

การพัฒนาระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตแนวตรง

The Development of Longitudinal Control of a Mono Wheel Balancing

ณัฐพรุทธิ์ โชติวิบูลย์ลักษณ์¹ และ สรรพพงศ์ ทานอก¹

¹ ภาควิชาวิศวกรรมเครื่องกล คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

1518 ถนนประชาชื่น 1 แขวงวงศ์สว่าง เขตบางซื่อ กรุงเทพฯ 10800 โทรศัพท์ : 0-2555-2000 ต่อ 3266

E-mail: nutapruith@hotmail.com, somphongt@kmutnb.ac.th

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์นี้ เพื่อออกแบบและพัฒนาระบบรักษาสถิตด้วยระบบขับเคลื่อนล้อเดียว โดยในการพัฒนาจะแบ่งเป็น 2 ส่วน คือส่วนแรกเป็นส่วนการคำนวณทางคณิตศาสตร์เรื่องแรงและโมเมนต์ รวมไปถึงออกแบบโครงสร้างระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิต และส่วนที่ 2 เป็นส่วนของ การออกแบบตัวควบคุมแบบพีไอดีเพื่อเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบตรรกศาสตร์คลุมเครือ และเขียนลงสู่ไมโครคอนโทรลเลอร์ (Micro Controller) เพื่อใช้ควบคุมระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตที่ได้คำนวณและออกแบบไว้ในส่วนแรก

ผลจากการพัฒนาและสร้างการรักษาสถิตด้วยระบบขับเคลื่อนล้อเดียวปรากฏว่า สามารถควบคุมการรักษาสถิตในมุมด้านหน้าและด้านหลังได้ในขอบเขตที่ระบุด้วยการใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ และการออกแบบที่นำไปใช้งานตรงต่อสูตรการคำนวณไว้เบื้องต้น ทำให้สามารถรักษาสถิตได้ตามขอบเขตระบุ

Abstract

The purpose of this thesis. Design and development to maintain a balance with a single wheel. The development will be divided into two parts: the first part is the mathematical calculations about force and moment to design wheel well balanced, and the second part of the controller design and PID to compare. with a fuzzy logic controller and written to the microcontroller (Micro Controller) to control the balance wheel of the calculation and design in the first part. The experimental result, the fuzzy control has system response better than PID control and ON/OFF control valve suitable for position control than path planning control.

Result of the development and to maintain the balance with one wheel appeared. Can control the balance of the front and rear in the region identified by the use of microcontroller design and applied directly to the initial formula. Able to maintain a balance to the extent specified.

1. คำนำ

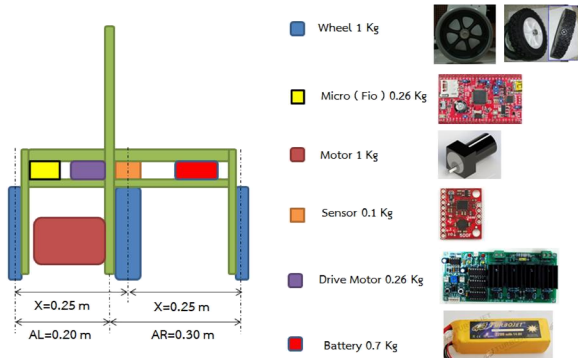
ปัจจุบันเทคโนโลยีทางด้านฮาร์ดแวร์และเทคโนโลยีทางด้านซอฟต์แวร์ที่ใช้พัฒนาระบบควบคุม (Control System) ได้ถูกพัฒนาในหลากหลายประเทศ เช่น บริษัท แอดลิงค์(Adlink) จำกัด ประเทศสิงคโปร์ ได้พัฒนาการดเพื่อใช้เชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์ ,บริษัท เอ็มเมจิน (Aimagin) จำกัด ได้พัฒนาให้บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ (Microcontroller) ให้สามารถเขียนโปรแกรมMATLABTM เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์ฮาร์ดแวร์ต่างๆ,บริษัท เนชั่นแนลอินสตรูเมนต์ (National Instrument) จำกัด ได้พัฒนาโปรแกรมLabVIEW เพื่อเชื่อมต่ออุปกรณ์จากการต่างๆหลากหลายประเภท เป็นต้น ซึ่งทำให้เกิดการพัฒนาระบบควบคุมจำนวนมาก เช่น การใช้โปรแกรมLabVIEWในการควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์,การใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ซึ่งถูกพัฒนาโดย บริษัท เอ็มเมจิน จำกัด เพื่อให้เขียนได้บนโปรแกรมMATLABในการควบคุมอุณหภูมิ,การใช้โปรแกรมVisual C# ในการติดต่อการด์ของบริษัท แอดลิงค์ จำกัด เพื่อควบคุมระดับน้ำ เป็นต้น โดยปัจจุบัน การควบคุมการรักษาสถิตประเภทต่างๆกำลังได้รับความนิยมมากในปัจจุบัน

