การรักษาสมดุลของอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่ง ด้วยตัวควบคุมฟัซซีพีสแควร์ไอดี

Stabilize Control of Vertical Take-off And Landing UAV by Fuzzy P^2ID

ชาติ ฤทธิ์หิรัญ อนุชิต เจริญ วิญญู แสวงสินกสิกิจ และ ณธรรม เกิดสำอางค์

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

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการรักษาสมดุลของอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่ง ที่ใช้การควบคุมให้อากาศยานสามารถบินขึ้นลงได้ในแนวดิ่ง สำหรับอากาศยานชนิดปีกตรึง เพื่อนำมาประยุกต์ใช้กับอากาศยานไร้คนขับที่มีภารกิจที่ต้องบินขึ้นและบินลงในพื้นที่ที่จำกัด ไม่มีเส้นทางสำหรับเป็นรันเวย์ในการวิ่งขึ้นลง และระบบควบคุมชนิดป้อนกลับที่ใช้ตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดีนี้สามารถควบคุมการรักษาสมดุลให้อากาศยานสามารถบินขึ้นลงได้เป็นอย่างดี แม้ว่าจุดศูนย์ถ่วงระหว่างใบพัดทั้ง 4 ตัวจะมีความไม่สมดุลอย่างมากก็ตาม ระบบควบคุมก็ให้การตอบสนองต่อการรักษาสมดุลได้ตามต้องการ

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่ง, ตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี

Abstract

This paper presents the stabilizing control of Vertical take-off and landing Unmanned Aerial Vehicle (VTOL UAV) which controlled by Fuzzy P^2ID controller. The task of UAVs have limited in the environment area for take-off and landing runway. The controller must have the capability to control the VTOL UAVs can vertical take-off and landing in stabilize their fuselage like the Drone in action event they have more unbalance of the Center of gravity (C.G.) between the 4 motors or in the transient of wind to disturbance the airframe. So that the Fuzzy P^2ID controller can immediately response to feedback and control to maintain the stability of VTOL UAV in operation.

1. บทนำ

ปัจจุบันอากาศยานไร้คนขับได้มีการนำมาใช้กันอย่างกว้างขวาง ที่เป็นชนิดโดรน 4 ใบพัด หรือที่เป็นแบบติดตรึง เพื่อปฏิบัติภารกิจต่างๆ กัน แต่ข้อจำกัดของอากาศยานชนิดปีกตรึงก็มีข้อเสียอยู่ตรงต้องมีรันเวย์ในการวิ่งขึ้นลง จึงเป็นข้อจำกัดในการนำมาใช้งานที่ไม่สะดวกในบางภารกิจ แต่อากาศยานชนิดปีกตรึงนี้ก็มีข้อดีอยู่มาก เช่นสามารถบรรทุกน้ำหนักได้มาก บินได้เป็นเวลานาน สามารถใช้เครื่องยนต์เป็นต้นกำลังได้ เพื่อแก้ปัญหาในการบินขึ้นลงของอากาศยานชนิดปีกตรึง งานวิจัยนี้จึงได้พัฒนาระบบควบคุมด้วยตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี เพื่อควบคุมสมดุลของอากาศยานไร้คนขับชนิดนี้ในการบินขึ้นลงแนวดิ่ง ซึ่งตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดีนี้ จะใช้แก้ปัญหากับระบบแบบไม่เชิงเส้นได้เป็นอย่างดี

2. การออกแบบระบบควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี

ในการออกแบบตัวควบคุม เพื่อใช้การควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว เพื่อเพิ่มหรือลดแรงยกตัวของอากาศยานเพื่อให้อากาศยานลอยได้อย่างสมดุล ซึ่งความเร็วรอบที่ควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวนี้ แสดงได้ดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 4

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

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

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

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

โดยที่

Throttle คือ ค่าคันเร่งจากคันบังคับแบบมือโดยนักบินภายนอก

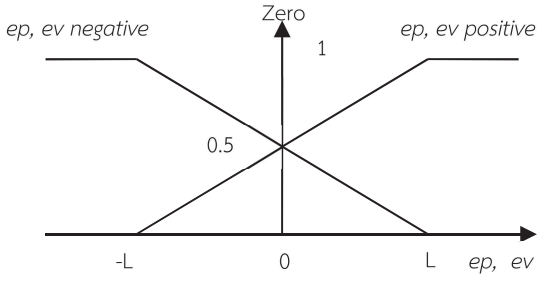
U_throttle คือ ค่าการควบคุมคันเร่งจากตัวควบคุม Throttle

