

ปัญหาการติดตามเป้าหมายและการหลบหลีกสิ่งกีดขวาง ของหุ่นยนต์ด้วยวิธีควบคุมแบบฟัซซีอย่างง่าย

อภิวิชญ์ แก้วนพรัตน์¹ และ ปิติเขต สุรักษา²

Abstract

Kaewnopparat, A.¹ and Sooraksa, P.²

Tracking problem and obstacle avoidance of mobile robots using
simple fuzzy control

Songklanakarin J. Sci. Technol., 2004, 26(5) : 671-682

This paper presents a solution to the tracking problem, which is one of the interesting research topics, for a robot with obstacle avoidance via simple fuzzy control. The proposed forms of membership functions are designed in light of ease of implementation for real-world application. Control parameters are considered and assigned based upon size of the robot and interaction distance between sensors and environment. To evaluate the effectiveness of the design, computer simulation using Visual Basic is carried out to validate the robot movement. The results show high possibility for implementation of the system using the proposed design.

Key words : mobile robot, robot navigation, fuzzy logic control, obstacle avoidance

¹Department of Electrical Engineering ²Department of Information Engineering, Faculty of Engineering, King Mongkut's Institute of Technology Ladkrabang, Ladkrabang, Bangkok 10520 Thailand.

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า ²Ph.D.(Information Engineering) รองศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมสารสนเทศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เขตลาดกระบัง กรุงเทพฯ 10520

Corresponding e-mail: s2061006@hotmail.com

รับต้นฉบับ 18 กุมภาพันธ์ 2547

รับลงพิมพ์ 21 เมษายน 2547

บทคัดย่อ

อภิวิชญ์ แก้วนพรัตน์ และ ปิติเขต สุรักษา

ปัญหาการติดตามเป้าหมายและการหลบหลีกสิ่งกีดขวางของหุ่นยนต์
ด้วยวิธีควบคุมแบบฟัซซีอย่างง่าย

ว. สงขลานครินทร์ วทท. 2547 26(5) : 671-682

บทความนี้กล่าวถึงวิธีการแก้ปัญหาการติดตามเป้าหมายของหุ่นยนต์ในขณะที่มีสิ่งกีดขวางด้วยกระบวนการควบคุมแบบฟัซซีอย่างง่ายซึ่งเป็นปัญหาวิจัยหนึ่งที่น่าสนใจ โดยรูปแบบของฟังก์ชันความเป็นสมาชิกออกแบบให้อยู่ในรูปแบบที่ง่ายต่อการนำไปใช้จริง พารามิเตอร์ที่ใช้ในการควบคุมออกแบบโดยอาศัยขนาดของหุ่นยนต์และระยะอันตรกิริยาระหว่างตัวตรวจรับกับสิ่งแวดล้อม เพื่อตรวจสอบการออกแบบจึงจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในสถานการณ์ต่าง ๆ ด้วยคอมพิวเตอร์โดยใช้โปรแกรมวิซวลเบสิก ผลการจำลองที่ได้แสดงถึงความเป็นไปได้ที่สูงของระบบควบคุมที่นำเสนอว่าสามารถนำไปใช้งานจริงได้

เมื่อไม่นานมานี้มีการประยุกต์ใช้การควบคุมแบบฟัซซี (Lin and George Lee, 1996; Tsoukalas and Uhrig, 1996) กับหุ่นยนต์ให้ทำหน้าที่ต่างๆ เช่น ใช้ในการสร้างแผนที่ (Tunstel and Jamshidi, 1994) ใช้ให้เคลื่อนที่ตามแหล่งกำเนิดแสงที่กำหนด (Da Silva *et al.*, 1998) ซึ่งการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ในงานสนามนั้น จะพบว่าปัญหาการติดตามเป้าหมายและปัญหาการหลบหลีกสิ่งกีดขวางนั้นเป็นปัญหาที่พบเป็นประจำ และงานวิจัยที่ผ่านมาพบว่าการแก้ปัญหาดังกล่าวโดยวิธีควบคุมแบบฟัซซีได้ออกแบบฟังก์ชันสมาชิกที่ยุ่งยาก (Ho Yim and Butler, 1995) หรือไม่มีตัวแปรทางภาษามากเกินความจำเป็น (Martinez *et al.*, 1993; Wei Li, 1994) ดังนั้นบทความนี้จึงได้นำเสนอระบบควบคุมฟัซซีที่เข้าใจง่าย ลดความซับซ้อนลง โดยที่ระบบควบคุมประกอบด้วย ตัวแปรอินพุตเพียง 4 ตัว และตัวแปรเอาต์พุตเพียง 2 ตัว โดยมีฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของอินพุตและสมาชิกของเอาต์พุตเป็นรูปสามเหลี่ยม ใช้ตัวตรวจวัดอัลตราโซนิกเพียง 3 ตัว ทำให้หุ่นยนต์ใช้เวลาในการประมวลผลน้อย มีการตอบสนองอย่างรวดเร็ว และเหมาะสมที่จะนำมาใช้กับการตัดสินใจของหุ่นยนต์ในการเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางไปยังเป้าหมายที่กำหนด

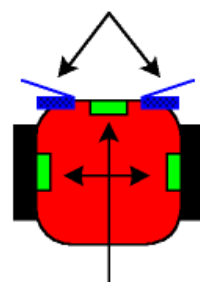
แบบจำลองหุ่นยนต์และการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

1. แบบจำลองหุ่นยนต์

หุ่นยนต์ที่ออกแบบนี้ ใช้อุปกรณ์ตัวตรวจวัด 2

ชนิด คือ ลิมิตสวิตช์ (Limit Switch) และตัวตรวจวัดอัลตราโซนิก (Ultrasonic Sensor) โดยที่ตัวตรวจวัดอัลตราโซนิก ใช้ตรวจวัดระยะทางระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวาง ใช้ทั้งหมด 3 ตัว คือ ด้านหน้า ทางซ้าย และทางขวา โดยค่าที่ตรวจวัดได้นี้จะเป็นค่าที่ใช้เป็นตัวแปรอินพุตของตัวควบคุมฟัซซี ส่วนลิมิตสวิตช์ใช้ตรวจจับการชนจะใช้ 2 ตัว คือ ที่ด้านหน้าทางซ้ายหนึ่งตัวและด้านหน้าทางขวาอีกหนึ่งตัว ดังแสดงใน Figure 1 โดยจะทำหน้าที่เป็นชุดตรวจวัดสำรองเพื่อใช้ในกรณีที่หุ่นยนต์เกิดการชนกับสิ่งกีดขวางโดยใช้หลักสามัญสำนึกคือ ถ้าลิมิตสวิตช์ด้านซ้ายทำงานแล้ว ให้หุ่นยนต์ถอยหลังและหมุนไปทางขวา และถ้าลิมิตสวิตช์ด้านขวาทำงาน แล้วให้หุ่นยนต์ถอยหลังและหมุนไปทางซ้าย