จากที่กล่าวมาข้างต้น ผู้จัดทำโครงการได้เห็นว่าระบบรักษาสถิตซึ่งสามารถนำไปใช้ได้ในชีวิตประจำวันจริงแต่การผลิตจะต้องใช้ต้นทุนที่สูงมาก จึงได้มีแนวคิดที่จะพัฒนาเทคโนโลยีการใช้อุปกรณ์ทางด้านฮาร์ดแวร์และซอฟต์แวร์ที่มีต้นทุนต่ำ เพื่อนำมาสร้างระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตแนวตรงที่มีต้นทุนต่ำ ซึ่งต่อไปสามารถพัฒนาต่อในการนำมาใช้ในชีวิตประจำวันได้ เช่น การควบคุมการรักษาสถิตของรถจักรยานสองล้อ(Segway),การควบคุมการรักษาสถิตของจักรยานไฟฟ้าล้อเดียว(Unicycle Balancing) เป็นต้น

2 การออกแบบโครงสร้าง

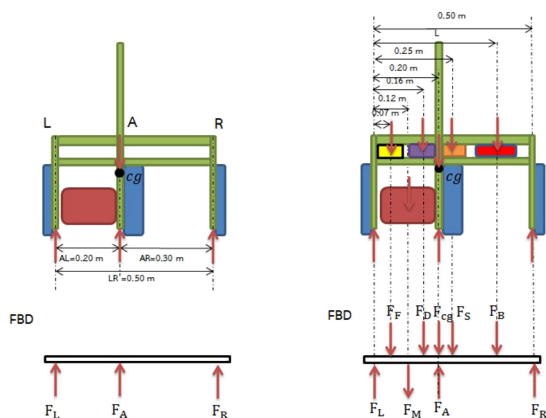
ก่อนการออกแบบจะต้องพิจารณาถึงการวางอุปกรณ์เพราะน้ำหนักของอุปกรณ์จะส่งผลถึงความสมดุลของด้านที่ไม่รักษาสถิตของต้นแบบระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิต ดังนั้นการวางอุปกรณ์แต่ละชนิดจะใช้วิธีการวางให้ได้สมดุลตามแนวแกนที่ไม่ได้รักษาสถิต คือ ด้านซ้ายและด้านขวาจะมีน้ำหนักเท่ากัน เพื่อรักษาสถิตตามแกนที่ไม่ได้รักษาสถิตและจะทำให้ไม่เกิดการหมุนอันเนื่องมาจากแรงของน้ำหนักที่กระทำต่อพื้นโลก เพราะน้ำหนักจะทำให้เกิดแรงเสียดทานกระทำต่อล้อไม่

เท่ากัน ดังนั้น เมื่อต้องการให้ล้อทางด้านซ้ายและล้อทางด้านขวามีระยะที่เท่ากัน จะทำให้เกิดการเอียงศูนย์อันเนื่องมาจากการเอียงของน้ำหนักมอเตอร์ จึงต้องพิจารณาตำแหน่งของวัสดุอุปกรณ์ทางด้านขวาเป็นหลัก โดยใช้แบตเตอรี่เป็นแรงของที่กระทำต่อน้ำหนักทางด้านขวา ดังภาพที่ 1 ภาพตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่างๆและน้ำหนักของอุปกรณ์



