

## การควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองสำหรับหุ่นยนต์ขนาดเล็ก

### Type-2 Fuzzy Logic Control for Micro-Robots

อิทธิพล จารุลักขณา<sup>1\*</sup> สุวัฒน์ กุลธนปรีดา<sup>2</sup> Takahiro ITO<sup>3</sup>

<sup>1</sup>ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกลและการบิน-อวกาศ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ  
1518 ถ.ประชาราษฎร์ สาย 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

\*E-mail: ittipol\_kmitnb@hotmail.com, โทรศัพท์ 085-923-6219

<sup>3</sup>Ito-Murakami Laboratory, Mechanical Information Science and Technology,  
Faculty of Computer Science and Systems Engineering, Kyushu Institute of Technology  
680-4 Kawazu, Iizuka-shi, Fukuoka, 820-8502, JAPAN

#### บทคัดย่อ

หุ่นยนต์ขนาดเล็ก (Micro Robots) ถูกใช้งานในภารกิจที่ต้องอาศัยขนาดเล็กมากในการปฏิบัติงาน เช่น หุ่นยนต์สำรวจลำไส้ เป็นต้น แต่ด้วยความเล็กมากทางโครงสร้าง ส่งผลให้หุ่นยนต์ประเภทนี้อ่อนไหวต่อสิ่งรบกวนภายนอกและมีความไม่แน่นอนสูงมากบทความนี้นำเสนอการประยุกต์ใช้ฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง (Type-2 Fuzzy Logic) สำหรับการควบคุมหุ่นยนต์ขนาดเล็กให้เคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนด ซึ่งฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองมีศักยภาพในการแก้ปัญหาความไม่แน่นอนได้ดี โดยการออกแบบใช้เทคนิคการหาค่าที่เหมาะสมที่สุด (Optimization) ของฟังก์ชันสมาชิก (Membership Functions) เพื่อให้ค่าความคลาดเคลื่อนของการเคลื่อนที่ตามเส้นทางที่กำหนดมีค่าน้อยที่สุด ผลลัพธ์ของการจำลองการทำงานในคอมพิวเตอร์พบว่าฟัซซี่ลอจิกมีศักยภาพในการรับมือกับสิ่งรบกวนภายนอกและความไม่แน่นอนของระบบดีกว่าตัวควบคุมแบบ PID และตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบดั้งเดิม

**คำหลัก:** หุ่นยนต์ขนาดเล็ก; การควบคุมหุ่นยนต์; ตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิก; ฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง; การหาค่าที่เหมาะสมที่สุด

#### Abstract

Micro robots is the kind of very small robots for active in missions that require a much smaller scale operations such as robotic exploration intestine, etc. ,but with a smaller structure, the micro robots are sensitive to external stimuli and have very high uncertainty. In this paper presents type-2 fuzzy logic controller for control the some simple of micro robotic mission, that is the tracking circle path with uncertainty problem. We use optimization techniques to design the membership functions for minimize error of position movement. From the computer simulation result we found, the type-2 fuzzy logic control has more potential to handle the uncertainties more than PID control and type-1 fuzzy logic control

**Keywords:** Micro-Robots; Takagi-Sugeno-Kang Fuzzy Logic, Type-2 Fuzzy Logic

## DRC-18

### บทนำ

ในระบบจริงไม่สามารถปฏิเสธได้ว่าทุกระบบมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น โดยเฉพาะอย่างยิ่งในระบบที่มีขนาดเล็ก ซึ่งความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นเพียงเล็กน้อยจะส่งผลกระทบต่อระบบโดยรวมอย่างมาก ดังนั้นเราต้องการเครื่องมือหรือกระบวนการใดก็ตาม ที่สามารถที่จะควบคุมระบบนั้นๆ ให้สามารถรับมือกับความไม่แน่นอนที่เกิดขึ้นได้อย่างมีประสิทธิภาพ ฟัซซี่ลอจิกเป็นหนึ่งในกระบวนการที่เป็นที่รู้จักกันอย่างกว้างขวางว่าเป็นวิธีที่ง่าย ไม่ซับซ้อนมากในการออกแบบตัวควบคุมที่มีความสามารถรับมือกับความไม่แน่นอนของระบบได้ดี

ฟัซซี่ลอจิกหรือตรรกศาสตร์คลุมเครือ(Fuzzy Logic) ถูกพูดถึงครั้งแรกโดย Prof.Loffi Zadeh ในปีค.ศ.1965 ตัวฟัซซี่ลอจิกนั้นถูกนิยามขึ้นเพื่อที่จะใช้เป็นตัวแทนในการอธิบายถึงความจริงบนพื้นฐานที่ว่า ในโลกแห่งความเป็นจริงนั้นมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นเสมอ ด้วยเหตุผลนี้ฟัซซี่ลอจิกจึงมีความเหมาะสมที่จะถูกนำมาประยุกต์ใช้ในศาสตร์ของการควบคุม โดยเฉพาะสำหรับระบบที่ต้องการความคงทนต่อความไม่แน่นอน[1,2]

ฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง(Type-2 Fuzzy Logic) ถูกกล่าวถึงครั้งแรกในปีค.ศ.1975 โดย Prof.Loffi Zadeh เป็นการพัฒนาหลักคิดฟัซซี่ลอจิกให้สูงขึ้น (High Order Fuzzy Logic) เพื่อให้ครอบคลุมถึงปัญหาที่นักวิชาการได้ตั้งข้อสงสัยในฟัซซี่ลอจิกว่า ฟัซซี่ลอจิกนั้นสามารถที่จะเป็นตัวแทนในการอธิบายถึงความไม่แน่นอนของตัวแปรใน domain ที่พิจารณาได้ แต่ไม่สามารถที่จะอธิบายถึงความไม่แน่นอนของค่าความจริง ณ จุดนั้นๆได้

ฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองเริ่มเป็นที่นิยมในช่วงปี ค.ศ.1990 และเป็นที่นิยมมากขึ้นตั้งแต่ปี 2000 เป็นต้นมา มีงานวิจัยออกมาอย่างสม่ำเสมออาทิเช่น การใช้ฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองสำหรับควบคุม bioreactor[6], neutralization processes[7], multimachine power system[8], energy

management in hybrid electrical vehicles[9], vehicle path planning[10], power system stabilizer[11].

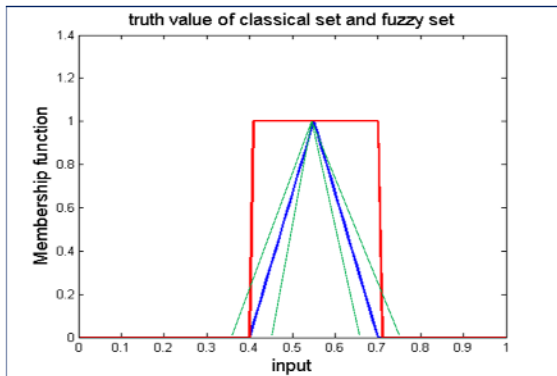
บทความฉบับนี้พัฒนาต่อเนื่องมาจาก[12] เพื่อศึกษาการควบคุมด้วยฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองโดยใช้ Membership Function(MF) แบบสามเหลี่ยมสำหรับควบคุมการเคลื่อนที่ให้เป็นเส้นทางกลมของหุ่นยนต์ขนาดเล็ก ในสภาวะที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นกับระบบออกแบบตัวควบคุมโดยใช้เทคนิควิธีการหาค่าเหมาะสมที่สุด(Optimization) และแสดงผลของการจำลองการควบคุมในคอมพิวเตอร์ ด้วยการเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของตำแหน่ง ระหว่างตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง ฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง และตัวควบคุมแบบ PID ซึ่งข้อได้เปรียบของการใช้ MF แบบสามเหลี่ยมแทนการใช้ MF แบบ Gaussian ใน[12] คือการคำนวณ MF แบบสามเหลี่ยมกระทำได้ง่าย ทำให้เหมาะสมกับการนำไปใช้งานจริงมากกว่า

### ฟัซซี่ลอจิก

ฟัซซี่ลอจิกแบ่งได้เป็นสองประเภท คือฟัซซี่ลอจิกแบบมาตรฐานหรือฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง (type-1 fuzzy logic) และฟัซซี่ลอจิกอันดับสูง(high order fuzzy logic)ซึ่งฟัซซี่ลอจิกทุกแบบล้วนมีความสามารถในการรับมือกับความไม่แน่นอนของระบบทั้งสิ้น แต่เนื่องจากข้อจำกัดของค่าความจริงในฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง ที่มีได้เพียงค่าเดียวต่อหนึ่งจุดของค่าตัวแปรที่พิจารณา ในขณะที่ฟัซซี่ลอจิกอันดับสูงมีค่าความจริงที่เป็นช่วงของคำตอบ ทำให้ฟัซซี่ลอจิกอันดับสูงมีศักยภาพกับการรับมือกับความไม่แน่นอนของระบบได้ดีกว่าฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง แต่ด้วยความซับซ้อนอย่างมากและมากขึ้นในการตีความสำหรับอันดับที่สูงขึ้น ฟัซซี่ลอจิกอันดับที่สอง(second order fuzzy logic) หรือฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง(Type-2 Fuzzy Logic)[3] ที่ซึ่งการตีความไม่ซับซ้อนเกินไปจึงเป็นที่สนใจอย่างมากในขณะนี้

## DRC-18

ค่าความจริงในลอจิกแบบดั้งเดิมจะมีค่าเป็นได้แค่ 0 หรือ 1 เท่านั้นซึ่งแตกต่างจากค่าความจริงของฟัซซีลอจิกที่มีค่าเป็นช่วงคือตั้งแต่ 0 ถึง 1 สามารถแสดงในรูปแบบของฟังก์ชันเรียกว่า Membership Function(MF) ดังแสดงในรูปที่ 1 โดยเส้นสีแดงหมายถึงลอจิกแบบดั้งเดิม เส้นสีน้ำเงินและสีเขียวหมายถึงฟัซซีลอจิกแบบที่ 1 และแบบที่ 2 ตามลำดับ ถ้า input มีค่าเท่ากับ 0.5 ค่าความจริงจากลอจิกแบบดั้งเดิม จะเท่ากับ 1 ส่วนของฟัซซีลอจิกแบบที่ 1 มีค่าเท่ากับ 0.6 ในขณะที่ฟัซซีลอจิกแบบที่สอง จะเท่ากับ 0.4 ถึง 0.8 ซึ่งจะเห็นว่าค่าความจริงของแบบที่ 2 มีลักษณะเป็นช่วงของคำตอบ