Limit Switches



Ultrasonic Sensors

Figure 1. Installation of Ultrasonic Sensors and Limit Switches

2. การออกแบบตัวควบคุมฟัซซี

ในบทความนี้ระบบควบคุมฟัซซีใช้โครงสร้างพื้นฐานที่สำคัญ 4 ส่วน คือ ส่วนการฟัซซีฟิเคชัน (Fuzzification Unit) ส่วนกฎการควบคุมฟัซซี (Fuzzy Rules Base) หน่วยวินิจฉัยกฎ (Inference Engine) และส่วนการดีฟัซซีฟิเคชัน (Defuzzification Unit) ดังแสดงใน Figure 2

2.1 การฟัซซีฟิเคชัน

เป็นขั้นตอนการแปลงค่าตัวแปรอินพุตและค่าตัวแปรเอาต์พุตให้อยู่ในรูปค่าความเป็นสมาชิกในระบบฟัซซีเซต โดยอาศัยฟังก์ชันความเป็นสมาชิกและตัวแปรทางภาษาตัวแปรอินพุตที่ใช้ในการฟัซซีฟิเคชันมีด้วยกัน 4 ตัวแปร คือ

- 1) ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านซ้าย
- 2) ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านหน้า
- 3) ระยะห่างระหว่างหุ่นยนต์กับสิ่งกีดขวางทางด้านขวา
- 4) ทิศทางของเป้าหมาย

ซึ่งตัวแปร 3 ตัวแรกเป็นข้อมูลที่รับมาจากตัวตรวจวัดอัลตราโซนิก แสดงได้ดัง Figure 3 ส่วนตัวแปรทิศทางของเป้าหมาย หาได้จากสมการที่ 1 คือ

$$\theta = \phi(\text{robot}) - \phi(\text{target}) \quad (1)$$

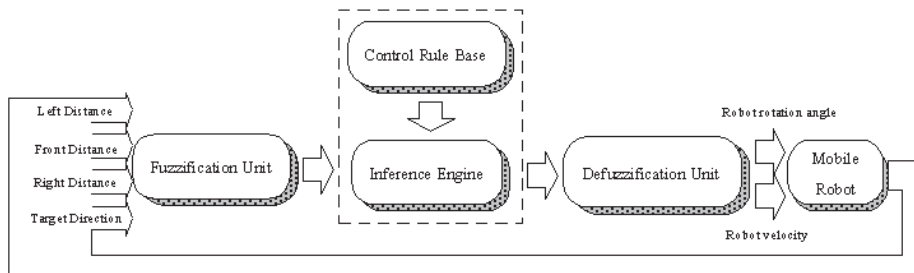


Figure 2. Structure of Fuzzy Control

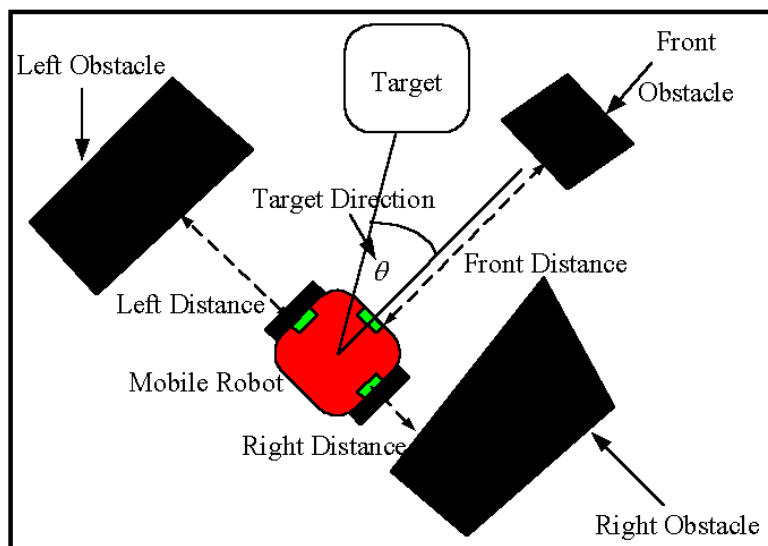


Figure 3. Acquired information for fuzzification of input variables

โดยที่ θ คือ ทิศทางของเป้าหมาย
 $\phi(\text{robot})$ คือ มุมของหุ่นยนต์
 $\phi(\text{target})$ คือ มุมของเป้าหมาย

ถ้าทิศทางเป้าหมายมีค่าเป็นลบ แสดงว่าเป้าหมายอยู่ทางด้านซ้ายของหุ่นยนต์ ถ้าทิศทางเป้าหมายมีค่าเป็นบวก แสดงว่าเป้าหมายอยู่ทางด้านขวาของหุ่นยนต์ โดยการหาทิศทางเป้าหมาย แสดงดัง Figure 4

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรอินพุตทั้ง 4 นั้น แสดงดัง Figure 5

ตัวแปรทางภาษาของตัวแปรอินพุต มีความหมายดังนี้

- สำหรับตัวแปรระยะห่างด้านซ้าย ตัวแปรระยะห่างด้านหน้า และตัวแปรระยะห่างด้านขวา

- NL: Near Left คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางซ้าย
- FL: Far Left คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางซ้าย
- NF: Near Front คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางหน้า
- FF: Far Front คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางหน้า
- NR: Near Right คือ เข้าใกล้สิ่งกีดขวางทางขวา
- FR: Far Right คือ ไกลจากสิ่งกีดขวางทางขวา

- สำหรับตัวแปร ทิศทางของเป้าหมาย

- B_L: Back Left คือ เป้าหมายอยู่ด้านหลังทางซ้าย
- L: Left คือ เป้าหมายอยู่ด้านซ้าย
- F_L: Front Left คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้าทางซ้าย
- Z: Zero คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้า

