การควบคุมความสูงของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด ด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรล

Semi - Automatic Altitude Control of Quadrotor by Fuzzy Logic Control

ชาติ ฤทธิ์หิรัญ อนุชิต เจริญ วิญญู แสวงสินกสิกิจ และ ณธรรม เกิดสำอางค์

สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต winyu.saw@kbu.ac.th

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการควบคุมความสูงของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด กึ่งอัตโนมัติ ที่บังคับด้วยรีโมทคอนโทรล โดยใช้การป้อนกลับจากเซนเซอร์ วัดระยะทางจากพื้นดินชนิดอัลตราโซนิค (SR-04) ร่วมกับเซนเซอร์ MPU 6050 (ไจโรสโคป และตัววัดความเร่ง 6 แกน) และนำค่าความสูงที่วัดได้ป้อนถึงระบบควบคุมการรักษาระดับความสูงอัตโนมัติที่ใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกที่สามารถควบคุมการรักษาระดับความสูงที่ต้องการได้ และงานวิจัยนี้ยังได้ทดสอบ และเปรียบเทียบผลการทดลองระหว่างการใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และการใช้ตัวควบคุมพีไอดี

คำสำคัญ: การควบคุมความสูง , ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก, อากาศยานมัลติโรเตอร์

Abstract

This paper presents the semi - automatic altitude control of quadrotor coupled with the manual remote transmitter. The feedback control comes from the ultrasonic sensor (SR-04) and MPU 6050 (six-Axis Gyro+Accelerometer) that measure the distance from the ground and can maintain the altitude as well by Fuzzy Logic controller. This research also tests the altitude required and compares the results of response due to controlling the altitude between Fuzzy Logic controller. and PID controller. They can maintain the altitude.

1. บทนำ

ปัจจุบันอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด ได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง มีการใช้ในการถ่ายภาพ งานสำรวจ ความบันเทิง และการพัฒนาและวิจัย สำหรับระบบควบคุมที่ใช้ในการควบคุมอากาศยาน มัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดนี้จะนิยมใช้ตัวควบคุมพีไอดี ซึ่งมีการใช้งานอย่างแพร่หลาย ตัวควบคุมพีไอดีไม่สามารถชดเชยระบบไม่เชิงเส้น สำหรับงานวิจัยนี้ได้ศึกษาการควบคุมระบบฟัซซีลอจิก [1-4] ที่ชดเชยระบบไม่เชิงเส้น

2. การออกแบบระบบควบคุมฟัซซีลอจิก

ในการออกแบบระบบควบคุมความสูง ของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดนั้น จะใช้การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว เพื่อเพิ่มหรือลดแรงยกตัวของอากาศยาน การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้จะต้องสัมพันธ์กัน เพื่อให้อากาศยานลอยตัวได้อย่างสมดุล ซึ่งมีระบบควบคุมความสมดุลและระบบควบคุมความสูงจะทำงานร่วมกันเพื่อปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวให้อากาศยานลอยตัวอย่างสมดุล และสามารถควบคุมความสูงให้อยู่ในระดับที่ต้องการได้ ความเร็วรอบที่ต้องการของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้จะแสดงได้ดังนี้

$$ESC1_RF = throttle + U_throttle - U_pitch + U_roll - U_yaw \quad (1)$$

$$ESC2_RR = throttle + U_throttle + U_pitch + U_roll + U_yaw \quad (2)$$

$$ESC3_LR = throttle + U_throttle + U_pitch - U_roll - U_yaw \quad (3)$$

$$ESC4_LF = throttle + U_throttle - U_pitch - U_roll + U_yaw \quad (4)$$

โดยที่

Throttle คือ ค่าคันเร่งจากคันบังคับแบบมือ โดยนักบินภายนอก

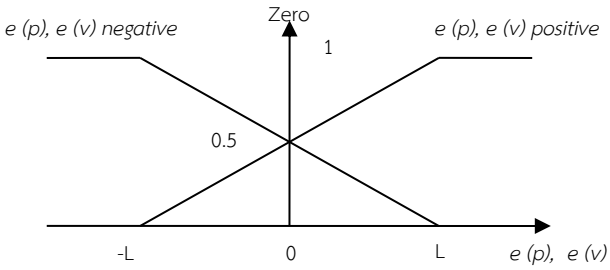
U_throttle คือ ค่าการควบคุมจากระบบฟัซซีลอจิกในการควบคุมความสูง