รูปที่ 1 Interval type-2 membership function(เส้นสีเขียว)

ฟัซซีลอจิกแบบที่สอง(type-2 fuzzy logic) สามารถที่จะแบ่งออกเป็นสองประเภทคือ General Type-2 Fuzzy Logic(GT2FL)และ Interval Type-2 Fuzzy Logic(IT2FL) ซึ่งเกิดจากการลดความซับซ้อนจาก GT2FL ลง โดยในบทความนี้เลือกใช้การควบคุมด้วยฟัซซี IT2FL

### การควบคุมด้วยฟัซซีลอจิก

โครงสร้างของกระบวนการควบคุมด้วยฟัซซีลอจิกดังแสดงในรูปที่ 2 ประกอบด้วย

● Fuzzification คือกระบวนการแปลงค่าตัวแปรทางกายภาพ(Physical Variable) มาเป็นตัวแปรเชิงภาษา(Linguistic Variable)

● Inference Engine คือกระบวนการตีความให้ได้ซึ่งผลลัพธ์จากกฎของฟัซซี(Fuzzy Rule Base)

● Rule Base คือกฎของฟัซซีที่ระบุถึงเงื่อนไขหรือความสัมพันธ์กันของตัวแปรเชิงภาษาระหว่าง input และ output เช่น

$i^{th}$  rule: If  $x_1$  is  $\tilde{M}_1^j$  and ... and  $x_n$  is  $\tilde{M}_n^k$ , then  $y^i$  is  $N^l$

โดย  $x$  และ  $y$  คือตัวแปรเชิงภาษาที่มี  $\tilde{M}_n^{j,k}, N^l$  เป็น MF ในส่วนของ if หรือเงื่อนไขเรียกว่า Antecedence และ ส่วนของ then หรือผลลัพธ์ของกฎเรียกว่า Consequence

● Defuzzification คือกระบวนการแปลงผลลัพธ์เชิงภาษาที่ได้จากการตีความ(inference) มาเป็นผลลัพธ์ทางกายภาพ

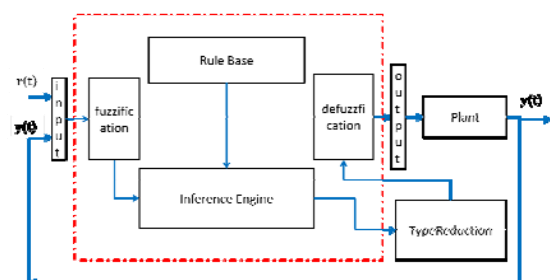
● Type-Reduction คือกระบวนการลดค่าอันดับฟัซซีของผลลัพธ์ที่ได้จากการกระบวนการตีความ กระบวนการนี้มีความจำเป็นก็ต่อเมื่อผลลัพธ์ที่ได้จากการกระบวนการตีความเป็น ฟัซซีแบบที่ 2 มี 2 ชนิดที่เป็นที่นิยมคือ KM-Algorithm(Kanik-Mendel algorithm) และ WM-UBs(Wang Mendel Uncertainty Bound)[5] บทความนี้เลือกใช้ simplify WM-UBsตามสมการ(1)

$$Y_l(x) = \frac{\sum_{i=1}^m \underline{A}^i(x)y_i}{q \sum_{i=1}^m \underline{A}^i(x) + (1-q) \sum_{i=1}^m \overline{A}^i(x)}$$

$$Y_u(x) = \frac{\sum_{i=1}^m \overline{A}^i(x)y_i}{q \sum_{i=1}^m \underline{A}^i(x) + (1-q) \sum_{i=1}^m \overline{A}^i(x)}$$

$$Y_{TR}(x) = qY_l(x) + (1-q)Y_u(x) \quad (1)$$

โดยที่  $Y_{TR}(x)$  เป็นค่าทางกายภาพ  $q$  คือค่าคงที่มีค่าตั้งแต่ 0 ถึง 1  $\underline{A}^i$  และ  $\overline{A}^i$  คือผลลัพธ์จากช่วง Antecedence ในแต่ละกฎทั้งหมดจำนวน  $m$  กฎ

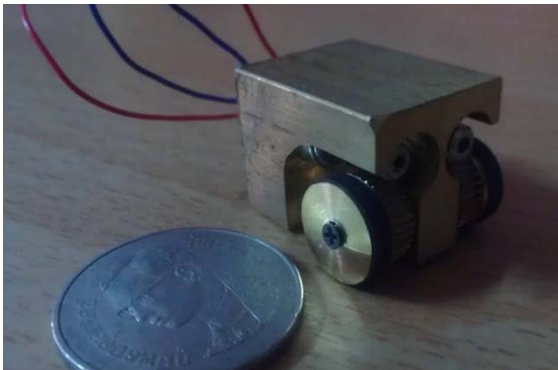


## DRC-18

รูปที่ 2. แผนภาพกระบวนการควบคุมของฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง

