การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 48
The 48th Electrical Engineering Conference (EECON-48)
วันที่ 19-21 พฤศจิกายน 2568 ณ โรงแรมฟูราม่า จังหวัดเชียงใหม่

การทดสอบการบินของระบบควบคุมการบินดิจิทัลระยะไกลสำหรับอากาศยานไร้คนขับ

Flight Testing of Digital Control System for Long-range Unmanned Aerial Vehicles

อนุชิต เจริญ[1] ชาติ ฤทธิ์หิรัญ[1*] วิญญู แสวงสินกสิกิจ[1] ฉนวน เอื้อการณ์[1] และ ประภาส ผ่องสนาม[2]

[1] สาขาวิชาวิศวกรรมไฟฟ้า คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต chart.rit@kbu.ac.th*
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมคอมพิวเตอร์ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน วิทยาเขตขอนแก่น

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการออกแบบและทดสอบระบบควบคุมการบินดิจิทัลระยะไกลสำหรับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่สามารถปฏิบัติภารกิจนอกระยะสายตา (BVLOS) ได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยใช้ UAV อีกลำเป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณ (Relaying UAV) ระหว่างสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (GCS) กับ Long-range UAV ระบบสื่อสารประกอบด้วยโมดูล Telemetry ความถี่ 915 MHz จำนวน 6 ชุด และเทคโนโลยี 4G LTE สำหรับการบันทึกและแสดงข้อมูลการบินแบบเรียลไทม์ผ่าน Cloud Server ระบบควบคุมพัฒนาด้วยอัลกอริทึม Fuzzy PD+I และโครงข่ายการสื่อสารถูกออกแบบให้แยกความถี่และ Net ID เพื่อหลีกเลี่ยงสัญญาณรบกวน การทดสอบภาคสนามใช้ UAV บินน้ำมันสองรุ่น คือ Calmato 60 และ Hi-Fly 90 บินในระยะทาง 5 กิโลเมตร พบว่าสามารถถ่ายทอดสัญญาณได้เสถียรโดยไม่มีการขาดหายของข้อมูล ผลการทดลองยืนยันว่าแนวคิด Relaying UAV สามารถเพิ่มระยะการควบคุมได้อย่างมีประสิทธิภาพและสามารถประยุกต์ใช้ในภารกิจภาคสนามระยะไกล เช่น การลาดตระเวน การสำรวจพื้นที่ห่างไกล และการกู้ภัยในภาวะฉุกเฉิน

คำสำคัญ: อากาศยานไร้คนขับ, อากาศยานไร้คนขับระยะไกล, อากาศยานไร้คนขับถ่ายทอดสัญญาณ

Abstract

This paper presents the design and testing of a long-range digital flight control system for Unmanned Aerial Vehicles (UAVs) capable of performing Beyond Visual Line of Sight (BVLOS) missions efficiently. The system employs a secondary UAV as a signal-relaying platform (Relaying UAV) to maintain communication between the Ground Control Station (GCS) and the Long-range UAV. The communication system integrates six 915 MHz telemetry modules and 4G LTE technology for real-time flight data logging and display via a cloud server. The flight control is developed using a Fuzzy PD+I algorithm, and the communication network is configured with separate frequencies and Net IDs to prevent signal interference. Field tests using gasoline-powered UAVs (Calmato 60 and Hi-Fly 90) over a 5-kilometer distance showed stable and uninterrupted signal transmission. The results confirm that the Relaying UAV concept is an effective solution for extending UAV control range and can be applied in long-distance field operations such as coastal patrol, remote area exploration, and emergency search and rescue missions.