U_roll คือ ค่าการควบคุมจากตัวควบคุมความสมดุลของมุม Roll

U_pitch คือ ค่าการควบคุมจากตัวควบคุมความสมดุลของมุม Pitch

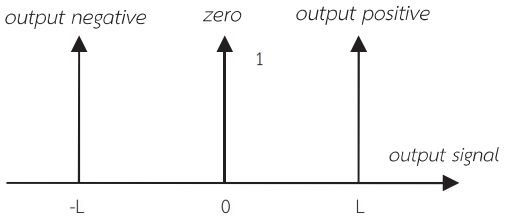
U_yaw คือ ค่าการควบคุมจากตัวควบคุมความสมดุลของมุม Yaw

ฟังก์ชันสมาชิกด้านอินพุตในแต่ละส่วนของการควบคุม จะมี 2 ค่า คือ ค่าความผิดพลาด *ep* และค่าอัตราเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *ev* และฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต และเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ



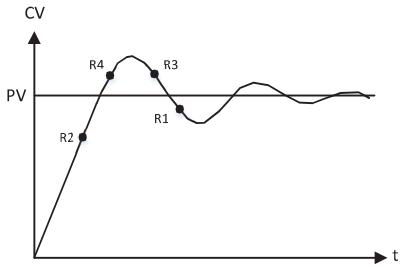
รูปที่ 1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต

CT09



รูปที่ 2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาต์พุต

การกำหนดกฎพื้นฐานของระบบฟักซีพีสแควร์ไอดี จากฟังก์ชันสมาชิกอินพุต จะแยกออกเป็นกฎควบคุมฟักซีพีดี และกฎควบคุมของฟักซีพีไอ ที่จะให้การตอบสนองการควบคุมตามกราฟในรูปที่ 3



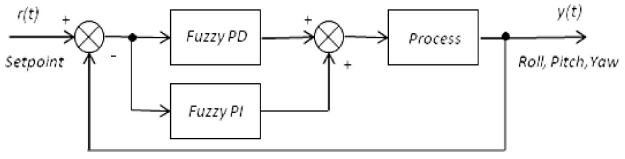
รูปที่ 3 การตอบสนองของกฎการควบคุม

กฎการควบคุมของระบบฟักซีพีดี และฟักซีพีไอ เพื่อตอบสนองต่อการควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย ถูกกำหนดดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 กฎของการควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี ของฟังก์ชันสมาชิกทางด้านอินพุต และฟังก์ชันสมาชิกด้านเอาต์พุต

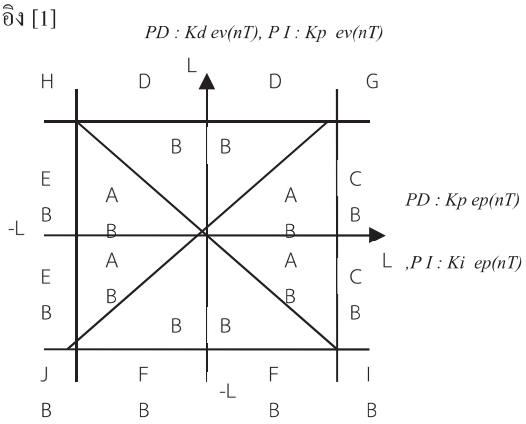
Rule No.	*ep*	*ev*	*Output Fuzzy PD*	*Output Fuzzy PI*
R1	P	P	0	L
R2	P	N	L	0
R3	N	P	-L	0
R4	N	N	0	-L

บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดีแสดงให้เห็นดังรูปที่ 4



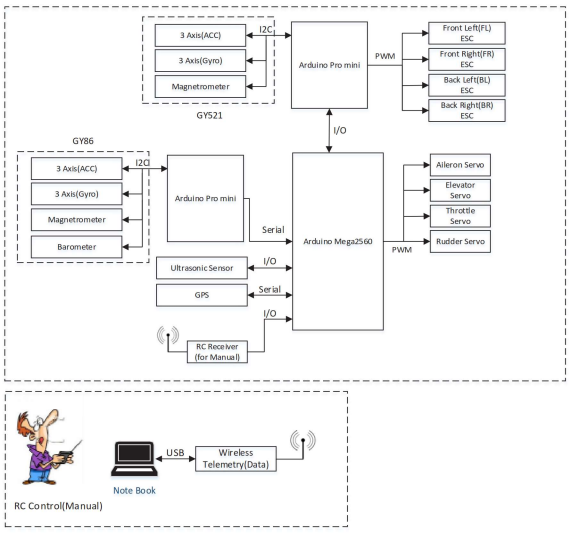
รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี

การทำดีฟักซีฟิเคชั่นของฟักซีพีสแควร์ไอดี จะใช้วิธีจุดศูนย์กลางมวล ซึ่งหลังจากที่ผ่านกระบวนการนี้แล้วจะได้เอาต์พุตของตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดีที่มีค่าอินพุต ประกอบด้วย *ep* และ ev จากกฎในตารางที่ 1 จะจำแนกพื้นที่ได้ทั้งหมด 20 พื้นที่ดังรูปที่ 5 ซึ่งจะกำหนดให้ฟังก์ชันของสัญญาณผิดพลาดเป็นแกนนอนคือ *Kp ep(nT)* และ *Ki ep(nT)* กำหนดฟังก์ชันสมาชิกของอัตราการเปลี่ยนแปลงค่าสัญญาณผิดพลาดอยู่ในแกนตั้งคือ *Kd ev(nT)* และ *Kp ev(nT)* สมการประจำพื้นที่ทั้งหมด 20 สมการนี้จะมีสมการที่เหมือนกัน 9 พื้นที่ ซึ่งเราก็จะได้สมการประจำพื้นที่ 9 สมการ และแสดงให้เห็นพื้นที่ของตัวควบคุมฟัซซีพีสแควร์ไอดี ได้ดังรูปที่5 ซึ่งสมการประจำพื้นที่สามารถดูได้ในเอกสารอ้างอิง [1]



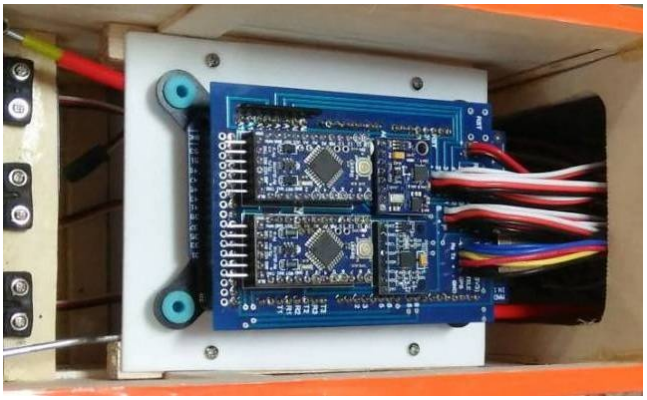
รูปที่ 5 แสดงพื้นที่ของตัวควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดี

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมนี้ ทีมวิจัยเลือกใช้บอร์ด Arduino 3 ชุด คือบอร์ด Arduino Mega 2560 จำนวน 1 ชุด และบอร์ด Arduino Pro Mini จำนวน 2 ชุด เพื่อเชื่อมโยงกับเซ็นเซอร์ต่างๆ และบล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมแสดงระบบควบคุมความสมดุลของอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่ง

ทางทีมวิจัยได้จัดสร้างบอร์ดควบคุมการบินอัตโนมัติที่ใช้ตัวควบคุมเป็นระบบฟักซีพีสแควร์ไอดีเสร็จเรียบร้อยพร้อมที่จะทดสอบการบิน และติดตั้งลงในลำตัวของอากาศยานเพื่อทดสอบ ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 แสดงบอร์ดควบคุมการบินอัตโนมัติที่ติดตั้งลงในลำตัวของอากาศยาน

3. การทดสอบการบิน

อากาศยานที่ใช้ในการทดสอบเป็นชนิดปีกตรึงบนลำตัว มีขนาดลำตัวยาว 1070 มม. ขนาดปีกยาว 1900 มม. สำหรับติดตั้งเครื่องยนต์เล็กขนาด 0.025 ลูกบาศก์นิ้ว ชุดควบคุมการยกตัวใช้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านขนาด 850 kV ชุดควบคุมความเร็วรอบมอเตอร์ขนาดพิกัด 30 แอมป์ แบตเตอรี่ชนิดลิเธียมโพลิเมอร์ ขนาด 4 S 14.8 volt 4200 mAH อากาศยานลำนี้มีน้ำหนักรวมบรรทุกอุปกรณ์พร้อมบินอยู่ที่ 1450 กรัม ระยะเวลาทำการบินได้ประมาณ 15 นาที และอากาศยานที่ทำการทดสอบแสดงดังรูปที่ 8

รูปที่ 8 แสดงอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่งที่ใช้ในการทดสอบ

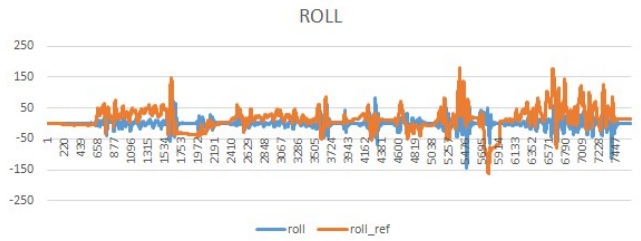
ในการทดสอบเพื่อควบคุมการยกตัวขึ้นในแนวดิ่ง ควบคู่ไปกับการนำอากาศยานบินขึ้นโดยการบังคับด้วยมือ เพื่อให้มอเตอร์ทั้ง 4 ตัวทำงานและระบบควบคุมฟักซีพีสแควร์ไอดีจะทำการควบคุมให้อากาศยานรักษาสมดุลแบบอัตโนมัติ เพื่อให้อากาศยานสามารถบินขึ้นรักษาระดับของมุมเอียง (Roll angle) และมุมระดับ (Pitch angle) และมุมทิศทาง (Yaw angle) ให้อยู่ที่มุม 0 องศาตลอดเวลา ซึ่งนักบินก็จะทำการบินถึงระดับความสูงที่ต้องการ และเมื่ออากาศยานลอยนิ่งรักษาระดับสมดุลแล้ว นักบินจึงสับสวิตช์เปลี่ยนโหมด เพื่อบินเดินทางด้วยเครื่องยนต์ และมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวก็จะหยุดทำงาน และการทดสอบการบินขึ้นในแนวดิ่งแสดงให้เห็นดังรูปที่ 9 การปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

