ่วง (Central of Gravity: COG) แทนค่าในสมการที่ (4) จะได้

$$\begin{aligned} \text{COG} &= [(0.4 \times 20) + (0 \times 40) + (0 \times 60) + (0.6 \times 70) + (1 \times 80) + (1 \times 90) + (1 \times 100)] / \\ &\quad (0.4 + 0 + 0 + 0.6 + 1 + 1 + 1) \\ &= 80 \text{ ซึ่งมีค่าเท่ากับค่าที่ได้จากโปรแกรม MATLAB คือ } 80 \end{aligned}$$

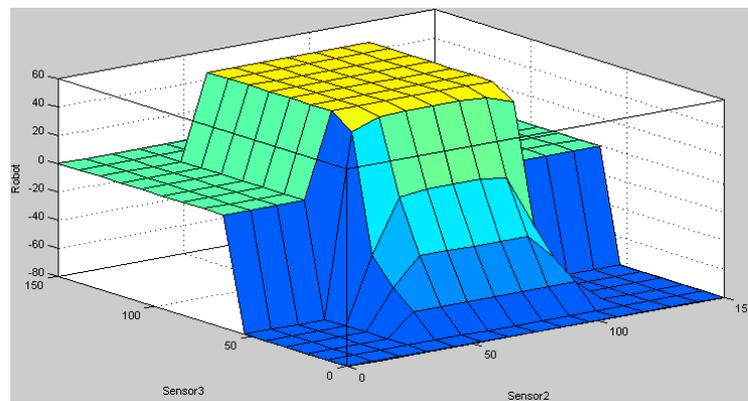
จากนั้นนำมาจัดกลุ่ม (Mapping) ดังภาพที่ 3-20



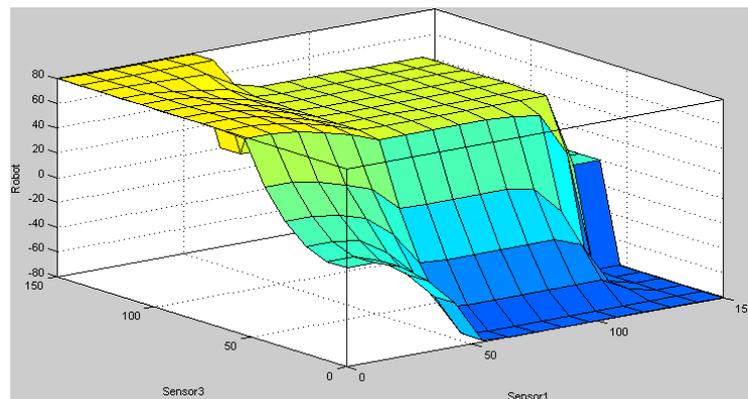
ภาพที่ 3-20 กราฟิกแสดงการคำนวณค่าเอาต์พุตด้วยวิธี Mamdani เมื่ออินพุตเป็น [52 37 130]



ภาพที่ 3-21 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor1 และ Sensor2



ภาพที่ 3-22 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor2 และ Sensor3



ภาพที่ 3-23 กราฟิกแบบ Surface ระหว่าง Sensor1 และ Sensor3

สรุปผลการพยากรณ์ข้อมูล Operating Data เบื้องต้น ดังตารางที่ 3-1 ต่อไปนี้

ตารางที่ 3-1 สรุปค่าพยากรณ์การเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ด้วยฟuzzyลอจิกเบื้องต้น

Sensor1	Sensor2	Sensor3	Robot
45	54	40	49.4
30	35	32	44.9
90	10	85	38.3
75	75	75	60
52	37	130	80
75	74	14	-80
13	75	74	80