Keywords: UAV, Unmanned aerial vehicle, Long-range UAV, Relaying UAV

1. บทนำ

ในช่วงทศวรรษที่ผ่านมา อากาศยานไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicles: UAVs) ได้กลายเป็นเทคโนโลยีที่มีบทบาทสำคัญในภารกิจหลากหลาย ทั้งด้านการสำรวจภูมิประเทศ การเกษตรแม่นยำ การตรวจการณ์ชายแดน การจัดการภัยพิบัติ ตลอดจนภารกิจด้านความมั่นคง ด้วยคุณสมบัติที่สามารถบินได้โดยไม่ต้องมีนักบินบนอากาศยาน UAV จึงเหมาะสำหรับการปฏิบัติการในพื้นที่เสี่ยงหรือเข้าถึงยาก อย่างไรก็ตาม UAV ขนาดเล็กทั่วไปยังคงมีข้อจำกัดด้านระยะการควบคุม ซึ่งมักอยู่ในขอบเขตของการมองเห็น (Visual Line of Sight: VLOS) เท่านั้น ระบบควบคุมที่พึ่งพาสัญญาณจากรีโมตภาคพื้นดินจะสูญเสียความสามารถในการสื่อสารและควบคุมเมื่อตัว UAV เคลื่อนที่ออกนอกระยะสายตา ทำให้ไม่สามารถนำ UAV เหล่านี้ไปใช้งานในพื้นที่ห่างไกลหรือภารกิจระยะไกลได้อย่างมีประสิทธิภาพ แม้ว่าในปัจจุบันจะมีการนำระบบสื่อสารผ่านดาวเทียมหรือระบบโทรคมนาคมระยะไกลมาใช้ร่วมกับ UAV ระดับอุตสาหกรรม แต่แนวทางดังกล่าวยังมีต้นทุนสูงและข้อจำกัดด้านโครงสร้างพื้นฐานในหลายพื้นที่ งานวิจัยนี้จึงเสนอทางเลือกใหม่ในการขยายระยะควบคุม UAV โดยใช้แนวคิดการถ่ายทอดสัญญาณผ่าน UAV อีกลำหนึ่งที่บินในตำแหน่งกึ่งกลาง เรียกว่า “Relaying UAV” ซึ่งทำหน้าที่เป็นสถานีเชื่อมโยงการสื่อสารระหว่างสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Station: GCS) กับ Long-range UAV ที่ทำภารกิจจริง แนวคิดนี้มีศักยภาพในการประยุกต์ใช้ในภารกิจที่ต้องการความต่อเนื่องของสัญญาณควบคุมในระยะไกล โดยไม่ต้องพึ่งพาโครงข่ายดาวเทียมหรือสถานีภาคพื้นกระจายตัวหลายจุด อีกทั้งยังสามารถปรับใช้ได้กับ UAV ประเภท Fixed-Wing ที่ต้องการรัศมีปฏิบัติการกว้าง ซึ่งระบบควบคุมการบินระยะไกลนี้จึงเป็นอีกทางเลือกหนึ่งที่มีต้นทุนต่ำกว่าและใช้งานได้จริงในภาคสนาม

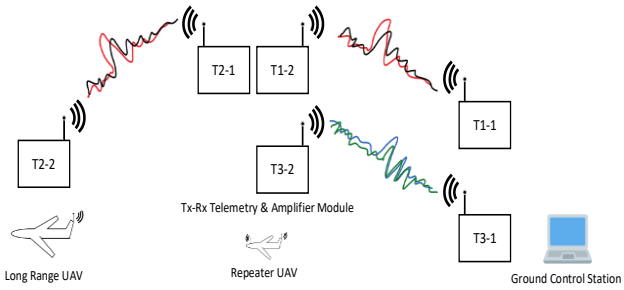
2. ระบบควบคุมการบินระยะไกล

2.1 ระบบควบคุม

ระบบควบคุมการบินระยะไกล[1]ที่นำเสนอในงานวิจัยนี้มีองค์ประกอบหลัก 3 ส่วน ได้แก่ สถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Station: GCS), อากาศยานไร้คนขับถ่ายทอดสัญญาณ (Relaying UAV) และอากาศยานไร้คนขับระยะไกล (Long-range UAV) โดย GCS จะควบคุมภารกิจผ่านโมดูลสื่อสารชนิด RFD 900 ซึ่งใช้ความถี่ 915 MHz และ กำลังส่ง 1 วัตต์ พร้อมมีการตั้งค่าช่องสัญญาณ (Channel) และรหัสเครือข่าย (Net ID) แยกจากกันในแต่ละลิงก์ (T1-1, T1-2, T2-1, T2-2, T3-1 และ T3-2) เพื่อป้องกันการรบกวนกันของคลื่นวิทยุ (RF Interference) ระบบนี้อธิบายภาพรวมไว้ใน รูปที่ 1

