การพัฒนาเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ ด้วยตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรล

The Development of Automatic Tracking Antenna for UAV System by Fuzzy Logic Control

ชาติ ฤทธิ์หิรัญ[1] อนุชิต เจริญ[1] วิญญู แสวงสินกสิกิจ[1] และคมกฤช แก่นทอง[2]

[1]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต winyu.saw@kbu.ac.th

[2]สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้ากำลัง คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช

บทคัดย่อ

บทความนี้ นำเสนอการพัฒนาเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ ซึ่งในการที่จะเฝ้าดูการปฏิบัติภารกิจของอากาศยานไร้คนขับในการบินที่ระยะทางที่ไกลจากสถานีภาคพื้นดิน ที่ไม่สามารถมองเห็นอากาศยานไร้คนขับบินอยู่ได้นั้น จึงทำให้ไม่สามารถหันเสาอากาศรับส่งข้อมูลการบิน, เสารับส่งภาพ เพื่อรับภาพที่ส่งมาจากระบบการภาพที่ติดตั้งอยู่บนอากาศยานได้ ซึ่งทิศทางการหันเสาดังกล่าวอาจหันไม่ตรงกับตำแหน่งที่อากาศยานบินอยู่จริง ทำให้การสื่อสารข้อมูลระหว่างอากาศยานไร้คนขับ และสถานีภาคพื้นดินมีปัญหาของสัญญาณที่ขาดหาย ดังนั้นการใช้เสาสัญญาณที่สามารถติดตามทิศทางการบินของอากาศยานได้อย่างต่อเนื่อง จึงมีความจำเป็นในการปฏิบัติภารกิจในการบินระยะทางที่ไกล เสาอากาศติดตามทิศทางการบินของอากาศยานนี้ ใช้ระบบควบคุมที่เป็นไมโครคอนโทรลเลอร์ตระกูลอาดูโน่ ที่สามารถสั่งการให้ตัวเสาอากาศเคลื่อนที่มุมกวาด (Pan angle) ในแนวนอนได้ 360 องศารอบตัว และ 0 ถึง 90 องศาในมุมก้มเงย (Pitch angle) การจำลองการทดสอบการบินก็แสดงให้เห็นได้ว่าการปรับจูนค่าเกนของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรล สามารถควบคุมให้เสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับได้อย่างอัตโนมัติ โดยสามารถหันเสาอากาศไปในทิศทางที่อากาศยานไร้คนขับได้บินไปตลอดเส้นทางการบินโดยที่มีค่าความผิดพลาดของมุมกวาด และมุมก้มเงยที่น้อยที่สุด

คำสำคัญ: เสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ, ตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรล, Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

Abstract

This paper presents The Development of Automatic Tracking Antenna for UAV System by Fuzzy Logic Control. The mission of the UAV need to fly in long distance from the ground control station that we cannot see the UAV while flying and unable to turn the antenna to direct heading to the UAV to receive the essential information data such as flight data or image data. When the direction of the antenna is not heading direct to the UAV may not be exactly the same as the actual flight that it will make the data communication between UAV and ground control station have problems with missing signal. Therefore, the use of tracking antenna that can continuously track the flight direction of the aircraft is necessary for the mission to fly in the long distance. The automatic tracking antenna was designed by using the Arduino microcontroller to control the pan angle of 360 degrees around the pole and 0 to 90 degrees of the tilt angle. The flight test was shown that the tuning of fuzzy control gain controller can controlled the antenna to automatically track the UAV which can be turn the antenna in the direction that the UAV has flown throughout the flight with the minimum error of the pan angle and the tilt angle.