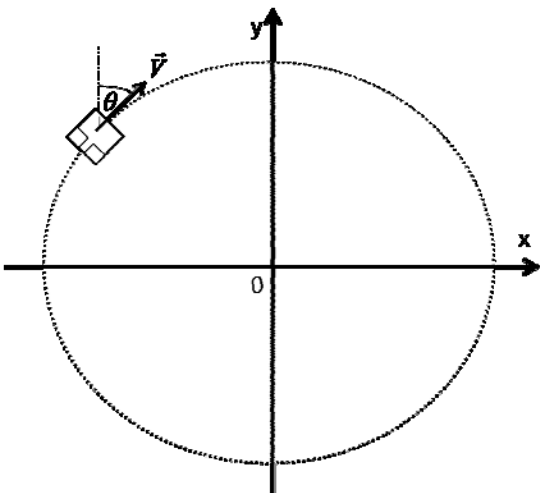
### หุ่นยนต์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์

แบบจำลองที่ใช้ในการจำลองนั้นเป็นหุ่นยนต์รถขนาดเล็กขับเคลื่อนด้วยมอเตอร์ขนาด 6 มิลลิเมตร จำนวน 2 มอเตอร์ 2 ล้อ น้ำหนักประมาณ 14 กรัม ขนาด 15x20x15 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 3



รูปที่ 3 รูปจริงของหุ่นยนต์ที่ใช้ในการจำลอง

หุ่นยนต์ดังกล่าวเป็นหุ่นยนต์ที่คณะผู้วิจัย จัดสร้างขึ้นสำหรับการแข่งซูโม่ที่มีเวทีเป็นวงกลม ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 20cm ซึ่งบทความฉบับนี้ได้กำหนดให้หุ่นวิ่งเป็นวงกลมรัศมีคงที่ โดยไม่ตกขอบเวที ดังแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 รูปจำลองแสดงการเคลื่อนที่ของปัญหา

แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์สามารถเขียนได้ต่อไปนี้

$$\dot{\theta} = (Vl - Vr) * d \quad (2)$$

$$\dot{x} = (Vl + Vr) * \sin\theta \quad (3)$$

$$\dot{y} = (Vl + Vr) * \cos\theta \quad (4)$$

โดยที่  $x(m)$  และ  $y(m)$  คือพิกัดตำแหน่งของหุ่นยนต์  $Vl(m/s), Vr(m/s)$  คือความเร็วของล้อซ้ายและขวาตามลำดับ  $d(m)$  คือระยะห่างระหว่างล้อ และ  $\theta(rad)$  คือมุมที่หัวหุ่นยนต์กระทำกับแกน  $y$  จากสมการ(2),(3) และ(4) เขียนเป็นสมการ state space ได้ดังต่อไปนี้

$$\begin{cases} \dot{x}_1 \\ \dot{x}_2 \\ \dot{x}_3 \end{cases} = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{cases} x_1 \\ x_2 \\ x_3 \end{cases} + \begin{bmatrix} d & -d \\ \sin\theta & \sin\theta \\ \cos\theta & \cos\theta \end{bmatrix} \begin{cases} u_1 \\ u_2 \end{cases}$$

โดยที่  $[x_1 \ x_2 \ x_3]^T = [\theta \ x \ y]^T$  และ  $[u_1 \ u_2]^T = [Vl \ Vr]^T$

### การออกแบบตัวควบคุม

บทความฉบับนี้ใช้ตัวควบคุมฟัซซี่แบบ Takagi-Sugeno-Kang[2] ฟัซซี่ที่มีโครงสร้างกฎการควบคุม(Rules) 5 ข้อแต่ละข้อประกอบไปด้วย 3 input คือ ค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง(er), อัตราค่าความผิดพลาดของตำแหน่งเทียบกับเวลา( $\dot{er}$ ), ผลรวมของค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง( $eri$ ) และ 1 output คือ ค่าคำสั่งมอเตอร์(dcnd)ใช้ตัวแปลงฟัซซี่แบบ Singleton Fuzzifier และคำนวณค่าความจริงรวม(Firing Strength) ด้วย dot-product t-norm ซึ่งเขียนเป็นโครงสร้างทางคณิตศาสตร์ได้ดังต่อไปนี้

ControlRule  $i$

: If  $er$  is  $A(i)$  and  $\dot{er}$  is  $B(i)$  and  $eri$  is  $C(i)$ ,  
then  $dcnd = p(i, 1) * er + p(i, 2) * \dot{er} + p(i, 3) * eri + p(i, 4)$

โดยที่

$$er = radius0 - \sqrt{x^2 + y^2}$$

$$radius0 = \text{ค่าคงที่ของรัศมีการเคลื่อนที่}$$

$$\dot{er} = \frac{er(i) - er(i-1)}{dt}, \quad eri = \int er dt$$

และ  $p(i, \dots)$  คือค่าคงที่การคูณเขียนรวมทั้ง 5 Rules เป็นเมทริกซ์ ได้ดังนี้

## DRC-18

$$p = \begin{bmatrix} 0 & 0 & 0 & -200 \\ kp & kd & ki & 0 \\ 0 & 0 & 0 & \varphi \\ kp & kd & ki & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 200 \end{bmatrix} \quad (5)$$