จากจากโครงสร้างในรูปที่ 1 การจัดวางระบบสื่อสารแบบแบ่งระดับโดยการสื่อสารระหว่าง GCS และ Long-range UAV ระยะไกลจะส่งผ่าน Relaying UAV ที่ทำหน้าที่เป็นโนดกลาง (data relay node) ในการรับ–ส่งคำสั่งและข้อมูลสถานะ การใช้ Relaying UAV หรือ UAV ตัวกลาง

*ผู้ประพันธ์บรรณกิจ



รูปที่ 1 ไดอะแกรมระบบการสื่อสารของสถานีภาคพื้นดิน กับ UAV ระยะไกล และระบบการสื่อสารของสถานีภาคพื้นดิน กับ Relaying UAV

จึงเป็นแนวทางหนึ่งที่มีประสิทธิภาพในการเพิ่มระยะทางและความต่อเนื่องของการควบคุม ระบบนี้ประกอบด้วยอุปกรณ์ 3 ส่วนหลัก ได้แก่

1. GCS Long Range: เป็นสถานีควบคุม UAV ปลายทาง โดยเชื่อมต่อกับ Relaying UAV ผ่าน RFD 900 ที่ตั้งค่าช่องสัญญาณ (Channel) และ Net ID เฉพาะ
2. Relaying UAV: เป็น UAV ตัวกลางที่ติดตั้งโมดูล RFD 900 จำนวน 3 ตัว เพื่อรับ-ส่งข้อมูลระหว่าง GCS และ UAV ปลายทาง โดยทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมสัญญาณ (Data Relay)
3. UAV ปลายทาง (Long-range UAV): รับคำสั่งควบคุมจาก GCS ผ่าน Relaying UAV อีกทอดหนึ่ง

เสาอากาศแบบ Omni-gain ถูกติดตั้งบริเวณตัวลำของ Relaying UAV โดยเว้นระยะห่างระหว่างกัน 20–30 เซนติเมตร และใช้สาย RG316 ความยาวไม่เกิน 1 ฟุต เพื่อเชื่อมต่อสัญญาณจากโมดูลภายในมายังเสาอากาศภายนอก โดยปลายสายถูกออกแบบให้วางในแนวต่างกันเพื่อลดการแทรกสัญญาณ

ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของ Relaying UAV นั้น สามารถทำได้ทั้งแบบบินอัตโนมัติในโหมด Loiter ซึ่ง UAV จะบินวนรอในตำแหน่งที่กำหนดไว้ล่วงหน้า หรือควบคุมด้วยมือจากภาคพื้นผ่านรีโมทคอนโทรล โดยผู้ควบคุมที่อยู่ใน GCS จะสามารถมอนิเตอร์ตำแหน่งของ UAV ทั้งสองลำผ่านหน้าจอแสดงผลได้แบบเรียลไทม์ ซึ่งช่วยให้สามารถประเมินสถานะของระบบโดยรวมได้อย่างต่อเนื่องตลอดภารกิจบิน

2.2 ระบบสื่อสารการบิน

ระบบสื่อสาร[2]ในงานวิจัยนี้ได้รับการออกแบบให้มีความสามารถในการเชื่อมโยงข้อมูลระหว่างสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (GCS) และอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ได้อย่างต่อเนื่อง แม้ในกรณีที่ Long-range UAV บินออกนอกระยะสายตา โดยใช้เทคนิคการถ่ายทอดสัญญาณผ่าน UAV ตัวกลาง หรือ Relaying UAV