- F_R: Front Right คือ เป้าหมายอยู่ด้านหน้าทางขวา
- R: Right คือ เป้าหมายอยู่ด้านขวา
- B_R: Back Right คือ เป้าหมายอยู่ด้านหลังทางขวา

ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของตัวแปรเอาต์พุตของระบบควบคุมฟัซซีแสดงดัง Figure 6 ตัวแปรทางภาษาของตัวแปรเอาต์พุตมีความหมายดังนี้

- สำหรับตัวแปร ความเร็วของหุ่นยนต์

- Slow คือ ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ช้า
- Medium คือ ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ปานกลาง
- Fast คือ ให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เร็ว

- สำหรับตัวแปร มุมการหมุนของหุ่นยนต์

- NB: Negative Big คือ ให้หุ่นยนต์หมุนซ้ายมากๆ
- NM: Negative Medium คือ ให้หุ่นยนต์หมุนซ้ายปานกลาง
- NS: Negative Small คือ ให้หุ่นยนต์หมุนซ้ายเล็กน้อย
- ZZ: Zero คือ ให้หุ่นยนต์ตรงไปข้างหน้า
- PS: Positive Small คือ ให้หุ่นยนต์หมุนขวาเล็กน้อย
- PM: Positive Medium คือ ให้หุ่นยนต์หมุนขวาปานกลาง
- PB: Positive Big คือ ให้หุ่นยนต์หมุนขวามากๆ

2.2 การสร้างกฎการควบคุมแบบฟัซซี

กฎการควบคุมแบบฟัซซี ถูกกำหนดให้อยู่ในรูปแบบของกฎ “ถ้า-แล้ว” หรือ “IF-THEN” ซึ่งแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าอินพุตและเอาต์พุต หลักการในการสร้างกฎการควบคุมนั้นสร้างจากพฤติกรรมของหุ่นยนต์ที่กระทำกับสิ่งกีดขวางในสภาวะแวดล้อมขณะนั้น แบ่งเป็น

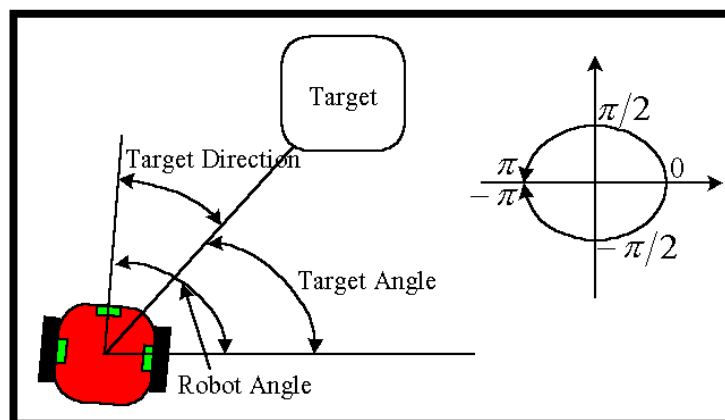


Figure 4. Calculation of target direction

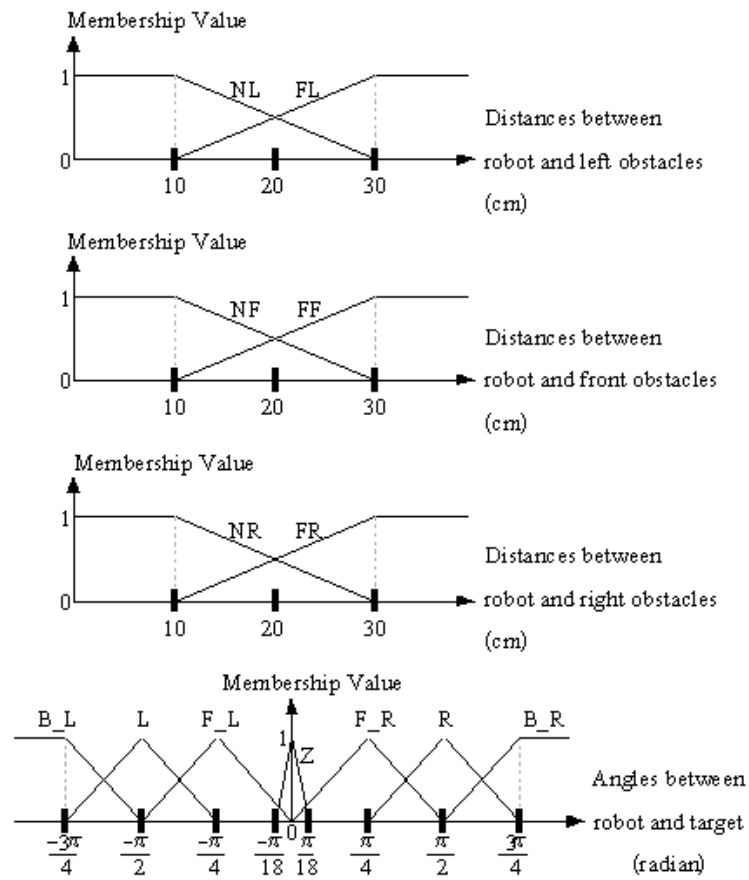


Figure 5. Membership Function of Input Variables

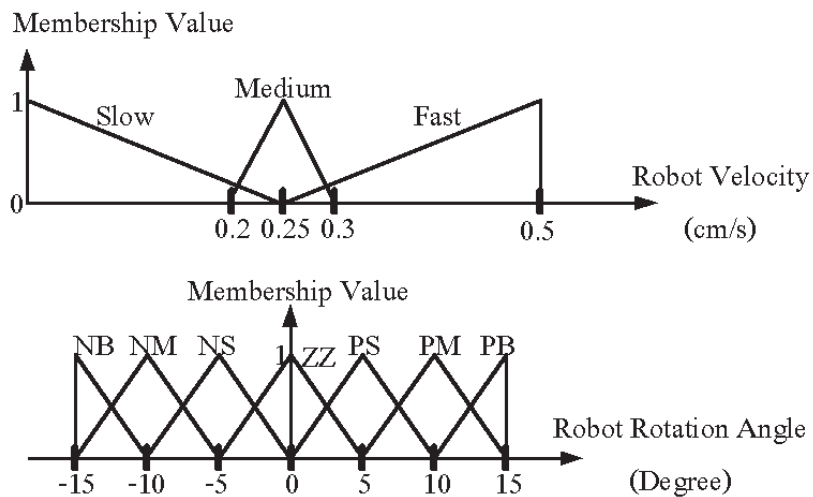


Figure 6. Membership Function of Output Variables

4 พฤติกรรม คือ

1) พฤติกรรมเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าใกล้สิ่งกีดขวาง หุ่นยนต์ควรจะเคลื่อนที่เพื่อหลบสิ่งกีดขวางให้ได้ และลดความเร็วให้เคลื่อนที่ช้าลงเพื่อป้องกันตนเองในกรณีที่ต้องตรวจวัดทำงานไม่ทันเนื่องจากข้อจำกัดทางกายภาพ