$\varphi$  คือค่าคงที่แปรผันตามรัศมีการเคลื่อนที่แบบวงกลมของหุ่นยนต์

ความสัมพันธ์ระหว่างค่าคำสั่งกับเร็วของหุ่นเขียนเป็นสมการได้ดังนี้

$$cmdl = cmd0 + dcmd \quad (6)$$

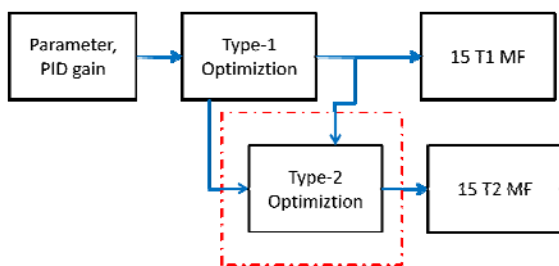
$$cmdr = cmd0 - dcmd \quad (7)$$

ซึ่ง

$$Vl = (cmdl - 100) * \frac{0.6}{155} \quad (8)$$

$$Vr = (cmdr - 100) * \frac{0.6}{155} \quad (9)$$

การออกแบบตัวควบคุม เนื่องจากงานวิจัยนี้ต้องการศึกษาประสิทธิภาพในการควบคุมของฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง โดยการเปรียบเทียบกับตัวควบคุม PID และฟัซซี่ลอจิกแบบดั้งเดิมหรือแบบที่หนึ่ง ฉะนั้นแล้วขั้นแรกเราจะทำการออกแบบตัวควบคุมแบบ PID ก่อน ต่อจากนั้นจะนำค่าขยาย (gain) ที่ได้มาออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่งด้วยวิธีหาค่าเหมาะสมที่สุด (Optimization) และนำเอา MFs ที่ได้มาออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองด้วยวิธีหาค่าต่ำสุดอีกครั้ง ดังแสดงในรูปที่ 5



รูปที่ 5. แผนผังการออกแบบ membership functions

ในขั้นแรกเราได้ทำการปรับค่า gain  $kp, kd, ki$  กับกฎการควบคุม PID ดังแสดงในสมการ(10)

$$dcmd_{pid} = kp * er + kd * \dot{er} + ki * \int er \quad (10)$$

ด้วยการสุ่มจุดเริ่มต้นของหุ่นยนต์ในรัศมี 20 เซนติเมตร โดยต้องการให้หุ่นยนต์เคลื่อนที่เป็น

วงกลมรัศมี 20 เซนติเมตร เป็นจำนวน 500 จุด โดยพิจารณาค่าพุ่งเกิน (overshoot) เป็นหลัก จากการปรับค่า gain เลือกใช้  $kp = 20000, kd = 200$  และ  $ki = 10$  ซึ่งให้ค่าพุ่งเกินสูงสุด 10.7682%

ขั้นต่อมาเป็นการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่ ซึ่งในกระบวนการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่นั้น การออกแบบ MF เป็นส่วนหนึ่งที่มีความสำคัญอย่างยิ่ง การที่จะออกแบบ MF ให้ได้ดีนั้นผู้ออกแบบควรที่จะต้องทราบถึงขอบเขตของ input (boundary of crisp input) ดังนั้นเราจึงได้ทำการจำลองพฤติกรรมของระบบโดยเผื่อค่าความไม่แน่นอนเข้าไปด้วยในรูปแบบของ white noise เฉพาะเทอมของ  $\theta$  ดังแสดงในสมการ(11) เพื่อที่จะได้ทราบถึงขอบเขตของ input ก่อนการออกแบบตัวควบคุม

$$\theta = \theta + \delta\theta ; \delta\theta = [-0.01 \ 0.01] \quad (11)$$

บทความฉบับนี้เราเลือกใช้ MF แบบสามเหลี่ยมในการแปลงค่าตัวแปรทางกายภาพเป็นค่าตัวแปรเชิงภาษา ทั้งหมด 5 ฟังก์ชันต่อหนึ่ง input แบ่งเป็นฟังก์ชันลบมาก (NL), ลบ (N), ศูนย์ (Z), บวก (P) และบวกมาก (PL) โครงสร้างนี้ใช้เหมือนกันทั้งฟัซซี่ลอจิกแบบที่ 1 และแบบที่ 2

สำหรับการออกแบบตัวควบคุมฟัซซี่แบบที่หนึ่ง Optimization เทคนิคที่ใช้ เราใช้วิธี minimize cost function โดยที่ cost function ( $J(x)$ ) คือ รากที่สองของค่าเฉลี่ยยกกำลังสองของค่าความผิดพลาดของระยะตำแหน่งหุ่นจากจุดศูนย์กลางของวงกลม (Root Mean Square Error of Position RMSEP)