U_roll คือ ค่าการควบคุมจากระบบควบคุมความสมดุลของมุมเอียง

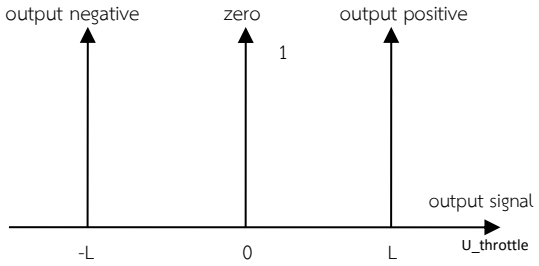
U_pitch คือ ค่าการควบคุมจากระบบควบคุมความสมดุลของมุมระดับ

U_yaw คือ ค่าการควบคุมจากระบบควบคุมความสมดุลของมุมทิศทาง

ในระบบควบคุมความสูงของอากาศยาน ค่าการควบคุมความสูงจะได้รับจากระบบควบคุมฟัซซีลอจิก ที่มีการกำหนดฟังก์ชันสมาชิกด้านอินพุต 2 ค่า คือค่าความผิดพลาดของความสูง $e(p)$ และค่าอัตราความผิดพลาดของความสูง $e(v)$ และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกทางด้านอินพุตและเอาต์พุต แสดงดังรูปที่1 และ รูปที่2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต



รูปที่ 2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาต์พุต

กฎพื้นฐานของการควบคุมฟัซซีลอจิก จะอาศัยหลักการบังคับการควบคุมของนักบินที่เชี่ยวชาญในการควบคุมความสูงมาออกแบบกฎการควบคุมในเหตุการณ์ที่จะเกิดขึ้นทั้งหมด ของการควบคุมความสูงได้กฎ 9 ข้อ ดังแสดงให้เห็นดังตารางที่ 1

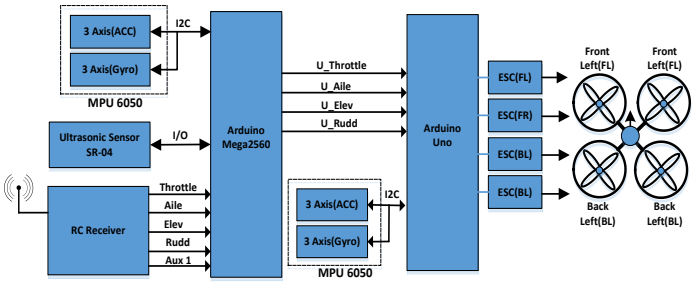
ตารางที่ 1 กฎพื้นฐานของการควบคุมฟัซซีลอจิกของฟังก์ชันสมาชิกทางด้านอินพุต และฟังก์ชันสมาชิกด้านเอาต์พุต

Rule No.	*e(p)*	*e(v)*	Output
R1	P	P	L
R2	N	P	-L
R3	Z	P	0
R4	P	N	L
R5	N	N	-L
R6	Z	N	0
R7	P	Z	L
R8	N	Z	-L
R9	Z	Z	0

การออกแบบตัวควบคุมฟัซซีสามารถแบ่งออกเป็น 3 ขั้นตอน คือ ขั้นตอนการทำฟัซซีฟิเคชัน กฎพื้นฐาน และการดีฟัซซีฟิเคชัน ในการทำการดีฟัซซีฟิเคชัน ค่าที่ใช้โดยทั่วไปใช้หลักจุดกึ่งกลางมวล (Center of mass) เพื่อมาทำการดีฟัซซีฟิเคชัน ดังแสดงในสมการที่ (5) ดังนี้

$$\Delta u(nT) = \frac{\sum\{membershipvalueof\ input \times correspondng\ output\}}{\sum\{\text{membership value of input}\}} \quad (5)$$