2) พฤติกรรมเคลื่อนที่ในทางแคบๆ เมื่อหุ่นยนต์เคลื่อนที่เข้าไปในทางแคบๆ หุ่นยนต์ควรเคลื่อนที่ตรงไปข้างหน้าเพียงอย่างเดียวโดยที่ไม่สนใจทิศทางของเป้าหมายและใช้ความเร็วในระดับปกติ เพราะหุ่นยนต์ควรรับผิดชอบออกจากระยะประชิด

3) พฤติกรรมเคลื่อนที่ไปตามขอบ เมื่อทิศทางของเป้าหมายอยู่ฝั่งตรงข้ามสิ่งกีดขวางและเพื่อให้หุ่นยนต์วิ่งไปหาเป้าหมายได้ หุ่นยนต์ควรจะวิ่งไปตามขอบของสิ่งกีดขวางไปเรื่อยๆ จนกระทั่งผ่านพ้นสิ่งกีดขวางนั้น แล้วจึงเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายต่อไป โดยหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็วปกติได้

4) พฤติกรรมเคลื่อนที่วิ่งไปหาเป้าหมาย เมื่อไม่มีสิ่งกีดขวางระหว่างหุ่นยนต์กับเป้าหมาย หรือไม่มีสิ่งกีดขวางรอบๆ ตัวหุ่นยนต์ ในกรณีนี้ หุ่นยนต์สามารถทำตามจุดประสงค์หลักคือ วิ่งเข้าหาเป้าหมายและใช้ความเร็วให้มากที่สุดเท่าที่จะทำได้

ยกตัวอย่างกฎการควบคุม ในกรณีนี้ หุ่นยนต์ตรวจพบสิ่งกีดขวางในระยะใกล้ทั้ง 3 ทิศทาง และเป้าหมายอยู่ด้านหน้า ดังนั้นหุ่นยนต์จะมีพฤติกรรมเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวาง เขียนกฎการควบคุมได้ดังนี้ ถ้าระยะห่างด้านซ้าย = NL, ระยะห่างด้านหน้า = NF, ระยะห่างด้านขวา = NR, ทิศทางของเป้าหมาย = Z แล้วความเร็วของหุ่นยนต์ = Slow และมุมการหมุนของหุ่นยนต์ = NM

2.3 การวินิจฉัยกฎ

เป็นการนำค่าความเป็นสมาชิกที่ได้รับเข้ามาไปประมวลผลตามกฎการควบคุมของระบบควบคุมฟัซซีที่ได้ออกแบบไว้ ในที่นี้จะเลือกใช้วิธีการ Mamdani - Min (Tsoukalas and Uhrig, 1996) ซึ่งเป็นวิธีที่ใช้เวลาประมวลผลเร็วและมีการคำนวณที่ไม่ซับซ้อน

2.4 การดีฟัซซีฟิเคชัน

เป็นการแปลงผลจากค่าความเป็นสมาชิกที่

ได้จากขั้นตอนของการวินิจฉัยกฎการควบคุมให้อยู่ในรูปของค่าเอาต์พุตโดยเป็นจำนวนจริงที่อยู่ในโดเมนของตัวแปรเอาต์พุต ซึ่งค่านี้เป็นค่าที่นำไปใช้ในการควบคุมหุ่นยนต์นั่นเอง

เทคนิคการดีฟัซซีฟิเคชันมีหลายวิธีด้วยกัน สำหรับระบบควบคุมแบบฟัซซีในบทความนี้จะเลือกใช้วิธีหาค่าศูนย์กลาง (Tsoukalas and Uhrig, 1996) ซึ่งวิธีนี้เป็นที่นิยมใช้มากในกระบวนการควบคุม เนื่องจากใช้ข้อมูลของค่าความเป็นสมาชิกของทุกกฎที่เป็นจริงทำให้ค่าที่ได้มีความน่าเชื่อถือและเหมาะสมกว่าวิธีอื่นๆ สามารถคำนวณความเร็วของหุ่นยนต์ จากการดีฟัซซีฟิเคชันได้จากสมการที่ 2

$$v_{Robot}^* = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(v_j) \cdot v_j}{\sum_{j=1}^N \mu(v_j)} \quad (2)$$

โดยที่ v_{Robot}^* คือ ความเร็วของหุ่นยนต์จากการดีฟัซซีฟิเคชัน

v_j คือ ค่าเอาต์พุตของตัวแปรความเร็วของหุ่นยนต์ตัวที่ j

$\mu(v_j)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของตัวแปร v_j ตัวที่ j

N คือ จำนวนข้อมูลที่สุ่มตัวอย่างทั้งหมด ส่วนการคำนวณมุมการหมุนของหุ่นยนต์ สามารถหาได้จากการดีฟัซซีฟิเคชัน ดังสมการที่ 3

$$\theta_{Robot}^* = \frac{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j) \cdot \theta_j}{\sum_{j=1}^N \mu(\theta_j)} \quad (3)$$

โดยที่ θ_{Robot}^* คือ มุมการหมุนจากการดีฟัซซีฟิเคชัน

θ_j คือ ค่าเอาต์พุตของตัวแปรมุมการหมุนตัวที่ j

$\mu(\theta_j)$ คือ ค่าความเป็นสมาชิกของ θ_j ตัวที่ j

สำหรับการทดสอบการออกแบบตามหลักการของแบบจำลองหุ่นยนต์และการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี จะนำเสนอในหัวข้อการทดสอบด้วยการจำลองผล