ภาพที่ 1 ตำแหน่งการวางอุปกรณ์ต่างๆและน้ำหนักของอุปกรณ์

เมื่อพิจารณาถึงผลกระทบจากน้ำหนักอันเนื่องมาจากการวางตำแหน่งของอุปกรณ์ แต่การพิจารณาจะพิจารณาระยะแบตเตอรี่ โดยเมื่อประกอบอุปกรณ์ทางด้านฝั่งมอเตอร์เสร็จแล้วจะต้องทำการวัดน้ำหนักของล้อทางด้านฝั่งมอเตอร์ เพื่อที่จะหาตำแหน่งการวางของแบตเตอรี่ เพื่อให้ น้ำหนักของล้อทั้งสองข้างเท่ากัน ภาพของไดอะแกรมแรงอิสระ (Free-Body Diagram : FBD) แสดงดังภาพที่ 2 FBDของต้นแบบระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิต



ภาพที่ 2 FBDของต้นแบบระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิต

โดยสัญลักษณ์ของแรงต่างๆและขนาดจะแสดงดังนี้

ตารางที่ 1 สัญลักษณ์ของแรง

สัญลักษณ์ของแรง	แรงที่กระทำ
F_L	แรงที่กระทำจากจุด L
F_A	แรงที่กระทำจากจุด A
F_R	แรงที่กระทำจากจุด R
F_F	แรงจากน้ำหนักไมโครคอนโทรลเลอร์
F_D	แรงจากน้ำหนักชุดขับเคลื่อนมอเตอร์
F_S	แรงจากน้ำหนักเซนเซอร์
F_B	แรงจากน้ำหนักแบตเตอรี่
F_M	แรงจากน้ำหนักมอเตอร์
F_{cg}	แรงจากน้ำหนักโครงสร้างที่ตกที่จุดศูนย์กลาง

เมื่อพิจารณาแล้วจะต้องการให้แรงที่จุด L มีค่าเท่ากับแรงที่จุด R ($F_L = F_R$) เมื่อทราบตัวแปรครบทุกตัวแล้ว เพื่อที่ต้องการหาระยะที่วางแบตเตอรี่จึงใช้สูตรผลรวมโมเมนต์มีค่าเท่ากับศูนย์ที่จุด A ดังนี้

$$\sum M_A = 0 \quad (3-1)$$

โดยที่

M_A คือ โมเมนต์ที่จุด A มีหน่วยเป็น นิวตัน-เมตร ($N \cdot m$)

เมื่อแทนค่าลงสมการจะได้

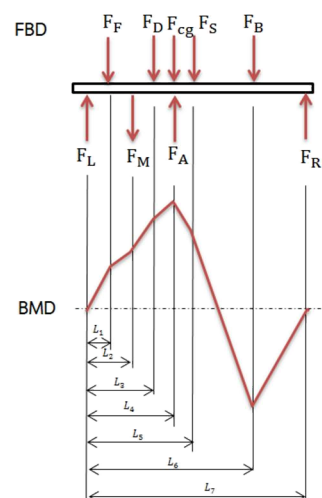
$$2.3(9.8)(0.20) + 2.94(0.25 - 0.20) + 11.76(L - 0.20)$$

$$- 2.56(0.20 - 0.07) - 9.8(0.20 - 0.16) - 2.56(0.16 - 0.12)$$

$$- 2.3(9.8)(0.50 - 0.20) = 0$$

$$L = 0.400 \text{ เมตร}$$

เมื่อทราบถึงระยะของแบตเตอรี่ที่ทำให้แรงทั้งสองฝั่งเท่ากันแล้ว สามารถนำมาคำนวณหาโมเมนต์ในแต่ละจุด เพื่อนำโมเมนต์ของจุดที่มีค่าสูงที่สุดมากำหนดขนาดของอุปกรณ์ที่ใช้ได้ แต่ในการคำนวณจะต้องทราบระยะห่างของแต่ละจุด ซึ่งกำหนดให้จุด L เป็นตำแหน่งจุดอ้างอิง ซึ่งสามารถเขียนเป็นภาพได้ดังนี้