องค์ประกอบหลักของระบบสื่อสาร ได้แก่ โมดูล RFD900 จำนวน 6 ชุด โดยแบ่งใช้งานระหว่าง GCS, Relaying UAV และ Long-range UAV สำหรับการสื่อสารแบบ full-duplex ในแต่ละลิงก์ ซึ่งมีการกำหนดความถี่ (Channel) และ Net ID แยกจากกัน ดังนี้:

1. ลิงก์ที่ 1: GCS ของ Long-range UAV ↔ Relaying UAV (CH 100 / Net ID 100)
2. ลิงก์ที่ 2: GCS ของ Relaying UAV ↔ คอนโทรลเลอร์ของ Relaying UAV (CH 50 / Net ID 50)
3. ลิงก์ที่ 3: Relaying UAV ↔ Long-range UAV (CH 150 / Net ID 150)

จากการตั้งค่าดังกล่าว โมดูลแต่ละตัวสามารถสื่อสารได้โดยไม่รบกวนกัน และสามารถทำงานพร้อมกันแบบอิสระ (parallel communication) โดยไม่เกิด cross-talk ระหว่างช่องสัญญาณ เสาอากาศ omni-gain ที่ใช้มีค่าขยายสัญญาณ 2.1 dBi ติดตั้งแบบเว้นระยะและหันต่างทิศทางกัน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพในการรับ–ส่งข้อมูลและลดสัญญาณสะท้อน (multipath interference)

เพื่อให้ระบบสามารถมอนิเตอร์ข้อมูลการบินได้แบบเรียลไทม์ มีการใช้เทคโนโลยี 4G LTE เชื่อมต่อข้อมูลจาก GCS ทั้งของ Relaying UAV และ Long-range UAV ขึ้นสู่ Cloud Server โดยข้อมูลที่ถูกส่งประกอบด้วยค่าตำแหน่ง GPS, ความเร็ว, มุมเอียง (Attitude) และค่าความสูงของอากาศยานทั้ง 2 ลำ ซึ่งสามารถเข้าถึงได้ผ่าน Web Application บนสมาร์ตโฟนหรือคอมพิวเตอร์

ระบบสื่อสารนี้รองรับการทำงานทั้งในแบบ manual control และ autonomous flight โดยสามารถควบคุมจากระยะไกลผ่านคำสั่งบน GCS ได้ทันที จุดเด่นของระบบคือสามารถเชื่อมโยง UAV ทั้งสองลำและ GCS เข้าด้วยกันเป็นเครือข่ายควบคุมเดียว โดยยังคงรักษาเสถียรภาพของสัญญาณไว้ได้ตลอดภารกิจ แม้ในพื้นที่ที่ไม่มีโครงข่ายโทรคมนาคมพื้นฐาน การทดสอบจริงพบว่าสัญญาณระหว่างลิงก์ที่ 1 และลิงก์ที่ 3 อยู่ในเกณฑ์ที่สามารถถ่ายทอดข้อมูลได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีอาการหลุดลิงก์จากระบบควบคุม ซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญต่อความปลอดภัยของการบินระยะไกล

2.3 ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ

ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติที่ใช้ในการทดสอบการบินมีตัวควบคุมหลักที่ใช้คือตัวควบคุมแบบพีซีพีดีพลัสไอ [3],[4],[5] ที่มีการปรับจูนค่าพารามิเตอร์ของการควบคุมท่าทางการบินของมุม roll, pitch และ yaw มาแล้ว พร้อมระบบนำทางการบินไปยังจุดเป้าหมาย เพื่อให้อากาศยานสามารถบินทดสอบได้ตามจุดเป้าหมายที่กำหนดไว้ และมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการตามรูปที่ 2 เพื่อจำลองการทำงานของระบบควบคุมการบินทั้งหมดแบบมีฮาร์ดแวร์ประกอบการทดสอบ เพื่อให้การทำงานเสมือนจริงใกล้เคียงกับการบินจริงมากที่สุด ซึ่งจะได้เห็นการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ ที่ต่อไปยังคันบังคับในการควบคุมท่าทางการบินของอากาศยาน เพื่อจะได้ทราบผลการควบคุมที่สั่งการไปนั้นถูกต้องหรือไม่ ซึ่งเมื่อผ่านขั้นตอนการทดสอบนี้แล้วก็พร้อมที่จะนำไปทดสอบการบินจริงต่อไป