การทดสอบด้วยการจำลองผล

โครงสร้างภาพรวมของขั้นตอนการทำงานของโปรแกรมจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แสดงดัง Figure 7

ในการทดสอบการทำงานได้จำลองตัวหุ่นยนต์ขนาดกว้าง 15 ซม. ยาว 15 ซม. ภายในพื้นที่จำกัด ขนาดกว้าง 230 ซม. ยาว 150 ซม. ส่วนขั้นตอนการตรวจสอบว่าหุ่นยนต์เคลื่อนที่ถึงเป้าหมายที่กำหนดให้แล้วหรือไม่สามารถตรวจสอบได้จากการที่หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปเข้าใกล้เป้าหมายในระยะที่ยอมรับได้ ดังสมการที่ 4

$$\sqrt{(X_t - X_r)^2 + (Y_t - Y_r)^2} < \epsilon$$

(4) โดยที่ T_s คือ อัตราการตรวจวัดของเซนเซอร์ มีค่า 0.1 วินาที

โดยที่ ϵ คือ ระยะที่ยอมรับได้

(X_r, Y_r) คือ พิกัดของเป้าหมาย

(X_t, Y_t) คือ พิกัดของหุ่นยนต์

ในขั้นตอนการเคลื่อนตัวหุ่นยนต์จะนำค่าความเร็วและมุมการหมุนของหุ่นยนต์ที่ได้จากการรีฟิวซีฟิเคชันมากำหนดตำแหน่งที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไปและมุมของหุ่นยนต์ใหม่ ดังสมการที่ 5

$$X(t + T_s) = X(t) + v_x^* T_s$$

$$Y(t + T_s) = Y(t) + v_y^* T_s$$

$$\phi(t + T_s) = \phi(t) + \theta_{Robot}^* \quad (5)$$

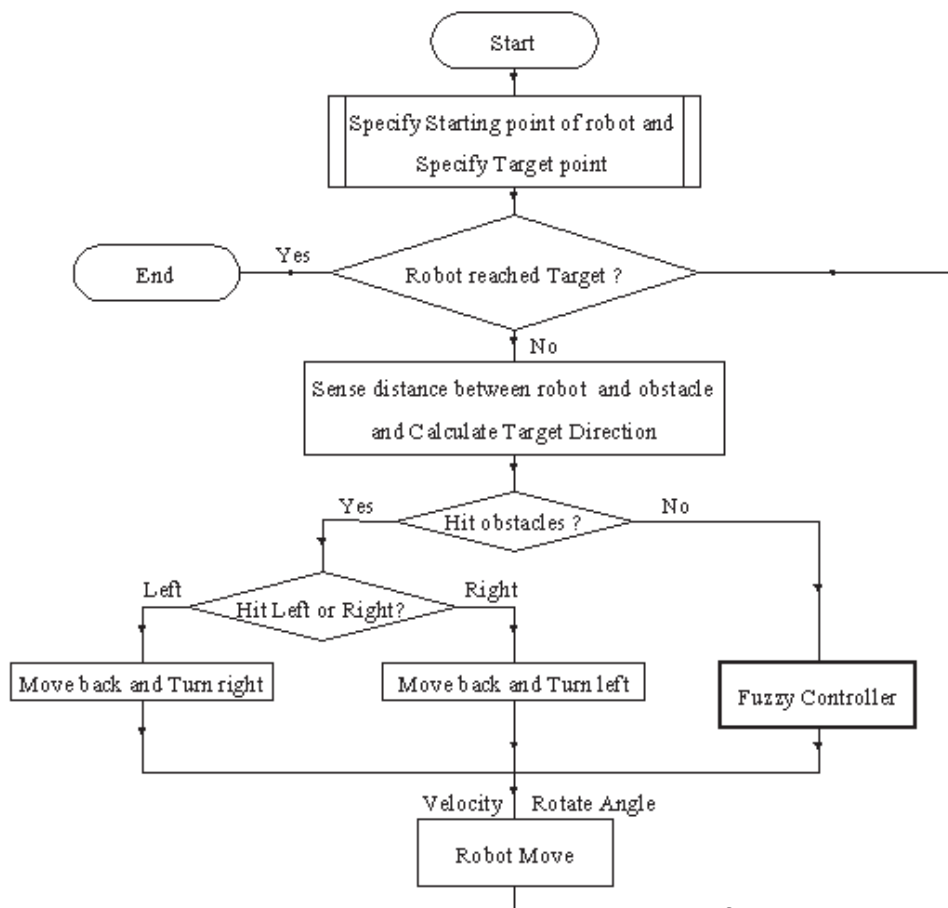


Figure 7. Block diagram of simulation program for robot navigation

v_x^* คือ ความเร็วหุ่นยนต์ในแกน X หรือ

$$v_{Robot}^* \cos(\phi(t))$$

v_y^* คือ ความเร็วหุ่นยนต์ในแกน Y หรือ

$$v_{Robot}^* \sin(\phi(t))$$

$\phi(t)$ คือ มุมของหุ่นยนต์ก่อนหมุน

$\phi(t+T_s)$ คือ มุมของหุ่นยนต์หลังจากหมุนแล้ว

$(X(t), Y(t))$ คือ พิกัดของหุ่นยนต์ก่อนเคลื่อนที่

$(X(t+T_s), Y(t+T_s))$ คือ พิกัดที่หุ่นยนต์จะเคลื่อนที่ไป

1. เป้าหมายอยู่ในสิ่งกีดขวางรูปตัวยูโดยการเปลี่ยนตำแหน่งเริ่มต้นของหุ่นยนต์

ใน Figure 8 และ Table 1 แสดงให้เห็นว่าเส้นทางการเคลื่อนที่ในเส้นทางที่ 1 และ 2 นั้น หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายโดยใช้ระยะทางและเวลาที่นำพอใจ แต่สำหรับเส้นทางที่ 3 และ 4 จะพบข้อเสียของตัวควบคุมฟัซซีที่ได้นำเสนอนี้คือ เมื่อหุ่นยนต์ต้องหลบหลีกสิ่งกีดขวางโดยมีเป้าหมายอยู่ตรงหน้า จากการออกแบบกฎการควบคุมได้กำหนดให้หุ่นยนต์หลบไปทางซ้ายเสมอ ทำให้ต้องเคลื่อนที่โดยใช้ระยะทางและเวลาที่มากกว่าที่ควรจะเป็น