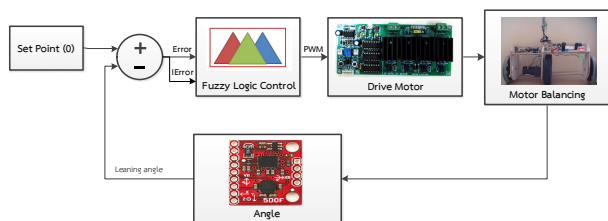
ภาพที่ 3 ระยะของแต่ละจุดซึ่งจุด L เป็นจุดอ้างอิง

PID	$X_p = \frac{500}{0.6} = 833.33$ $T_n = 0.5 \times 15 = 30$ $T_d = 0.12 \times 30 = 0.004$
-----	--

ค่าอัตราขยายเมื่อได้ทำตามตารางแล้วสังเกตเห็นว่าค่าอัตราขยายแบบPID Control มีค่าของตัวควบคุมแบบอนพจน์ที่น้อยมากจึงเลือกใช้อัตราการขยายแบบPI Control โดยนำค่าอัตราขยายไปใส่ลงบนโปรแกรมเพื่อทดสอบและนำไปเก็บผล เพื่อเปรียบเทียบกับควบคุมแบบตัวควบคุมแบบFuzzy logic controlต่อไป โดยโค้ดในการเขียนโปรแกรมลงบนไมโครคอนโทรลเลอร์

3.2 การออกแบบตัวควบคุมด้วยFuzzy logic Control

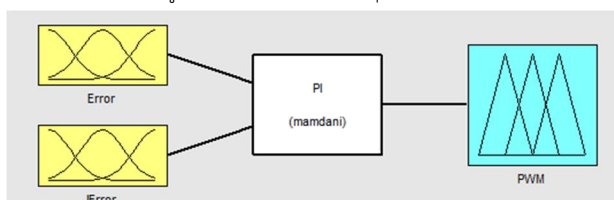
การควบคุมการรักษาสมดุลของระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตและตรงจะต้องให้ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตและตรงรักษาสถิตที่ค่ามุมที่ศูนย์องศาได้ โดยนำค่ามุมศูนย์ไปลบกับค่าที่เซนเซอร์ประมวลผลออกเป็นค่ามุม จะได้ค่าผิดพลาดจากนั้นส่งค่าผิดพลาดเข้าไปสู่ตัวควบคุม แบบFuzzy logic control และจะใช้ค่าอินพุตที่เก็ตรค่าผิดพลาดเข้ามาควบคุมด้วย เพื่อนำไปเปรียบเทียบกับตัวควบคุมแบบPI Control จากนั้นตัวควบคุมแบบFuzzy logic control จะปรับค่าจำนวนPWMที่จ่ายให้กับชุดขับเคลื่อนมอเตอร์ เพื่อควบคุมการรักษาสมดุลและจะทำงานเช่นเดิมวนไปเรื่อยๆ ดังภาพที่ 4 โครงสร้างการออกแบบตัวควบคุมแบบFuzzy logic control



ภาพที่ 7 โครงสร้างการออกแบบตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

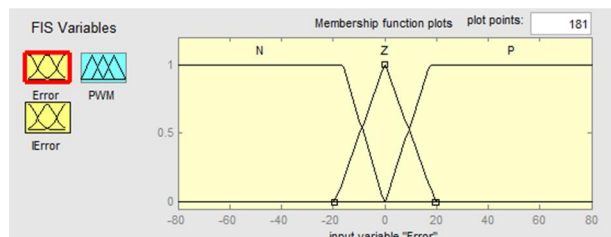
3.2.1 การจัดค่าความเป็นสมาชิก

โดยค่าสัญญาณที่รับด้านอินพุตเข้ามาคือค่าของศูนย์ลบมุมองศาที่เปลี่ยนแปลงไป ดังนั้น มุมของระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตและตรงที่รับเข้ามามีค่าระหว่าง -90 ถึง 90 แต่พิจารณาแล้วที่มุม -90 น่าจะเป็นมุมที่ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสถิตและตรงเกิดการล้มลงพอดี จึงปรับค่าอินพุตให้อยู่ระหว่าง -80 ถึง 80 และค่าของการอินพุต ที่คือการหาพื้นที่ใต้กราฟระหว่างช่วงลบและบวก ถ้าพื้นที่ใดมากกว่าก็จะเกิดการสะสมของความผิดพลาดนั้นสะสม ดังนั้นจึงปรับให้อยู่ในช่วงระหว่าง -40 ถึง 40 ดังภาพที่ 8 รูปแบบการตั้งค่าตัวควบคุมแบบFuzzy logic control