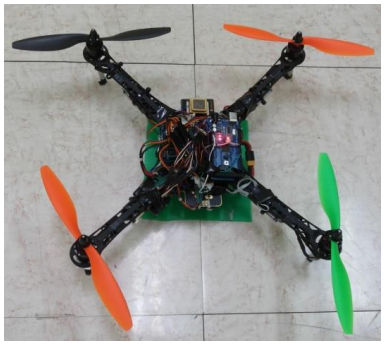
เมื่อได้รับบทสรุปของกฎทั้ง 9 ข้อของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก เราจึงนำกฎการควบคุมที่ได้รับมาเขียนโปรแกรม ควบคุมการบิน เพื่อรักษาระดับความสูงของอากาศยานบินมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดที่ใช้บอร์ด Arduino จำนวน 2 ชุด โดยตัวควบคุมแรกใช้ Arduino Uno สำหรับรักษาสมดุลการบินของอากาศยาน มัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดด้วยเซนเซอร์ MPU 6050 (ไจโรสโคป และตัววัดความเร่ง 6 แกน) ตรวจวัดค่ามุมเอียง (Roll angle) มุมระดับ (Pitch angle) และมุมทิศทาง (Yaw angle) สำหรับควบคุมความเร็วของมอเตอร์ 4 ตัว หน้าขวา , หลังขวา, หลังซ้าย และ หน้าซ้าย ผ่านชุดควบควมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็คทรอนิคส์ ในแต่ละชุด และตัวควบคุมชุดที่2 ใช้ Arduino Mega 2560 สำหรับรับสัญญาณวิทยุจากภาคพื้นดินเพื่อควบคุมทิศทางการบิน ความสูง และกำหนดโหมดการบินด้วยมือ (Manual) และรักษาระดับความสูงอัตโนมัติ (Automatic Height) โดยมีเซนเซอร์ MPU 6050 (ไจโรสโคป และตัววัดความเร่ง 6 แกน) ร่วมกับเซนเซอร์อัลตราโซนิค เพื่อกำหนดระดับความสูง



รูปที่ 3 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด

3. การทดสอบการบิน

ในการทดสอบการบินของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด เลือกใช้อากาศยานขนาด 450 มิลลิเมตร, มอเตอร์ไร้แปรงถ่านขนาด 1100 kV ชุดควบควมความเร็วมอเตอร์แบบอิเล็คทรอนิคส์ ขนาดพิกัดกระแส 30 A และแบตเตอรี่ชนิดลิเทียมโพลิเมอร์ ขนาด 3S 11.1V 3000 mAh ซึ่งอากาศยานดังกล่าวสามารถรับน้ำหนักบรรทุกของอุปกรณ์ต่างๆ ได้ โดยมีน้ำหนักรวมพร้อมบินอยู่ที่ 1160 กรัม ระยะเวลาทำการบินได้นานประมาณ 5 นาที และอากาศยานที่ทำการทดสอบแสดงในรูปที่ 4



รูปที่ 4 อากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด ที่ใช้ในการทดสอบ