Table 1. Distance and time of robot from Figure 8

Start Point	Path	Distance (Cm.)	Time (S.)
1	1 □	234.4	73.8
2	2 ○	109.3	27.6
3	3 +	417	128
4	4 ×	305.4	91.1

2. เริ่มต้นจากจุดเดียวกันไปยังเป้าหมายที่ต่างกัน ในสิ่งกีดขวางวงจระจกกระจายอยู่

ในเส้นทางที่ 1, 3 และ 4 หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายโดยใช้ระยะทางและเวลาที่นำพอใจ แต่สำหรับเส้นทางที่ 2 จะพบข้อเสียเช่นเดียวกับการจำลองหัวข้อที่ก่อนหน้านี้ ดังใน Figure 9 และ Table 2

3. สิ่งกีดขวางวางอย่างสลับซับซ้อนคล้ายเขาวงกต

เพื่อทดสอบประสิทธิภาพในการทำงานของหุ่นยนต์ จึงจำลองสิ่งแวดล้อมที่มีสิ่งกีดขวางวางอย่างสลับซับซ้อนซึ่งมีลักษณะคล้ายกับเขาวงกต จากเส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ใน Figure 10 พบว่าหุ่นยนต์ตัดสินใจผิดพลาดทำให้เคลื่อนที่วนกลับไปยังจุดเริ่มต้นอยู่หนึ่งรอบแต่รอบที่สองก็สามารถตัดสินใจได้อย่างถูกต้องเนื่องจากข้อมูลที่หุ่นยนต์ได้รับเปลี่ยนไปทำให้การตัดสินใจเปลี่ยนไปด้วย

4. เป้าหมายอยู่หลังสิ่งกีดขวางรูปตัวยู

เป็นการจำลองเพื่อทดสอบว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่ออกมาจากสิ่งกีดขวางรูปตัวยูโดยไม่เคลื่อนที่วนรอบอยู่ภายในได้หรือไม่ ผลการทดสอบดังแสดงใน Figure 11 หุ่นยนต์จะใช้พฤติกรรมเคลื่อนที่ไปตามขอบเพื่อที่จะเคลื่อนที่ออกมาจากสิ่งกีดขวางรูปตัวยู หลังจากที้ออกมาภายนอกสิ่งกีดขวางแล้วก็จะเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมาย

Table 2. Distance and time of robot from Figure 9

Start Point	Path	Distance (Cm.)	Time (S.)
1	1 □	234.5	65.7
2	2 ○	336.8	106.8
3	3 +	167.6	52.6
4	4 ×	143.9	41.6

Table 3. Distance and time of robot from Figure 15

Path	Distance (Cm.)	Time (S.)
Simple Fuzzy Control (Red Path)	246.5	72
Complicated Fuzzy Control (Blue Path)	238.4	79

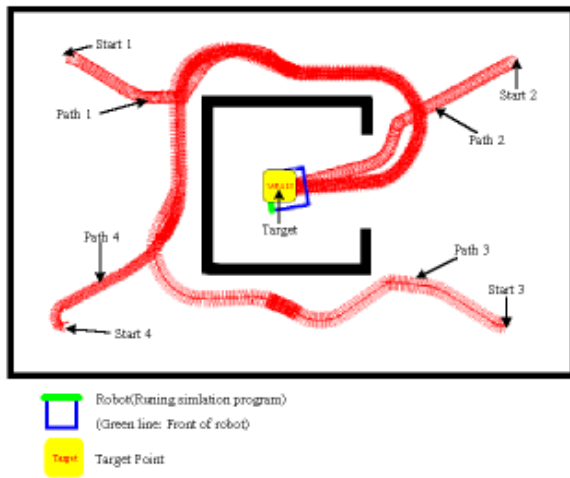


Figure 8. Robot tracking line from several starting points to reach the same target inside U-shaped Obstacle

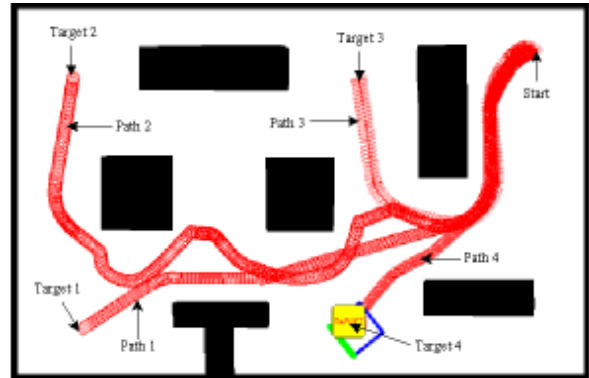


Figure 9. Robot tracking line from same start point to reach the several target points in cluttered environment

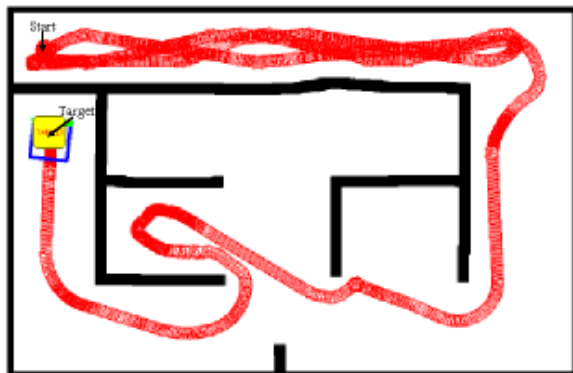


Figure 10. Robot motion in complicated environment like the maze

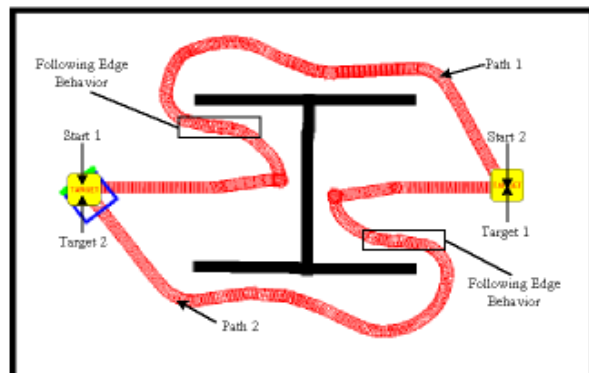


Figure 11. Robot escape from U-shaped obstacle and target position is located at the backside