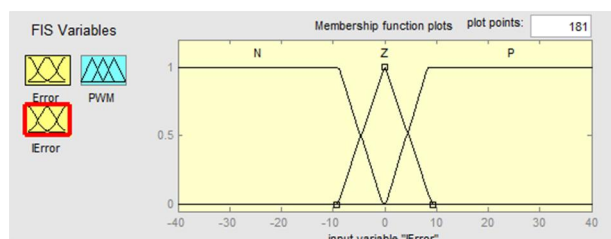
ภาพที่ 6 รูปแบบการตั้งค่าตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

ต่อไปเป็นการจัดกลุ่มของค่าสัญญาณความผิดพลาดที่รับเข้ามา โดยจะกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ Negative ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ N, Zero ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ Z, Positive ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ P โดยค่าที่กำหนดทั้งหมดสามารถแสดงบนโปรแกรมโปรแกรมMATLABTMได้ดังภาพที่ 7 การกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาของค่าความผิดพลาดบนโปรแกรมMATLABTM



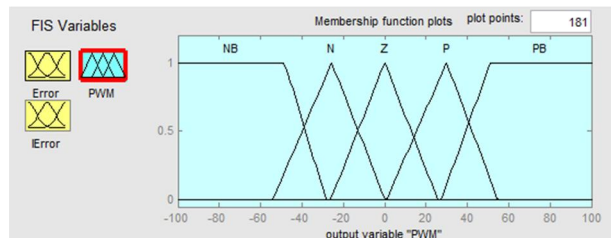
ภาพที่ 7 การกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาของค่าความผิดพลาด

ต่อไปเป็นการจัดกลุ่มของค่าอินพุตที่เก็ตรค่าความผิดพลาดที่รับเข้า โดยจะกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาทั้งหมด 3 กลุ่ม ได้แก่ Negative ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ N, Zero ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ Z, Positive ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ P โดยค่าที่กำหนดทั้งหมดสามารถแสดงบนโปรแกรมโปรแกรมMATLABTMโดยค่าที่กำหนดทั้งหมดสามารถแสดงบนโปรแกรมโปรแกรมMATLABTMได้ดังภาพที่ 8 การกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาของค่าอินพุตที่เก็ตรค่าความผิดพลาด



ภาพที่ 8 การกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาของค่าอินพุตที่เก็ตรค่าความผิดพลาด

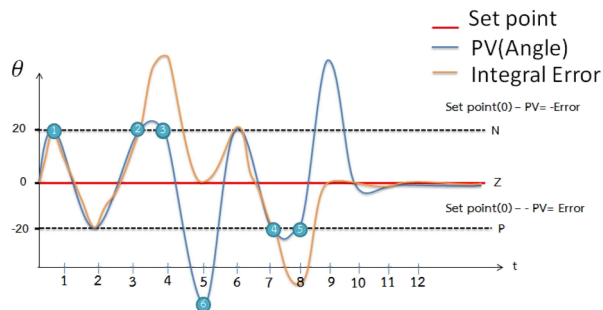
ต่อไปเป็นการจัดกลุ่มของค่าสัญญาณรูปคลื่นสัญญาณPWMโดยจะปรับตั้งแต่ 0-100 โดยจะกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาทั้งหมด 5 กลุ่ม ได้แก่ Negative Big ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ NB, Negative ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ N, Zero ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ Z, Positive ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ P, Positive Big ตัวสัญลักษณ์ย่อคือ PB ดังภาพที่ 9 สมาชิกกลุ่มสัญญาณรูปคลื่นสัญญาณPWMไปขับเคลื่อนชุดขับเคลื่อนมอเตอร์



