ระบบการควบคุมทิศทางเรืออัตโนมัติสำหรับเรือไฟฟ้าด้วยระบบนำทางจีพีเอส

AUTOMATIC CONTROL FOR ELECTRIC BOAT USING GPS NAVIGATION SYSTEM

ศราวุธ ปัตถา

วัชรพล ยอดมงคล

อธิษฐ์ แก้วมณี

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

หลักสูตรวิศวกรรมการวัดคุม

ภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ปีการศึกษา 2564

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

AUTOMATIC CONTROL FOR ELECTRIC BOAT USING GPS NAVIGATION SYSTEM

SARAWUT PODTHA

WATCHARAPOL YODMONGKOL

ATHIT KWMANEE

A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT

OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF

BACHELOR OF ENGINEERING IN INSTRUMENTATION ENGINEERING

FACULTY OF ENGINEERING

KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG

ACADEMIC YEAR 2021

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ปริญญานิพนธ์ปีการศึกษา 2554

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ใบรับรองปริญญานิพนธ์

หัวข้อปริญญานิพนธ์ ระบบการควบคุมทิศทางเรืออัตโนมัติสำหรับเรือไฟฟ้าด้วยระบบนำทางจีพีเอส

AUTOMATIC CONTROL FOR ELECTRIC BOAT USING GPS NAVIGATION SYSTEM

นักศึกษาผู้จัดทำ นายศราวุธ ปัตถา รหัสนักศึกษา 63015167

นายวัชรพล ยอดมงคล รหัสนักศึกษา 63015160

นายอธิษฐ์ แก้วมณี รหัสนักศึกษา 63015197

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต

สาขาวิชา วิศวกรรมการวัดคุม

ปีการศึกษา 2554

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญานิพนธ์	**ลายมือชื่อ**
รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อปริญญานิพนธ์	ระบบการควบคุมทิศทางเรืออัตโนมัติสำหรับเรือไฟฟ้าด้วยระบบนำทางจีพีเอส AUTOMATIC CONTROL FOR ELECTRIC BOAT USING GPS NAVIGATION SYSTEM	
ชื่อนักศึกษา	นายศราวุธ ปัตถา	**รหัสประจำตัว** 63015167
	นายวัชรพล ยอดมงคล	**รหัสประจำตัว** 63015160
	นายอธิษฐ์ แก้วมณี	**รหัสประจำตัว** 63015197
อาจารย์ที่ปรึกษา	รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์	
ปีการศึกษา	2564	

บทคัดย่อ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อศึกษาระบบการควบคุมทิศทางเรืออัตโนมัติสำหรับเรือไฟฟ้าด้วยระบบนำทางจีพีเอส ให้สามารถเคลื่นที่และควบคุมทิศทาง ความเร็วไปยังจุดหมายที่กำหนด (Way point) โดยปราศจากมนุษย์ควบคุม โครงงานนี้ได้พัฒนาจากระบบควบคุมเรือด้วยจอยสติ๊กมาเป็นระบบควบคุมทิศทางเรืออัตโนมัติด้วยโปรแกรม Mission Planner เป็นโปรแกรมสั่งการควบคุมบอร์ด Pixhawk 2.4.8 สำหรับส่งสัญญาณการควบคุมการทำงานของมอเตอร์ขับเคลื่อนและเซอร์โวมอเตอร์เพื่อปรับทิศทางการเคลื่อนที่ของเรือให้ไปตามพิกัดและเส้นทางที่กำหนด โดยได้ทดสอบความถูกต้องของการใช้พิกัดตำแหน่งที่ได้จาก Mission Planner และทดสอบความถูกต้องของระบบประมวลผลบนพื้นดินนั้นพบว่าค่าความคลาดเคลื่อนของการบอกค่าตำแหน่งพิกัดของโมดูล GPS M8N จากผลการทดลองพบว่าอยู่ในช่วงที่ยอมรับได้ นอกจากนี้แล้ว จากการทดสอบภาคสนามแสดงให้เห็นว่าสามารถนำระบบที่ออกแบบนี้ไปใช้งานกับเรือไฟฟ้าได้จริง เช่น การสำรวจ การถ่ายภาพ และ การให้อาหารปลาแบบอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Thesis Title	Automatic control for electric boat using GPS navigation system	
Authors	Mr. Sarawut	Podtha
	Mr. Watcharapol	Yodmongkol
	Mr. Athit	Kaewmanee
Thesis Advisor	Assoc Prof. Dr. Taweepol	Sueusut
Year	2021	