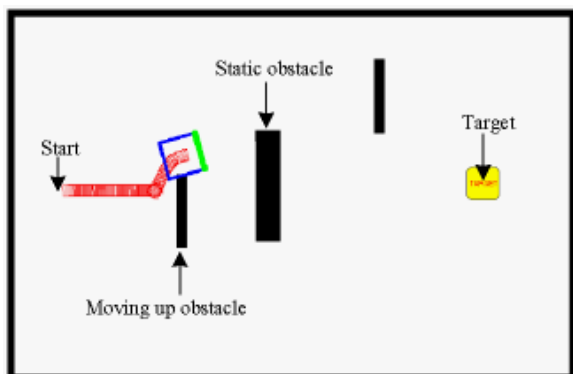


Figure 12.1 Robot avoiding the first obstacle (moving up)

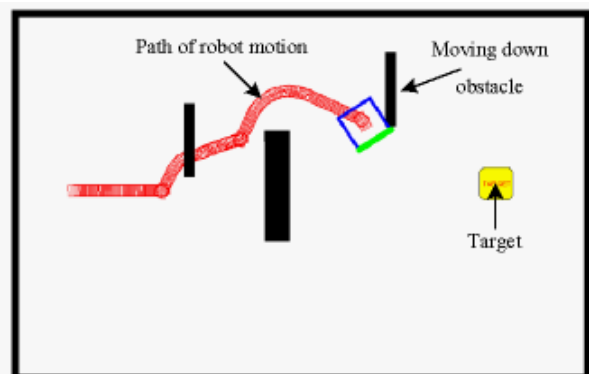


Figure 12.2 Robot avoiding the second obstacle (moving down)

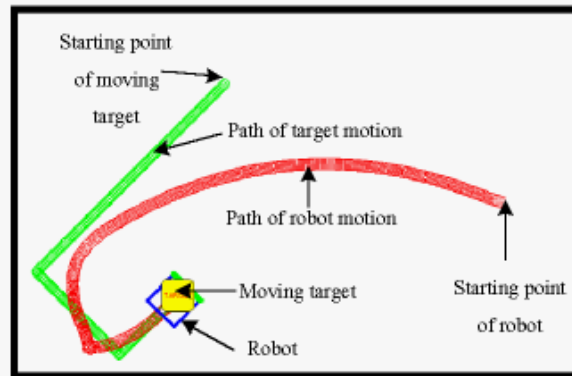


Figure 13. Robot catching the moving target

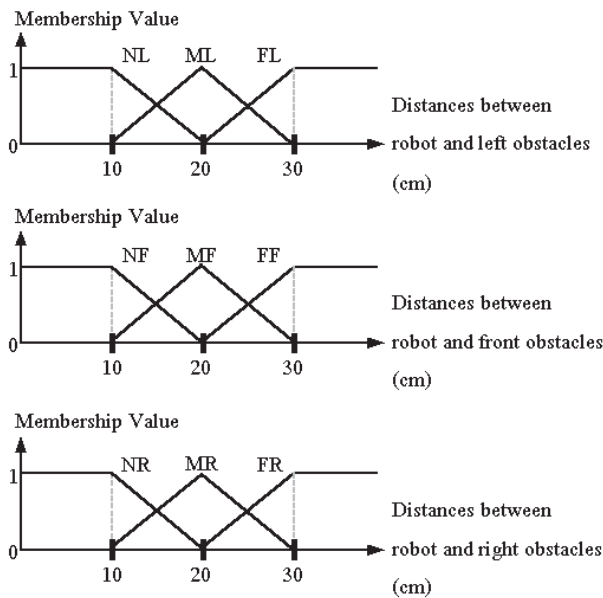


Figure 14. Membership function of input variables for complicated fuzzy control

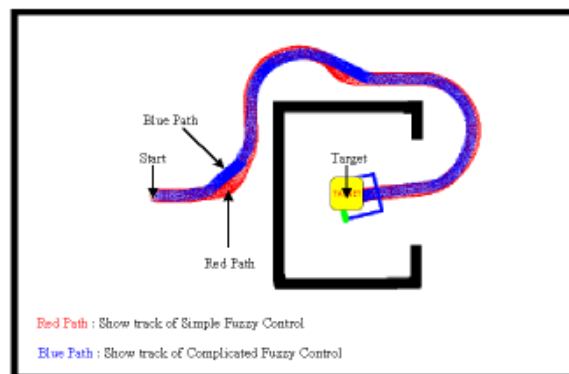


Figure 15. Compare robot tracking line of simple and complicated fuzzy control

ต่อไป

5. หลบหลีกสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ได้

เป็นการจำลองให้มีสิ่งกีดขวางที่เคลื่อนที่ได้ 2 ตัว เคลื่อนที่ขึ้นลงอยู่ระหว่างจุดเริ่มต้นของหุ่นยนต์กับเป้าหมาย โดยที่สิ่งกีดขวางทางซ้ายกำลังเคลื่อนที่ขึ้น ส่วนสิ่งกีดขวางทางขวากำลังเคลื่อนที่ลง ทั้งสองเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2.5 เซนติเมตรต่อวินาทีเท่ากัน เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แสดงดัง Figure 12.1 และ 12.2

6. เป้าหมายสามารถเคลื่อนที่ได้

เป็นการจำลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายที่สามารถเคลื่อนที่ได้ โดยเป้าหมายเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 2 เซนติเมตรต่อวินาที เส้นทางการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์แสดงดัง Figure 13

การจำลองในข้อ 5 และ 6 ทำให้เห็นว่า ระบบควบคุมฟัซซีสามารถนำมาใช้กับหุ่นยนต์ให้เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่มีการเปลี่ยนแปลงได้ เนื่องจากการทำงานของหุ่นยนต์จะรับข้อมูลสภาพแวดล้อม ณ เวลานั้นจึงทำให้การตัดสินใจเป็นไปในลักษณะเรียลไทม์