$$J(x) = \sqrt{\frac{\sum_1^N er(x,y)^2}{N}} \quad (12)$$

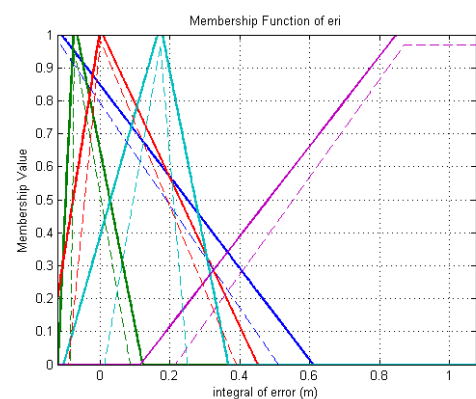
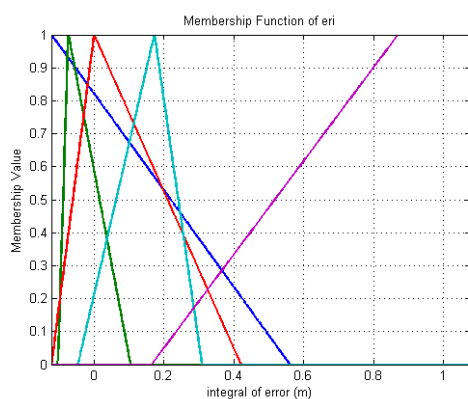
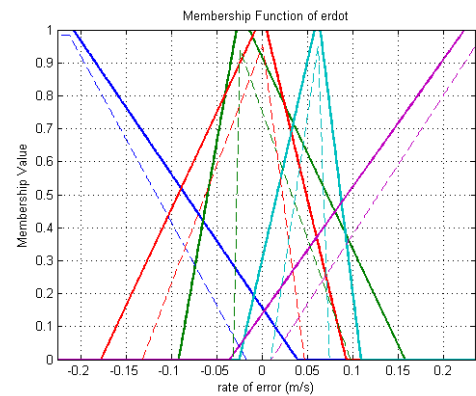
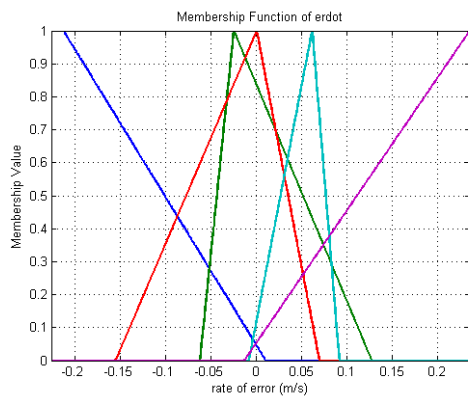
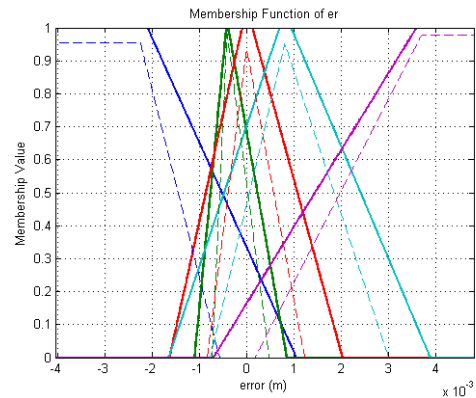
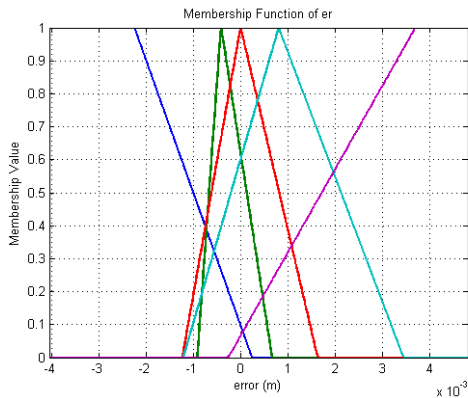
โดยมีตัวแปรในการปรับค่าทั้งหมด 36 ตัว แบ่งเป็น input ละ 12 ตัว แบ่งย่อยได้คือ จุดยอดและจุดฐานของฟังก์ชัน NL, PL 4 ตัว จุดฐานของฟังก์ชัน Z 2 ตัว จุดยอดและจุดฐานของฟังก์ชัน N, P 6 ตัว

ขั้นตอนสุดท้ายคือในส่วนของตัวควบคุมฟัซซี่ลอจิกแบบที่สองซึ่งขั้นตอนการออกแบบเหมือนกับ

## DRC-18

แบบที่หนึ่ง ต่างกันเพียงแค่กระบวนการ defuzzifier และ MFs ซึ่งแบบที่สองนั้นจะเป็นช่วง (foot print of uncertainty; FOU, Interval functions) โดยมีฟังก์ชันบน(upper MFs) และ ฟังก์ชันล่าง(lower MFs) เป็นตัวแทนของ FOU การออกแบบนั้นเรายังคงใช้ เทคนิค optimization

ที่คล้ายเดิมโดยมีตัวแปรในการปรับค่าทั้งหมด 31 ตัวแปรแบ่งเป็นระยะห่างจุดยอด 15 ตัว ระยะห่างจากจุดฐาน 15 ตัว และตัวแปรสำหรับการทำ defuzzifier 1 ตัว ผลลัพธ์(membership functions) จากการออกแบบแสดงในรูปที่6



รูปที่6” membership function ซ้ายมือคือ แบบที่หนึ่ง ขวามือคือ แบบที่สอง  
สีน้ำเงินคือฟังก์ชัน NL สีเขียวคือ N สีแดงคือ Z สีฟ้าคือ P สีม่วงคือ PL