รูปที่ 2 การทดสอบระบบในห้องปฏิบัติการ

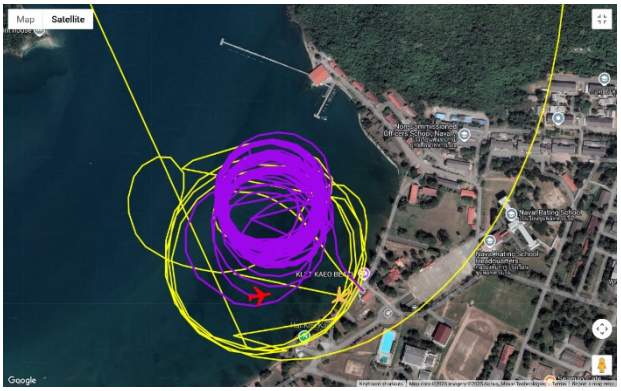
3. การทดสอบการบิน

เพื่อประเมินประสิทธิภาพของระบบควบคุมการบินระยะไกลที่พัฒนาขึ้น ได้ดำเนินการทดสอบทั้งในห้องปฏิบัติการและภาคสนาม โดยการทดสอบมุ่งเน้นตรวจสอบความถูกต้องของการสื่อสาร การตอบสนองของระบบควบคุม และความเสถียรของลิงก์สื่อสารระหว่าง UAV แต่ละลำและสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (GCS) และการทดสอบภาคสนามนี้ทำการทดสอบการบินที่ บริเวณชายหาดติดทะเลโรงเรียนชุมพลทหารเรือ อ.สัตหีบ จ.ชลบุรี แบ่งออกเป็นสองช่วง ได้แก่ การทดสอบการบินของอากาศยานที่ทำหน้าที่เป็น Relaying UAV และการทดสอบการบินของ Long-range UAV ที่ทำภารกิจในระยะไกล โดยในภารกิจการบิน Relaying UAV ถูกตั้งค่าให้บินอัตโนมัติในโหมด Loiter ที่ตำแหน่งให้บินวนเหนือน้ำทะเลบริเวณใกล้ชายฝั่ง โดยรักษาระดับความสูงไว้ที่ 200 เมตร เหนือระดับน้ำทะเล ขณะที่ Long-range UAV (Calmato 60) ได้รับคำสั่งให้บินจากจุดเริ่มต้นไปยัง Waypoint ที่ระยะห่าง 5 กิโลเมตร ก่อนจะวนกลับมาที่จุดเริ่มต้น รวมระยะทางรวมในการบินประมาณ 10 กิโลเมตร ระหว่างการทดสอบ มีการส่งข้อมูลควบคุมจาก GCS ผ่าน Relaying UAV ไปยัง Long-range UAV และในทางกลับกันมีการส่งข้อมูล Telemetry กลับมาที่ GCS ผ่านเส้นทางเดียวกัน โดยตลอดภารกิจ Long-range UAV บินรักษาความสูงเฉลี่ยอยู่ที่ประมาณ 220 เมตร และความเร็วเฉลี่ยประมาณ 60 กิโลเมตรต่อชั่วโมง อากาศยานทั้ง 2 ลำที่ใช้บินทดสอบแสดงดังรูปที่ 3 และรูปที่ 4

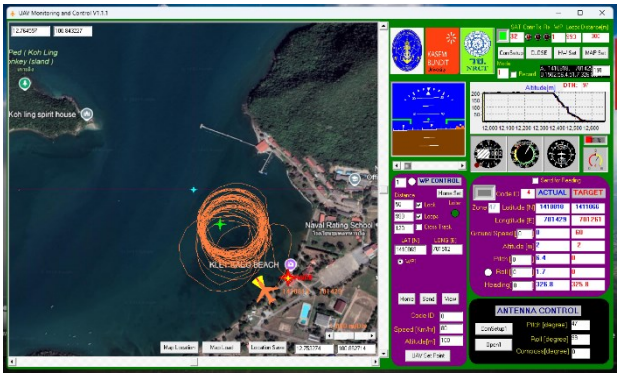
รูปที่ 3 อากาศยาน Long Range UAV รุ่น Calmato 60