CT 07

1. บทนำ

อากาศยานไร้คนขับที่บินปฏิบัติภารกิจในพื้นที่ที่มนุษย์เข้าถึงได้โดยยากลำบาก หรือในพื้นที่ที่ต้องการเฝ้าลาดตระเวน และต้องส่งข้อมูลที่จำเป็นในการบิน หรือภาพถ่าย ภาพเคลื่อนไหว และต้องรับข้อมูลคำสั่งให้ปฏิบัติภารกิจที่ส่งมาจากสถานีควบคุมภาคพื้นดิน ซึ่งในการบินในระยะทางที่ไกล มีความจำเป็นต้องใช้เสาอากาศชนิดทิศทาง เพื่อหันทิศทางของเสาอากาศให้ตรงกับอากาศยานไร้คนขับที่บินปฏิบัติงานอยู่ เพื่อให้การสื่อสารข้อมูลดังกล่าวไม่ให้ขาดการติดต่อสื่อสารกันตลอดเที่ยวบินขณะที่อากาศยานไร้คนขับกำลังบินปฏิบัติภารกิจอยู่ ในการออกแบบระบบขับเคลื่อนทางกลของชุดเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับนั้น จะออกแบบระบบเพื่อควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ในการขับเคลื่อนเสาอากาศที่มุมกวาด (Pan angle) ที่ต้องหมุนได้รอบตัว 360 องศา และการควบคุมก้มเงย (Tilt angle) ที่ต้องขับเคลื่อนได้ 0 ถึง 90 องศา ซึ่งเซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองตัวนี้จะต้องมีแรงบิดที่มากพอ ที่จะขับเคลื่อนชุดสายอากาศที่มีน้ำหนักมากได้ด้วย ในงานวิจัยนี้จะใช้ข้อมูลการบินของระบบควบคุมอากาศยานไร้คนขับที่ทางทีมวิจัยได้พัฒนาขึ้นมาใช้เอง เป็นตัวส่งข้อมูลของอากาศยานไร้คนขับที่บินอยู่ มายังสถานีควบคุมภาคพื้นดิน แล้วสถานีควบคุมภาคพื้นดินจะทำการแยกข้อมูลที่จำเป็นเพื่อส่งไปยังชุดควบคุมเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ เพื่อคำนวณมุมกวาดมุมก้มเงยของเสาอากาศให้หันหน้าไปในทิศทางที่อากาศยานไร้คนขับบินอยู่ให้ได้อย่างอัตโนมัติ ซึ่งการทำงานในระบบ

เสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัตินี้ จะทำให้อากาศยานสามารถบินได้ระยะทางที่ไกลกว่าการใช้เสาอากาศแบบทิศทางคงที่ และทำให้การสื่อสาร การรับส่งข้อมูลของอากาศยานไร้คนขับกับสถานีควบคุมภาคพื้นดิน ไม่เกิดการขาดการติดต่อกันตลอดการบินปฏิบัติภารกิจ

2. การออกแบบระบบควบคุมฟัซซีพีลอจิกคอนโทรล

ในการออกแบบตัวควบคุมเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ เพื่อใช้การควบคุมมุมเของสาอากาศ โดยสั่งการไปควบคุมการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์ทั้ง 2 ตัว เพื่อให้ได้มุมที่ต้องการ ซึ่งในการคำนวณหาค่ามุมกวาด (Pan_angle_ref) ดังสมการที่ 1 ถึง 3

$$Pan_angle_ref = arctan2(xxx, yyy) \quad (1)$$

$$xxx = target_lon - CE \quad (2)$$

$$yyy = target_lat - CN \quad (3)$$

เมื่อ CE คือ ค่าตำแหน่ง Longitude ปัจจุบันของ Tracking Antenna

CN คือ ค่าตำแหน่ง Latitude ปัจจุบันของ Tracking Antenna

และการคำนวณหาค่ามุมก้มเงย (Tit_angle_ref) ดังสมการที่ 4 ถึง 5

$$Tit_angle_ref = arctan2(target_high, D2) \quad (4)$$

$$D2 = sqrt[(CE - target_lon) \times (CE - target_lon) + (CN - target_lat) \times (CN - target_lat)] \quad (5)$$