ภาพที่ 9 การกำหนดตัวแปรในรูปแบบเชิงภาษาของคลื่นสัญญาณPWM

3.2.2 ความสัมพันธ์ระหว่างอินพุตและเอาต์พุต

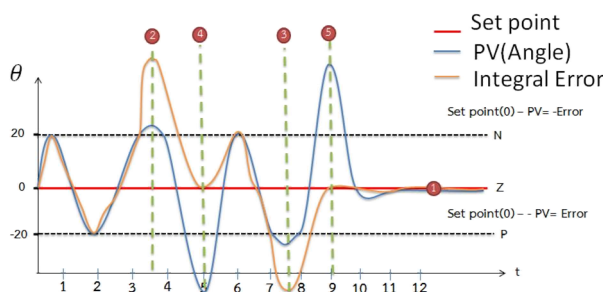
ในการตั้งกฎจะพิจารณาค่าความผิดพลาดที่กำหนดขึ้นมากับค่าเวลา และเมื่อนำค่าผิดพลาดที่กำหนดขึ้นมากำหนดอินทิเกรตจะให้ผลกราฟดังภาพที่ 10 การกำหนดค่าความผิดพลาดเพื่อนำมาวิเคราะห์พิจารณาของตัวควบคุมแบบFuzzy logic control



ภาพที่ 10 การกำหนดค่าความผิดพลาดเพื่อนำมาวิเคราะห์พิจารณาของตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

3.1.2 กฎตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

กฎของตัวควบคุมแบบFuzzy logic control จะพิจารณาจากค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาด โดยจะพิจารณาจากค่าความผิดพลาดที่เกิดขึ้นสะสมว่าเป็นระยะเวลาที่มีเวลานานทำให้ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงเกิดการโน้มไประยะมากเนื่องจากระยะเวลา ดังนั้นเมื่อทราบถึงการอินทิเกรตจากค่าความผิดพลาดแล้วสามารถนำมาเขียนเป็นภาพได้ดังภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับค่าของอินทิเกรตความผิดพลาดของมุม



ภาพที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างความผิดพลาดกับค่าของอินทิเกรตความผิดพลาดของมุม

เมื่อพิจารณา จุดที่ 1 ค่ามุมของระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงมีการเคลื่อนที่ล้มไปทางด้านหน้า แต่ค่าความผิดพลาดตกอยู่ในช่วง Negative เพราะค่าความผิดพลาดเกิดจากค่ามุมศูนย์ลบกับค่าผลที่ได้มาจากค่ามุมที่ได้จากเซนเซอร์

เมื่อพิจารณา จุดที่ 2 ค่าความผิดพลาดของค่ามุมตกอยู่ในช่วง Negative และค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดตกอยู่ในช่วง Negative เมื่อพิจารณาแล้วค่ามุมระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงล้มไปทางด้านหน้าจะต้องจ่ายสัญญาณPWMช่วงของ Positive แต่ต้องการลดค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดสะสม จึงจ่ายสัญญาณPWM ช่วงของ Positive Big

เมื่อพิจารณา จุดที่ 3 ค่าความผิดพลาดของค่ามุมตกอยู่ในช่วง Positive และค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดตกอยู่ในช่วง Positive เมื่อพิจารณาแล้วค่ามุมระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงล้มไปทางด้านหลัง จะต้องจ่ายสัญญาณPWMช่วงของ Negative แต่ต้องการลดค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดสะสม จึงจ่ายสัญญาณPWM ช่วงของ Negative Big

เมื่อพิจารณา จุดที่ 4 ค่าความผิดพลาดของค่ามุมตกอยู่ในช่วง Negative และค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดตกอยู่ในช่วง Zero เมื่อพิจารณาแล้วระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงไม่เกิดความผิดพลาดสะสมแล้ว แต่ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงยังเกิดการล้มไปทางด้านหลังอยู่ จึงต้องจ่ายสัญญาณPWM ช่วงของ Negative