รูปที่ 4 อากาศยาน Relaying UAV รุ่น Hi-Fly 90

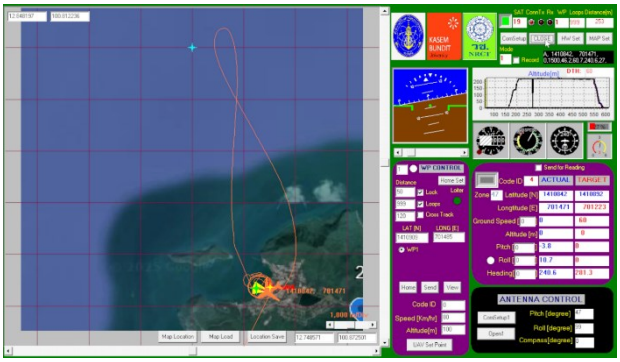
ผลการทดสอบการบินอากาศยาน Relaying UAV รุ่น Hi-Fly 90 สามารถบินทำหน้าที่เป็นสะพานเชื่อมสัญญาณระหว่างสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (GCS) กับ Long-range UAV ได้เป็นอย่างดี ใช้เวลาทำการทดสอบประมาณ 20 นาที และอากาศยานน้ำมัน Calmato 60 (Long-range UAV) สามารถบินไป Waypoint ที่ระยะทาง 5 กิโลเมตร และกลับมายังสถานีภาคพื้นดิน (GCS) ได้ โดยสามารถมอนิเตอร์การบินของอากาศยานทั้ง 2 ลำได้ตลอดเวลาที่ทดสอบ และไม่พบการรบกวนของสัญญาณสื่อสาร อีกทั้งยังได้บันทึกข้อมูลการทดสอบบินของอากาศยานทั้ง 2 ลำลงใน SD Card ที่ติดตั้งบนอากาศยาน และการบันทึกข้อมูลการบินผ่านระบบ 4G LTE ที่สถานีภาคพื้นดิน (GCS) ไปไว้บน Cloud Server สามารถเข้าไปดูเส้นทางการบินของอากาศยานไร้คนขับทั้ง 2 ลำย้อนหลังได้ที่ http://www.smartbot-ai.com/uav/monitor/monitor2.php กำหนดวันที่ 2 พฤษภาคม 2568 ช่วงเวลา 09.00 – 09.25 น. KBU-004 คือ อากาศยาน Relaying UAV (เส้นทางการบินสีม่วง) และ KBU-003 คือ อากาศยาน Long-range UAV (เส้นทางการบินสีเหลือง) ดังรูปที่ 5 สำหรับข้อมูลที่ได้จาก SD Card บนอากาศยาน Relaying UAV แสดงเส้นทางการบินแสดงดังรูปที่ 6 และข้อมูลที่ได้จาก SD Card บนอากาศยาน Long-range UAV แสดงเส้นทางการบิน ดังรูปที่ 7 ซึ่งข้อมูลการบินย้อนหลังที่บันทึกได้นี้ แสดงเส้นทางการบินของ UAV ที่ตรงตามแผนการบิน (flight plan) ที่กำหนดไว้ รวมถึงการรักษามุมเอียง ความเร็ว และระดับความสูงได้อย่างเสถียรในทุกช่วงของภารกิจ



รูปที่ 5 เส้นทางการบินของอากาศยาน Hi-Fly 90 (Relaying UAV) และ Calmato 60 (Long-range UAV) ที่ดูย้อนหลังพร้อมกันบน Cloud server



รูปที่ 6 เส้นทางการบินของอากาศยาน Relaying UAV รุ่น Hi-Fly 90 ที่ได้จาก SD Card



รูปที่ 7 เส้นทางการบินของอากาศยาน Long-range UAV รุ่น Calmato 60 ที่ได้จาก SD Card