### ผลลัพธ์

บทความฉบับนี้ทำการจำลองการเคลื่อนที่ของหุ่นยนต์ สองล้อขนาดเล็กให้เคลื่อนที่เป็นวงกลม โดยมี

## DRC-18

สมมติฐานการจำลองคือ หุ่นยนต์สามารถที่จะรู้ตำแหน่งของตัวเองได้ ไม่เกิดความไม่แน่นอนอื่นขึ้นกับระบบนอกจากความไม่แน่นอนที่ตั้งใจให้เกิดขึ้น และเป็นการจำลองแบบ 2 มิติเท่านั้น

ในการจำลองเราสมมติว่ามีความไม่แน่นอนเกิดขึ้นกับระบบ 2 ชนิดคือความไม่แน่นอนของเซ็นเซอร์วัดมุม( $\theta$ )และความไม่แน่นอนที่ส่งผลต่อความเร็วของล้อ( $Vl, Vr$ )ไม่ว่าจะเป็นค่าสัมประสิทธิ์แรงเสียดทานของล้อกับพื้น รวมถึงความไม่แน่นอนของระบบขับเคลื่อนที่เกิดจากการผลิตหรือการสึกหรอก็ตาม พิจารณารวมเป็นสมการดังต่อไปนี้

$$\tilde{V}l = Vl * (1 - Nfl) \quad (13)$$

$$\tilde{V}r = Vr * (1 - Nfr) \quad (14)$$

ขณะที่

$$Nfl = random[0 Nf] \quad (15)$$

$$Nfr = random[0 Nf] \quad (16)$$

และ

$$\tilde{\theta} = \theta + NS ; NS = random[-NS NS] \quad (17)$$

โดยที่  $Nfl, Nfr$  คือค่าสัมประสิทธิ์ของประสิทธิภาพของความเร็วของหุ่นยนต์ที่เกิดจากล้อซ้ายและขวาตามลำดับ  $Ns$  คือค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นกับเซ็นเซอร์

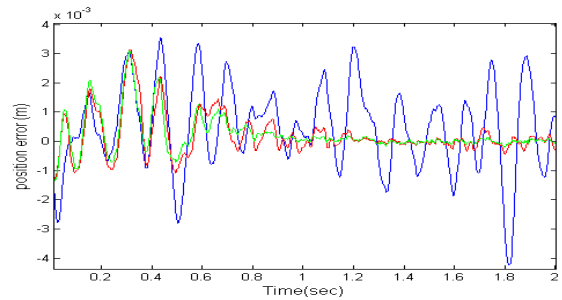
จำลองพฤติกรรมของระบบด้วยการสุ่มค่าความไม่แน่นอนข้างต้นทุกๆ มิลลิวินาที เป็นเวลาตลอดการเคลื่อนที่ทั้งหมด 4 วินาที จำนวน 10 รอบต่อ 1 กรณี พร้อมกับเก็บผลการจำลองจากทั้งตัวควบคุม PID พืชชี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง และแบบที่สอง เพื่อนำผลที่ได้มาเฉลี่ยและเปรียบเทียบดังแสดงในตารางที่ 1.

ตารางที่ 1. "ตารางแสดงค่าเฉลี่ยความผิดพลาดของตำแหน่งหุ่นยนต์"

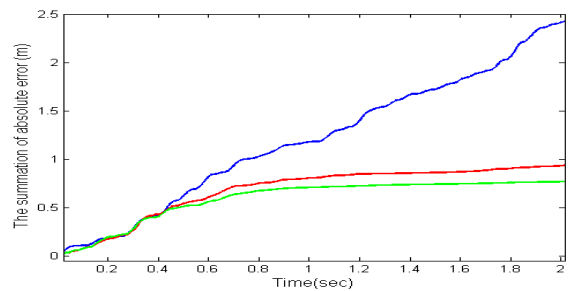
	Max noise power		PID (1e-3) เมตร	Type-1 (1e-3) เมตร	Type-2 (1e-3) เมตร
	Friction(Nf)	Sensor(NS) (rad)			
Mean of RMSPE	Nf = 0.25	0	0.5299	0.3892	0.3303
		0.001	0.5969	0.4197	0.3422
		0.002	0.8756	0.4097	0.3658
		0.01	3.0452	0.7070	0.4969
		0.02	79.413	25.803	24.006
	Nf = 0.45	0	0.6274	0.3673	0.3121
		0.001	0.7488	0.4718	0.3786
		0.002	1.0748	0.4997	0.4212
		0.01	3,3788	1.4093	0.8527

		0.02	51.453	47.079	38.974
--	--	------	--------	--------	--------

ซึ่งจากตารางที่ 1 จะเห็นได้ว่าทุกๆกรณี ผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุม Takagi-Sugeno-Kang พืชชี่ลอจิกแบบที่สองนั้น ได้ค่าความผิดพลาดของตำแหน่งน้อยกว่าแบบที่หนึ่ง กล่าวคือเมื่อระบบมีความไม่แน่นอนเกิดขึ้น ตัวควบคุมพืชชี่ลอจิกแบบที่สองจะมีศักยภาพในการรักษาความคงทนของระบบได้ดีกว่าพืชชี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง รูปที่ 7 แสดงค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง รูปที่ 8 แสดงถึงค่าผลรวมของค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง จากผลของการควบคุมแบบ PID(สีน้ำเงิน) พืชชี่ลอจิกแบบที่หนึ่ง(สีแดง) และพืชชี่ลอจิกแบบที่สอง(สีเขียว) ที่  $Nf = 0.25$   $NS = 0.005$