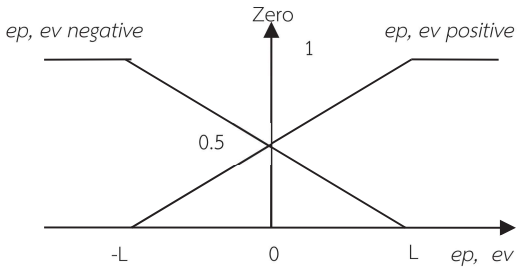
เมื่อ target_lon คือ ค่าตำแหน่ง Longitude ปัจจุบันของ UAV

target_lat คือ ค่าตำแหน่ง Latitude ปัจจุบันของ UAV

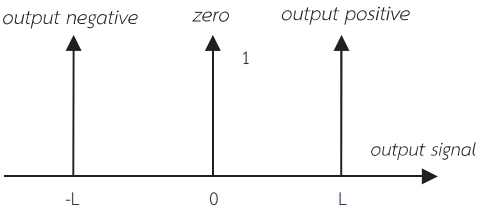
target_high คือ ค่าความสูงระหว่างพื้นดินกับ UAV

D2 = ระยะทางระหว่าง Tracking Antenna กับ UAV

ตัวควบคุมที่ใช้ในงานวิจัยนี้ จะใช้ตัวควบคุมแบบฟัซซีลอจิกคอนโทรล ที่มีการตอบสนองกับระบบควบคุมที่ไม่เป็นเชิงเส้นได้เป็นอย่างดี ฟังก์ชันสมาชิกด้านอินพุตในแต่ละส่วนของการควบคุม จะมี 2 ค่าคือ ค่าความผิดพลาด *ep* และค่าอัตราเปลี่ยนแปลงของความผิดพลาด *ev* ของมุมกวาด และมุมก้มเงยที่ต้องการ ซึ่งฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต และเอาต์พุตแสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ



รูปที่ 1 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านอินพุต



รูปที่ 2 ฟังก์ชันความเป็นสมาชิกด้านเอาต์พุต

การกำหนดกฎพื้นฐาน ของระบบฟัซซีลอจิกคอนโทรล จากความสัมพันธ์ของฟังก์ชันสมาชิกอินพุต และฟังก์ชันสมาชิกเอาท์พุตเพื่อตอบสนองต่อการควบคุมให้เข้าสู่ค่าเป้าหมาย โดยออกแบบด้วยกฎการควบคุม 9 ข้อดังแสดงในตารางที่ 1

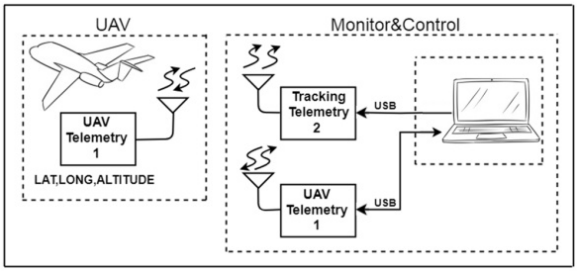
ตารางที่ 1 กฎของการควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรล ของฟังก์ชันสมาชิกทางด้านอินพุต และฟังก์ชันสมาชิกด้านเอาต์พุต

Rule No.	*ep*	*ev*	*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

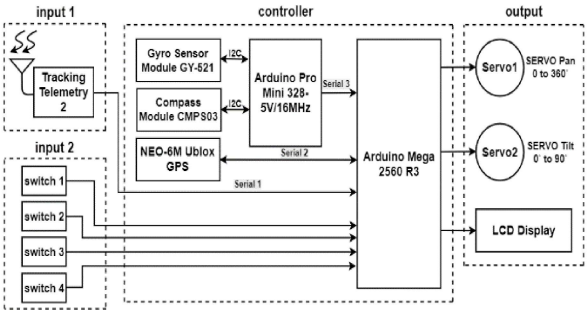
การดิฟัซซีฟิเคชั่นใช้หลักจุดกึ่งกลางมวล (Center of mass) เพื่อมาทำการดีฟัซซีฟิเคชั่น ดังแสดงในสมการที่ (6) ดังนี้

$$\Delta u(nT) = \frac{\sum\{\text{membership value of input x corresponding output}\}}{\sum\{\text{membership value of input}\}} \quad (6)$$

สำหรับบล็อกไดอะแกรมของระบบควบคุมเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติแสดงดังรูปที่ 4 ถึง 6