4. สรุปผลการทดสอบการบิน

จากการพัฒนาระบบควบคุมการบินดิจิทัลระยะไกล สำหรับอากาศยานไร้คนขับ (UAV) ที่ใช้แนวคิดของ Relaying UAV เป็นตัวกลางถ่ายทอดสัญญาณระหว่างสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (GCS) และ Long-range UAV พบว่า แนวทางนี้สามารถเพิ่มขีดความสามารถของระบบควบคุมการบินได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะในภารกิจที่ต้องการการสื่อสารระยะไกลนอกระยะสายตา (BVLOS) การทดสอบภาคสนามยืนยันว่า Long-range UAV สามารถรับคำสั่งควบคุมและส่งข้อมูล Telemetry กลับมายังสถานีภาคพื้นดิน (GCS) ได้อย่างต่อเนื่อง โดยไม่มีอาการหลุดลิงก์หรือขาดสัญญาณตลอดช่วงการบินจริงที่ระยะทางกว่า 5 กิโลเมตร ระบบสามารถรักษาระดับความสูง มุมบิน และเสถียรภาพการควบคุมได้ดี ด้วยอัลกอริทึมของตัวควบคุมแบบ fuzzy PD+I และการแยกช่องสัญญาณสื่อสารอย่างมีประสิทธิภาพ

นอกจากนี้ ระบบยังสามารถบันทึกและแสดงผลข้อมูลการบินแบบเรียลไทม์ผ่านเครือข่าย 4G LTE ไปยัง Cloud Server ซึ่งช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถติดตามสถานะ UAV และวิเคราะห์ข้อมูลย้อนหลังได้อย่างสะดวกและรวดเร็ว เหมาะสมสำหรับการนำไปประยุกต์ใช้ในภารกิจที่มีข้อจำกัดด้านพื้นที่ เช่น การลาดตระเวนชายแดน การสำรวจภูมิประเทศ และการให้ความช่วยเหลือในพื้นที่ห่างไกล โดยภาพรวมระบบควบคุมการบินระยะไกลที่พัฒนาขึ้นนี้แสดงศักยภาพที่ดีในการนำไปใช้งานจริง ทั้งในภารกิจเชิงวิศวกรรมและงานด้านความมั่นคง จึงเป็นพื้นฐานที่แข็งแกร่งสำหรับการต่อยอดในระดับสูงต่อไป

5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนการวิจัยและนวัตกรรม จากสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปี 2567

เอกสารอ้างอิง

[1] Rithirun.C.,Charaen.A.,Sawaengsinkasikit.W.,Phongsanam P., “Development of Signal Transmission System for Long-Range Unmanned Aerial Vehicle,” 2024 International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2024)

[2] อนุชิต เจริญ, ชาติ ฤทธิ์หิรัญ, วิญญู แสวงสินกสิกิจ และ ประภาส ผ่องสนาม, “การพัฒนาระบบควบคุมและการมอนิเตอร์อากาศยานไร้คนขับหลายลำผ่านการสื่อสารไร้สาย 4G LTE,” การประชุมวิชาการทางวิศวกรรมไฟฟ้า ครั้งที่ 45, จ.นครนายก, 16-18 พฤศจิกายน 2565, หน้า 372-375.

[3] Rithirun.C.,Charaen. A.,andSawaengsinkasikit. W., “Autopilot Flight Testing of Unmanned Aerial Vehicle,” 2021 International Conference on Power, Energy and Innovation (ICPEI 2021)

[4] Rithirun.C., Charaen .A., Sawaengsinkasikit.W. and Lokaphan S., “Development of Waypoint Navigation Control System of Unmanned Aerial Vehicle by Fuzzy PD+I Controller,” The 37th Electrical Engineering Conference (EECON-37) Thailand, 2015.

[5] Rithirun.C.,“Development of Fuzzy Autopilot for Unmanned Aerial Vehicle,” Doctoral Thesis of King Mongkut’s Institute of Technology, Ladkrabang Bangkok, 2012.