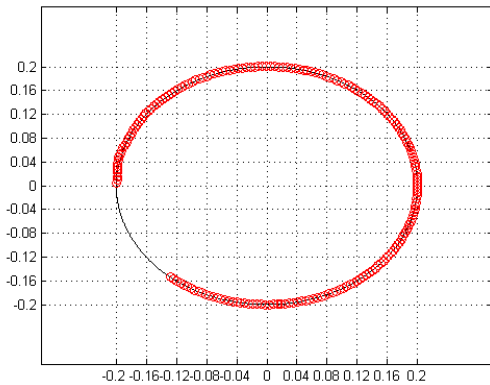


รูปที่ 7 แสดงค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง



รูปที่ 8 แสดงผลรวมของค่าความผิดพลาดของตำแหน่ง

## DRC-18



รูปที่ 9 แสดงถึงเส้นทางเคลื่อนที่ในสถานการณ์หนึ่งของหุ่นยนต์ จากการจำลองในคอมพิวเตอร์

### สรุป

บทความฉบับนี้เป็นการจำลองเพื่อศึกษาศักยภาพในการควบคุมของฟัซซี่ลอจิกแบบที่สอง กับระบบที่มีความอ่อนไหวต่อความไม่แน่นอนสูง โดยเลือกควบคุมหุ่นยนต์ขนาดจิ๋วในสถานการณ์ที่ต้องควบคุมเส้นทางการเคลื่อนที่แบบเส้นวงกลมของตัวเอง จากผลการจำลองพบว่าตัวควบคุมประเภทฟัซซี่ลอจิกที่ถูกออกแบบด้วยวิธี Optimization นั้น แบบที่สองมีศักยภาพในการรับมือกับระบบที่เกิดความไม่แน่นอนขึ้นได้ดีกว่าฟัซซี่ลอจิกแบบที่หนึ่งและตัวควบคุมแบบ PID

### อ้างอิง

- [1] L.A Zadeh, "Fuzzy sets," *Inform.and Control* 8,338-353, 1965.
- [2] T.Takagi, M.Sugeno, "Fuzzy Identification of Systems and Its Applications to Modeling and Control", IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics - TSMC , 1985.
- [3] N.N.Karnik, J.M.Mendel and Q.Liang, "Type-2 fuzzy logic systems," IEEE Trans. Fuzzy Syst. 7, Pages 643-658, 1999.
- [4] D.Wu, "On the Fundamental Differences Between IntervalType-2 and Type-1 Fuzzy Logic Controllers" IEEE transactionsonfuzzysystems, vol.20, No. 5, pages 832-848October 2012.

[5] H.Wu, J.M.Mendel, "Uncertainty Bounds and Their Use in the Design ofInterval Type-2 Fuzzy Logic Systems", IEEE transactionsonfuzzy systems, vol.10, No. 5, Pages 622-639 October 2002.

[6] M.Galluzzo, B.Cosenza, "Adaptive type-2 fuzzy logic control of bioreactor", Chemical Engineering Science 65(2010) Pages 4208-4221.

[7] T.Kumbasar, I.Eksin, M.Guzelkaya, E.Yesil, "Type-2 fuzzy model based controller design for neutralization processes", ISA Transactions 51(2012) Pages 277-287.

[8] A.Abbadi, L.Nezil, D.Boukhetala, "A nonlinear voltage controller based on interval type-2 fuzzy logic control system for multimachine power systems" International Journal of Electrical Power & Energy Systems 45(2013) Pages 456-467.

[9] J.Solano Martinez, J.Mulot, F.Harel, D.Hissel, Marie-Cecile Pera, Robert I.John, M.Amiet, "Experimental validation of a type-2 fuzzy logic controller for energy management in hybrid electrical vehicles", Engineering Applications of Artificial Intelligence 26(2013) Pages 1772-1779.

[10] C-J.Huang, Y-W.Wang, H-M.Chen, H-W.Tsai, J-J.Jian, A-L.Cheng, J-J.Liao, "Application of cellular automata and type-2 fuzzy logic to dynamic vehicle path planning" Applied Soft Computing 19(2014) Pages 333-342.

[11] Z.Sun, N.Wang, D.Srinivasan, Y.Bi, "Optimal tuning of type-2 fuzzy logic power system stabilizer based on differential evolution algorithm", Electrical Power and Energy Systems 62(2014) Pages 19-28.

[12]I.Jarulukkana, S.Kuntanapreeda, I.Kawazu, S.Murakami, T.Ito "Interval Type-2 Takagi-Sugeno Fuzzy Logic Control for Micro Robot



## DRC-18

System.” The Japan society for precision  
engineering spring conference 2014

**DRC-18**

การประชุมวิชาการเครือข่ายวิศวกรรมเครื่องกลแห่งประเทศไทย ครั้งที่ 28  
15-17 ตุลาคม 2557 จังหวัดขอนแก่น