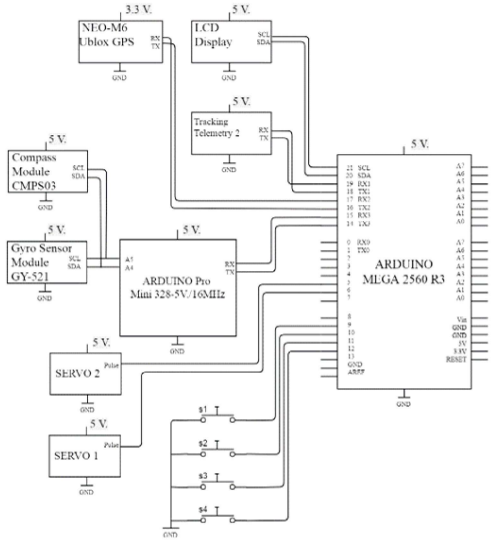


รูปที่ 4 บล็อกไดอะแกรมของอากาศยานไร้คนขับที่จะส่งตำแหน่งมาที่สถานีควบคุมภาคพื้นดิน



รูปที่ 5 บล็อกไดอะแกรมการทำงานของระบบเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ

ในการออกแบบฮาร์ดแวร์ของระบบควบคุมนี้ ทีมวิจัยเลือกใช้บอร์ด Arduino Mega 2560 จำนวน 1 ชุด และบอร์ด Arduino Pro Mini จำนวน 1 ชุด เพื่อเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ต่างๆ และบล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อระบบควบคุมทั้งหมดแสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 บล็อกไดอะแกรมแสดงการเชื่อมต่อของระบบควบคุม

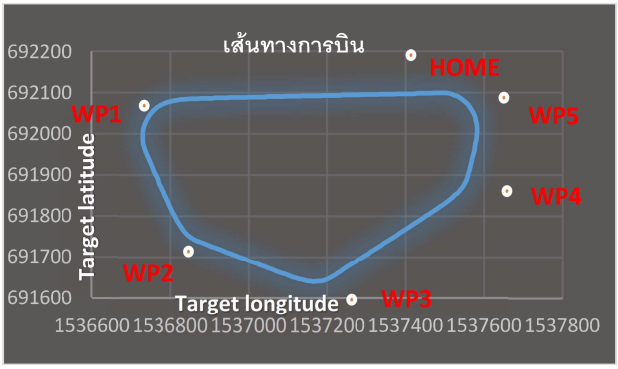
ทางทีมวิจัยได้จัดสร้างบอร์ดควบคุม ติดตั้งลงในเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติที่ใช้ตัวควบคุมเป็นระบบฟัซซีลอจิกคอนโทรลเสร็จเรียบร้อยพร้อมที่จะทดสอบดังแสดงในรูปที่ 7 และ 8