เมื่อพิจารณา จุดที่ 5 ค่าความผิดพลาดของค่ามุมตกอยู่ในช่วง Positive และค่าอินทิเกรตค่าความผิดพลาดตกอยู่ในช่วง Zero เมื่อพิจารณาแล้วระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงไม่เกิดความผิดพลาดสะสมแล้ว แต่ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงยังเกิดการล้มไปทางด้านหน้าอยู่ จึงต้องจ่ายสัญญาณPWM ช่วงของ Positive

โดยจุดอื่นที่นอกเหนือจากจุดดังกล่าวจะพิจารณาตามค่าของมุมล้มของระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมดุลแนวตรงเป็นหลัก คือเมื่อมุมเกิดการล้มไปทางด้านหน้า จะจ่ายสัญญาณPWMช่วงของ Positive เมื่อมุมเกิดการล้มไปทางด้านหลัง จะจ่ายสัญญาณPWM ช่วงของ Negative และเมื่อมุมเกิดการเข้าสู่มุมที่ต้องการหรือมุมศูนย์จะจ่ายสัญญาณPWM ในช่วงของ Zero

เมื่อได้กฎครบแล้วจึงนำกฎต่างๆมาเขียนเป็นตารางได้ดังนี้

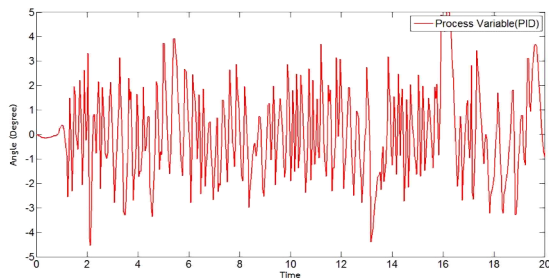
ตารางที่ 4 กฎของตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

Error \ I Error	1: $\int_0^1 -20dt = -20$ N	2: 0 Z	3: $\int_1^2 20dt = 20$ P
N 1: 0-20=-20	2: PB	5: P	P
Z 2: 0	Z	1: Z	Z
P 3: 0+20=20	N	4: N	3: NB

4 ผลการทดลอง

4.1 ตัวควบคุมด้วยPID Control

ผลการทดลองใช้ตัวควบคุมแบบPI Control ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมุม สามารถรักษาสมุมไม่ล้มไปทิศทางด้านหน้าและด้านหลังด้วยขอบเขตค่ามุมที่มีองศาน้อยกว่า ± 5 องศาในแนวดิ่ง โดยผลที่ได้จากเลือกใช้ PI Control ด้วยการปรับค่าP=1000และค่าI=13 ผลตอบสนองที่ได้แสดงดังภาพที่ 5 ผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบPID Control



ภาพที่ 5 ผลการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบPID Control

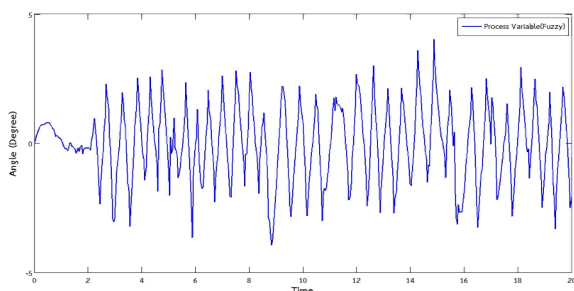
4.2 ตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control

ผลการทดลองใช้ตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control ระบบขับเคลื่อนล้อเดียว สามารถรักษาสมุมไม่ล้มไปในทิศทางด้านหน้าและด้านหลัง ด้วยขอบเขตของค่ามุมที่มีองศาน้อยกว่า ± 5 องศาในแนวดิ่ง

แต่ตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control มีค่าความผิดพลาดที่ต่ำกว่าตัวควบคุมแบบPID Control แต่การคำนวณของตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control ทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ทำงานช้าลง โดยผลที่ได้แสดงดังภาพที่ 6 ผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control โดยการตั้งกฎของ Fuzzy Logic Control ดังตารางต่อไปนี้ ตารางที่ 5 กฎของตัวควบคุมแบบFuzzy logic control