รูปที่ 9 แสดงอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่งขณะลอยตัวบินขึ้น

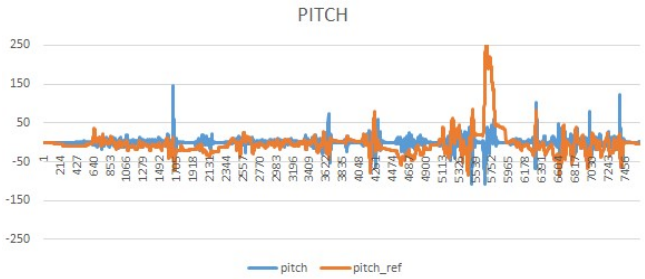
ตารางที่ 2 ค่าการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของตัวควบคุมในการทดสอบ

Fuzzy Gain	L	Kpp	Ki	Kp	Kd
0.95	800	6	0.1	3.5	0.1

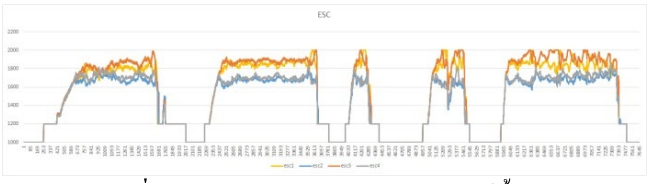
กราฟแสดงผลการบินในการควบคุมการรักษาสมดุลของมุม Roll และมุม Pitch แสดงให้เห็นดังรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ตามลำดับ และกราฟแสดงค่าการควบคุมของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวแสดง ดังรูปที่ 12



รูปที่ 10 กราฟแสดงมุม Roll ในขณะการบินรักษาสมดุลของอากาศยาน



รูปที่ 11 กราฟแสดงมุม Pitch ในขณะการบินรักษาสมดุลของอากาศยาน



รูปที่ 12 กราฟแสดงการควบคุมของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว

4. สรุป

การควบคุมการรักษาสมดุลของอากาศยานไร้คนขับชนิดขึ้นลงแนวดิ่ง โดยใช้ตัวควบคุมฟักซีพีสแคว์ไอดี สามารถควบคุมให้อากาศยานบินลอยนิ่งอยู่ได้ในอากาศ ซึ่งจากการทดสอบการบินสังเกตได้ว่าอากาศยานมีความแกว่งอยู่บ้าง แต่ตัวควบคุมก็ยังสามารถควบคุมให้อากาศยานสามารถลอยนิ่งได้อย่างสมดุลไม่เสียการทรงตัว และจากกราฟผลการบินควบคุมมุม Roll และมุม Pitch ในรูปที่ 10 และรูปที่ 11 ซึ่งตัวควบคุมฟักซีพีสแคว์ไอดีพยายามที่จะรักษาค่ามุมดังกล่าวให้ได้ที่ 0 องศาตลอดเวลาโดยดูจากกราฟการควบคุมมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวในรูปที่ 12 และการควบคุมอีกส่วนหนึ่งก็มาจากการควบคุมของนักบินภายนอกที่มีส่วนในการควบคุมตลอดเวลา และยังมีปัจจัยของแรงลมที่เข้ามาปะทะกับตัวอากาศยานอยู่ตลอดเวลาอีกด้วย ทำให้ระบบการควบคุมต้องทำงานตอบสนองได้อย่างรวดเร็วจากการเปลี่ยนแปลงดังกล่าว จึงเห็นเป็นกราฟที่การแกว่งอยู่ตลอดเวลา ส่วนการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ต่างๆก็สามารถปรับจูนได้ไม่ยาก และการตอบสนองของการควบคุมได้รวดเร็วค่อนข้างดี ซึ่งระบบนี้สามารถควบคุมระบบที่ไม่เชิงเส้นได้เป็นอย่างดี

เอกสารอ้างอิง

[1] Pattaradej T. 2003. “Implementation of fuzzy P^{2}ID 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^{2}ID 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