รูปที่ 7 เสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้านหน้า

รูปที่ 8 เสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติด้านหลัง

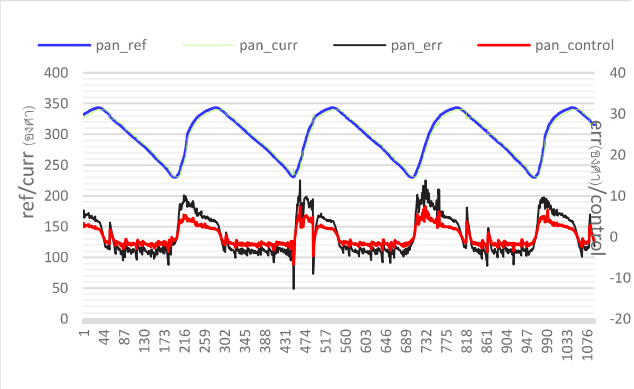
3. การทดสอบการทำงาน

ในการทดสอบการทำงานของระบบควบคุมเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัตินี้ จะทดสอบโดยการจำลองการบินแบบมีฮาร์ดแวร์ประกอบการบิน ของอากาศยานไร้คนขับที่ส่งข้อมูลการบินมายังสถานีควบคุมภาพพื้นดินไว้ก่อน แล้วจึงนำข้อมูลผลการบินที่ได้นั้นมาเป็นข้อมูลตำแหน่งของอากาศยานที่บินอยู่ เพื่อส่งมาหาชุดควบคุมเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติเพื่อเปรียบเทียบกับตำแหน่งของสถานีควบคุมภาคพื้นดิน ที่เป็นตำแหน่งของเสาอากาศที่ติดตั้งอยู่ เพื่อการควบคุมการหมุนของเสาอากาศให้หันหน้าไปตรงกับอากาศยานที่บินอยู่ในอากาศ แล้วจึงบันทึกผลของการควบคุมการหมุนของเสาอากาศในการติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ ขณะที่กำลังบินปฏิบัติหน้าที่อยู่ ซึ่งผลการทดสอบแสดงได้ดังรูปที่ 9 ถึงรูปที่ 11 และตารางสรุปการปรับจูนค่า เกนของตัวควบคุม ฟัซซีลอจิกคอนโทรล แสดงดังตารางที่ 2

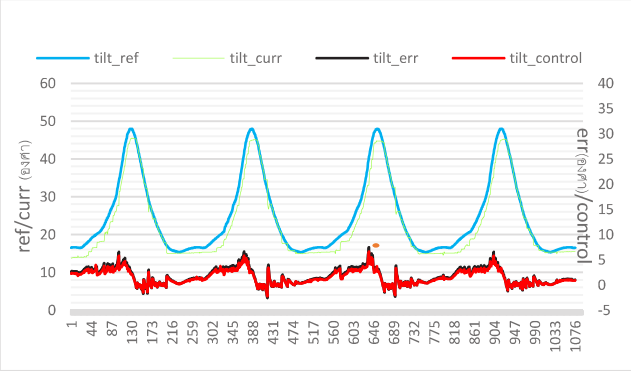


รูปที่ 9 แสดงเส้นทางการบินของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการทดสอบ

CT 07



รูปที่ 10 ผลการควบคุมมุมกวาด (Pan angle)



รูปที่ 11 ผลการควบคุมมุมก้มเงย (Tilt angle)

ตารางที่ 2 ค่าการปรับจูนพารามิเตอร์ของตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรลในการทดสอบ

Control	Fuzzy Gain	L	Max Err	Min Err
Pan angle	1.0	100	9.85	-4.66
Tilt angle	1.7	100	5.58	-1.04

4. สรุป

ระบบเสาอากาศติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติในงานวิจัยนี้สามารถทำหน้าที่ในการหมุนหันหน้าสายอากาศให้หันหน้าไปตรงยังตำแหน่งของอากาศยานไร้คนขับที่กำลังบินอยู่ ซึ่งจะทำให้สัญญาณในการรับส่งข้อมูลมีระยะทางที่ไกลมากขึ้นจากการใช้สายอากาศแบบทิศทางที่มีระบบการติดตามอากาศยานไร้คนขับอัตโนมัติ และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรลก็สามารถควบคุมมุมกวาด และมุมก้มเงยที่ต้องการได้เป็นอย่างดี และตัวควบคุมนี้ยังเหมาะกับระบบที่มีค่าเป้าหมายที่เปลี่ยนแปลงตลอดเวลาอีกด้วย ซึ่งการตอบสนองของการควบคุมได้รวดเร็วค่อนข้างดี และตัวควบคุมฟัซซีลอจิกคอนโทรลนี้สามารถควบคุมระบบที่ไม่เชิงเส้นได้เป็นอย่างดี

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.

ชาติ ฤทธิ์หิรัญ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาเอก สาขาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2555 สนใจงานวิจัยระบบควบคุมอัตโนมัติ

อนุชิต เจริญ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2543 สนใจงานวิจัยอิเล็กทรอนิกส์กำลังและระบบควบคุมอัตโนมัติ

วิญญู แสวงสินกสิกิจ สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2544 สนใจงานวิจัย การควบคุมมอเตอร์ไฟฟ้า

คมกฤช แก่นทอง สำเร็จการศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมการวัดคุม คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้า เจ้าคุณทหารลาดกระบัง เมื่อปีการศึกษา 2551 สนใจงานวิจัยการขับเคลื่อนเครื่องจักรกลไฟฟ้า