7. เปรียบเทียบวิธีควบคุมฟัซซีแบบง่ายกับแบบซับซ้อน

สำหรับวิธีการควบคุมฟัซซีแบบซับซ้อนนั้นได้ทำการจำลองขึ้นโดยกำหนดให้ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกของแต่ละตัวแปรอินพุตระยะห่างกับสิ่งกีดขวางทั้งด้านหน้าทางซ้ายและทางขวามีความซับซ้อนขึ้น กล่าวคือ แต่ละตัวแปรอินพุตมีเทอมเซตเพิ่มขึ้นเป็น 3 เทอมเซต ดังแสดงใน Figure 14

การเปรียบเทียบวิธีควบคุมฟัซซีอย่างง่ายที่ได้ทำการออกแบบไว้ในบทความนี้กับวิธีการควบคุมฟัซซีแบบซับซ้อน โดยการจำลองให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่ในสภาพแวดล้อมที่เหมือนกันและมีจุดเริ่มต้นและตำแหน่งเป้าหมายเดียวกัน

จากผลการจำลองใน Figure 15 พบว่าวิธีการควบคุมฟัซซีแบบง่ายใช้ระยะเวลาในการเคลื่อนที่ไปยังเป้าหมายมากกว่าแต่จะใช้ระยะเวลาที่น้อยกว่าดังแสดงใน Table 3 ทั้งนี้เนื่องมาจากการเพิ่มเทอมเซตของฟังก์ชันสมาชิกของตัวแปรอินพุตของวิธีการควบคุมฟัซซีแบบซับซ้อนทำให้หุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่หลบสิ่งกีดขวางได้ก่อนที่จะเข้าไปใกล้กับสิ่งกีดขวาง ส่วนเหตุที่ทำให้วิธีการควบคุมฟัซซีแบบซับซ้อนใช้เวลาในการเคลื่อนที่มากกว่านั้น เนื่องจากหุ่นยนต์ต้องทำการเปลี่ยนแปลงมุมการหมุนมากขึ้นนั่นเอง โดยเมื่อดูจากกราฟที่แสดงใน Figure 16 จะเห็นว่าวิธีการควบคุมฟัซซีแบบง่ายมีการเปลี่ยนแปลงมุมการหมุนน้อยกว่าวิธีการควบคุมฟัซซีแบบซับซ้อน

สรุปผล

จากผลการจำลองจะเห็นได้ว่าหุ่นยนต์สามารถเคลื่อนที่หลบหลีกสิ่งกีดขวางและเคลื่อนที่ไปถึงเป้าหมายที่กำหนดไว้ได้ในกรณีศึกษาต่างๆ ไม่ว่าสิ่งกีดขวางจะอยู่กับที่หรือสิ่งกีดขวางเคลื่อนที่ได้ แม้กระทั่งเมื่อเป้าหมายเคลื่อนที่ได้ ดังนั้นจึงสามารถกล่าวได้ว่าระบบควบคุมฟัซซีอย่างง่ายที่นำเสนอในบทความนี้ที่นำมาใช้เพื่อช่วยในการ

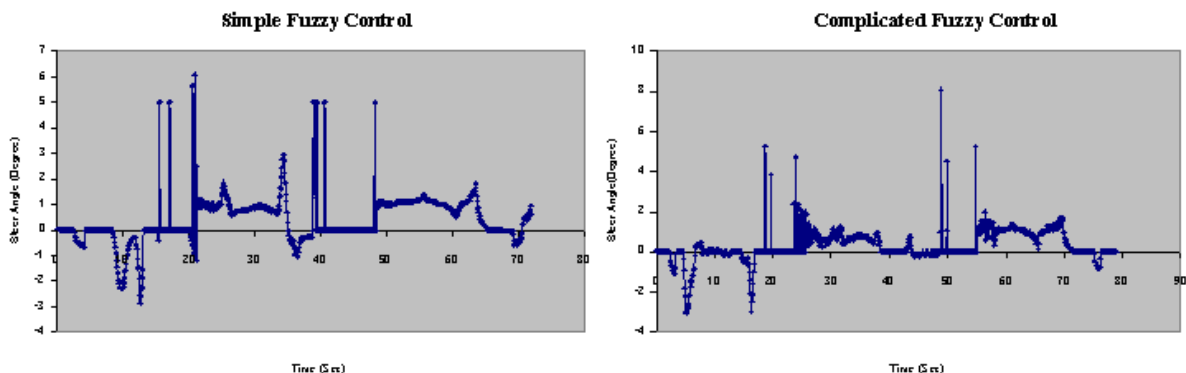


Figure 16. Comparison of robot steer angle of simple and complicated fuzzy control

ตัดสินใจของหุ่นยนต์น่าจะสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานกับหุ่นยนต์ที่สร้างขึ้นมาตามแบบจำลองที่ได้นำเสนอข้างต้นได้

เอกสารอ้างอิง

- Da Silva, I.N., Gomide, F.A.C. and Do Amaral, W.C. 1998. Navigation of Mobile Robots using Fuzzy Logic Controllers, 5th International Workshop on Advanced Motion Control, Coimbra, Portugal, June 29 - July 1, 1998: 346-349.
- Ho Yim and Butler, A.C. 1995. Motion Planning Using Fuzzy Logic Control With Minimum Sensors, Proc. IEEE International Symp. on Intelligent Control, Monterey, CA USA, Aug 27-29, 1995: 558-564.
- Lin, C.T. and George Lee, C.S. 1996. Neural Fuzzy Systems. Prentice Hall, Inc., New Jersey.

- Martinez, A., Tunstel, E. and Jamshidi, M. 1993. Fuzzy Logic Based Collision Avoidance for a Mobile Robot, 3rd Intl. Conf. on Industrial Fuzzy Control and Intelligent Systems, Houston, TX USA, Dec. 1-3, 1993: 66-69.
- Tsoukalas, L.H. and Uhrig, R.E. 1996. Fuzzy And Neural Approaches In Engineering. John Wiley & Sons, Inc., New York.
- Tunstel, E. and Jamshidi, M. 1994. Fuzzy logic and Behavior Control Strategy for Autonomous Mobile Robot Mapping, Proc. IEEE Conf. on Fuzzy Systems, Orlando, FL USA, June 26-29, 1994: 514-517.
- Wei Li. 1994. Perception-Action Behavior Control of a Mobile Robot in Uncertain Environments Using Fuzzy Logic, Proc. IEEE/RSI/GI Intelligent Robots and Systems, Munich, Germany, Sept 12-16, 1994: 439-446.