Error \ I Error	1:	2: Z	3:P
N 1:	2: PB	5: P	P
Z 2: 0	Z	1: Z	Z
P 3	N	4: N	3: NB

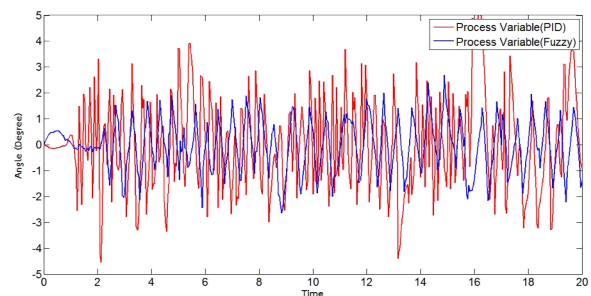
ผลตอบสนองที่ได้แสดงดังภาพที่ 6 ผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control



ภาพที่ 6 ผลจากการควบคุมด้วยตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control

4.3 การเปรียบเทียบตัวควบคุมแบบPID ControlและตัวควบคุมFuzzy Logic Control

โดยเมื่อนำผลทั้งสองมาเปรียบเทียบกันแล้วสังเกตเห็นได้ว่าการทำงานตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control มีผลการตอบสนองที่ช้ากว่าตัวควบคุมแบบPID Control เนื่องจากตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Controlต้องใช้พื้นที่หน่วยความจำในไมโครคอนโทรลเลอร์ค่อนข้างมาก และตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control ยังมีสมการทางคณิตศาสตร์ภายในจำนวนค่อนข้างมากทำให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ประมวลผลได้ค่อนข้างช้าลง เนื่องจากพื้นที่ความจำน้อยลง แต่ผลที่ได้ตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control สามารถมีค่าความผิดพลาดน้อยกว่าตัวควบคุมแบบPID Controlและค่าเวลาที่ตลอดคาบเวลาที่เปลี่ยนแปลง ผลที่ได้แสดงการเปรียบเทียบแสดงดังภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบตัวควบคุม



ภาพที่ 7 ผลการเปรียบเทียบตัวควบคุม

5. สรุปผลการทดลอง

ระบบขับเคลื่อนล้อเดียวรักษาสมุม สามารถรักษาสมุมด้านหน้าและทางด้านหลังได้ด้วยตัวควบคุมแบบPID ControlและตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control ภายใต้ขอบเขตที่กำหนดคือระยะของมุมที่รักษาสมุมต้องอยู่ในช่วง ± 5 องศาในการวัดองศาด้วยแนวดิ่ง โดยความแตกต่างระหว่าง ตัวควบคุมแบบฟัซซี่และตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control เมื่อนำผลมาเปรียบเทียบระหว่างข้อแตกต่างของตัวควบคุมจะแสดงได้ดังต่อไปนี้

ตารางที่ 6 การเปรียบเทียบข้อแตกต่างของตัวควบคุม

ข้อเปรียบเทียบตัวควบคุม	ตัวควบคุมแบบPID Control	ตัวควบคุมแบบFuzzy Logic Control
ความเร็วเฉลี่ยในการกลับมุม	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 55.6 ค่า	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 33.5 ค่า
ค่าเฉลี่ยความผิดพลาด	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.28 องศา	มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.15 องศา

เอกสารอ้างอิง

[1]...รศ.ดร.มนัส สังวรศิลป์. คู่มือการใช้โปรแกรม MATLAB ฉบับสมบูรณ์ , อินโฟเพรส จำกัด, 2543

[2] สุชาติ จันทร์จรมานิตย์, ระบบควบคุม (Control System), กรุงเทพมหานคร, 2555



นายณัฐพฤทธ์ โชติวิบูลย์ลักษณะปริญญาดรี
ครุศาสตร์อุตสาหกรรมศาสตรบัณฑิต
คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม
จากมหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ



สรพงศ์ ทานอก ปริญญาดรี และปริญญโท
จากคณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบัน
เทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
ปัจจุบันกำลังศึกษาต่อระดับปริญญาเอก
ด้านวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย (AIT)