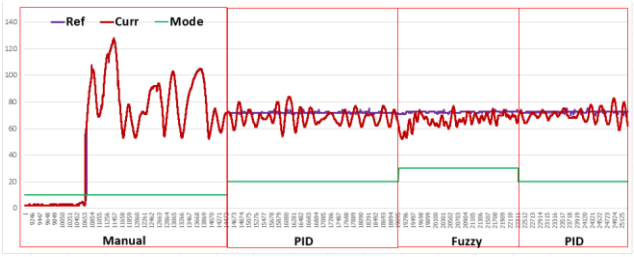
ในการทดสอบการบินเพื่อควบคุมการรักษาระดับความสูงของอากาศยานนี้ เราจะทำการทดสอบระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมพีไอดี เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ โดยทำการบินขึ้นด้วยการบังคับด้วยมือควบคุมโดยนักบินภายนอก ซึ่งจะมีระบบควบคุมสมดุลอัตโนมัติที่อยู่ในอากาศยานอีกระบบหนึ่ง เพื่อให้อากาศยานสามารถบินรักษาระดับความสมดุลของมุมเอียง (Roll angle) มุมระดับ (Pitch angle) และมุมทิศทาง (Yaw angle) ให้อยู่ที่มุม 0 องศาตลอดเวลา นักบินจะบังคับอากาศยานให้บินถึงระดับความสูงที่ต้องการ และเมื่ออากาศยานลอยนิ่งอยู่ในระดับความสูงที่ต้องการแล้ว จึงสับสวิตช์เปลี่ยนโหมดการควบคุมเป็นแบบการควบคุมความสูงอัตโนมัติ เพื่อเลือกระบบควบคุมว่าจะใช้ระบบควบคุมแบบฟัซซีลอจิก หรือตัวควบคุมพีไอดีเป็นตัวควบคุมความสูง เพื่อเก็บข้อมูลผลการทดสอบนำมาเปรียบเทียบกัน โดยเซนเซอร์ตรวจวัดความสูงที่ใช้ในงานวิจัยนี้คือเซนเซอร์ชนิดอัลตราโซนิค รุ่น SR-04 ร่วมกับเซนเซอร์ MPU 6050 (ไจโรสโคป และตัววัดความเร่ง 6 แกน) เพื่อวัดระยะห่างของอากาศยานกับพื้นดิน ซึ่งสามารถวัดระยะค่าได้ไม่เกิน 4 เมตร แต่จากการทดสอบความแม่นยำที่ดีที่สุดจะอยู่ในช่วงไม่เกิน 1.50 เมตร ดังนั้นจึงทำการบินขึ้นสูงจากพื้นประมาณ 70 - 80 ซม.

จากการบินทดสอบ และปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมอากาศยานมีความสูงตามที่ต้องการ ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมพีไอดีจะแสดงในตารางที่ 2

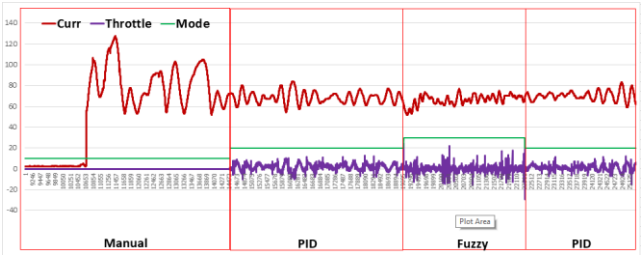
ตารางที่ 2 ค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมที่ใช้ทดสอบ

Fuzzy Logic Control		**PID Control**		
Fuzzy gain	L	P	I	D
1.1	100	1.3	0.001	0.75

การบินทดสอบการควบคุมความสูงจะให้ผลการเปรียบเทียบระหว่างการใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกและการใช้ตัวควบคุมพีไอดีที่แสดงในรูปที่ 5 และรูปที่ 6

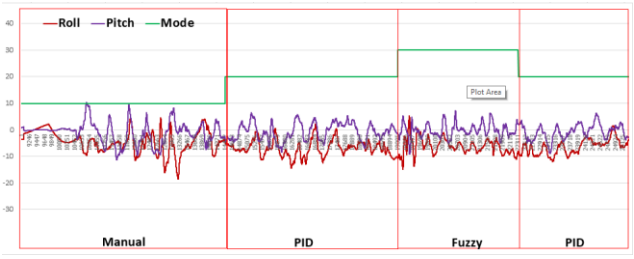


รูปที่ 5 กราฟการควบคุมความสูงอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด เปรียบเทียบผลระหว่างการควบคุมด้วยมือ, การควบคุมด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และการควบคุมด้วยตัวควบคุมพีไอดี



รูปที่ 6 กราฟสัญญาณควบคุม U_throttle ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมพีไอดี

การบินทดสอบนี้มีการบันทึกค่าความสมดุลของมุมเอียง (Roll angle) และมุมระดับ (Pitch angle) ขณะบินเพื่อรักษาระดับความสูง ซึ่งเป็นตัวประกอบที่สำคัญที่ทำให้เกิดความสูงผิดพลาด เพราะเซนเซอร์อัลตราโซนิคมีความเอียงขณะทำการวัดระยะความสูง และกราฟแสดงมุมเอียง (Roll angle) และมุมระดับ (Pitch angle) ของอากาศยานแสดงดังรูปที่ 7



รูปที่ 7 กราฟมุมเอียง (Roll angle) และมุมระดับ (Pitch angle) ของอากาศยาน ขณะบินควบคุมความสูง

4. สรุป

การควบคุมความสูงของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัด กึ่งอัตโนมัติ ที่บังคับด้วยรีโมทคอนโทรล โดยใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก และตัวควบคุมพีไอดี เพื่อเปรียบเทียบผลการควบคุมความสูงจากการบินทดสอบตัวควบคุมทั้งสองแบบสามารถควบคุมความสูงที่ต้องการได้ และยังคงมีความผิดพลาดเล็กน้อย ซึ่งตัวแปรที่ทำให้เกิดความผิดพลาดมาจาก

มุมเอียง และมุมระดับของอากาศยานมัลติโรเตอร์ 4 ใบพัดไม่ได้บินรักษาสมดุลที่มุม 0 องศาตลอดเวลา ซึ่งเป็นสาเหตุให้เซนเซอร์วัดความสูงอัลตราโซนิค ส่งค่าที่ผิดพลาดมาได้ แต่ในทางปฏิบัติใช้งานจริง การบินเพื่อปฏิบัติภารกิจจะบินที่ความสูงมากๆ ไม่สามารถใช้เซนเซอร์วัดความสูงอัลตราโซนิคได้ จะต้องใช้เซนเซอร์วัดความสูงชนิดอื่น เช่น บารอมิเตอร์ หรือความสูงที่ได้จากจีพีเอส

การเลือกใช้ตัวควบคุมฟัซซีลอจิก หรือตัวควบคุมพีไอดี สามารถใช้งานได้ทั้งสองแบบ ขึ้นอยู่กับความถนัดของผู้ใช้งาน และการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกจะปรับจูน 2 ค่าคือค่าฟัซซีเกนและค่า L ของระบบ รวมถึงต้องออกแบบกฎการควบคุมด้วย ส่วนตัวควบคุมพีไอดีจะปรับจูนพารามิเตอร์ 3 ค่า คือ Kp, Ki และ Kd

เอกสารอ้างอิง

[1] Pattaradej T. 2003. “Implementation of fuzzy P^2ID controller” Master Thesis of King Mongkut’s Institute of Technology, Ladkrabang Bangkok.

[2] Sooraksa P., Pattaradej T. and Chen G. 2002. “Design and Implement of Fuzzy P^2ID Controller for Handlebar Control of Bicycle Robot.” Integrated Computer-Aided Engineering. Vol.9 : 319-331.

[3] L.A.Zadeh. “Fuzzy set Informat Control” Vol.8, 1965.

[4] ชาติ ฤทธิ์หิรัญ และคณะ, “การพัฒนาระบบการนำทางของอากาศยานอัตโนมัติไร้คนบังคับ ด้วยตัวควบคุมฟัซซีพีดีพลัสไอ,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 38, อยุธยา, 9-10 พฤศจิกายน 2549, หน้า 1097 – 1100.

ดร.ชาติ ฤทธิ์หิรัญ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2555 สนใจงานวิจัย ระบบควบคุมอัตโนมัติ อากาศยานไร้คนบังคับ

อนุชิต เจริญ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2543 สนใจงานวิจัย อิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบควบคุมอัตโนมัติ

วิญญู แสวงสินกสิกิจ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2543 สนใจงานวิจัย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

ณธรรม เกิดสำอางค์ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2547 สนใจงานวิจัย ระบบควบคุมอัตโนมัติ