ABSTRACT

This thesis is to study the automatic navigation system for electric boats with GPS. The electric boat can move to the specified destination (Way point) under the controlled direction and speed without human control. This project has been developed from a control system with a joystick to an automatic navigation system using Mission Planner program. This is a program to control the board Pixhawk 2.4.8 for sending signals to control the operation to drive motor and servo motor for adjusting the direction of the boat's movement according to the specified coordinates and route. From the experiment result, the accuracy of using the positioning coordinates obtained from the Mission Planner with the ground processing system using the M8N GPS module, it was found that it was in the acceptable range. In addition, field tests have shown that the designed system can be applied to electric boats such as surveying, photographing and automatic fish feeding as well.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

ปริญญานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ได้ด้วยดีเพราะการสนับสนุนอย่างเต็มที่ซึ่งทางคณะผู้จัดทำงานวิจัยนี้ต้องขอขอบคุณ รศ.ดร.ทวีพล ซื่อสัตย์ อาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัยนี้ที่คอยให้คำปรึกษาและช่วยเหลือด้านต่างๆ นอกจากนี้ทางคณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณอาจารย์ทุกท่านที่ได้มอบวิชาความรู้ที่สามารถนำมาประยุกต์ใช้ในงานวิจัยนี้ได้เป็นอย่างดี

ขอขอบคุณ คุณอเนก สร้อยทรัพย์ที่ให้คำแนะนำและสถานที่ทดสอบการทำงาน

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมศาสตร์การวัดและควบคุม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่ให้การสนับสนุนสถานที่สำหรับทำการดำเนินงาน

ขอขอบพระคุณบุคคลที่สำคัญที่สุดคือ บิดา มารดาอันเป็นที่รักและเคารพยิ่ง ที่ให้โอกาสทางการศึกษาและสนับสนุนทุนทรัพย์อย่างเต็มที่และคอยในกำลังใจเสมอมาอันหาที่เปรียบมิได้ จึงขอระลึกถึงพระคุณบิดา มารดา และขอกราบขอบพระคุณ ณ ที่นี้ด้วย

คณะผู้จัดทำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	**I**
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	**II**
กิตติกรรมประกาศ	**III**
สารบัญ	**IV**
สารบัญตาราง	**VI**
สารบัญรูปภาพ	**VII**
บทที่ 1 บทนำ	**1**
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของปริญานิพนธ์	1
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ขั้นตอนการศึกษา	2
1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 อุปกรณ์ ทฤษฎีเอกสารที่เกี่ยวข้อง กรอบแนวคิด	**3**
2.1 หลักการทำงานของระบบ GPS	3
2.2 สูตรการคำนวณพิกัด และ GPS Module	11
2.3 ระบบควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ	12
2.4 บอร์ด Motor Drive รุ่น Evo24V120 Brushed DC	41
2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor)	44
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	**47**
3.1 โครงสร้างโครงสร้างของเรือไฟฟ้าการทำงานรวมกันระหว่างบอร์ด	47
3.2 Pixhawk และระบบควบคุมทิศทาง	51
3.3 การใช้งานโปรแกรมควบคุม	58
3.4 การคำนวณหาค่าพิกัด Error ทาง GPS	61

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญต่อ

	หน้า
บทที่ 4 ผลการทดลอง	**63**
4.1 ผลการทดลองกับสถานที่จริง	63
บทที่ 5 สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ	**69**
5.1 สรุปผลทดลอง	69
5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา	69
5.3 ข้อเสนอแนะ	70
บรรณานุกรม	**71**
ภาคผนวก	**72**

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง (PX4 และ ATmega2560)	17
ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ของระบบควบคุมเรือบังคับอัตโนมัติ	49
ตารางที่ 3.2 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านบน)	50
ตารางที่ 3.3 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านล่าง)	50

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 จานดาวเทียม GPS	4
รูปที่ 2.2 ตำแหน่งดาวเทียมขณะส่งสัญญาณ	5
รูปที่ 2.3 แผนที่นำทางด้วยระบบ GPS	6
รูปที่ 2.4 การตั้งค่าพิกัด	9
รูปที่ 2.5 พิกัดภูมิศาสตร์	9
รูปที่ 2.6 ระบบพิกัดกริด	10
รูปที่ 2.7 แบบการระบุตำแหน่งเช่น UTM (WGS84) 47P E.676027 N.1521184	10
รูปที่ 2.8 Map Datum	11
รูปที่ 2.9 GPS Module M8N with 3 Axis Compass	12
รูปที่ 2.10 บอร์ดควบคุม Pixhawk (Pixhawk, 2016)	16
รูปที่ 2.11 บอร์ดควบคุม (Ardupilot, 2016)	16
รูปที่ 2.12 Mission Planner	17
รูปที่ 2.13 การจูน Altitude Hold P	19
รูปที่ 2.14 การควบคุมตำแหน่งจากโหมด Loiter	20
รูปที่ 2.15 การโหมด AUTO รวมการควบคุมระดับความสูงจากโหมด AltHold	20
รูปที่ 2.16 การตั้งค่าโหมดการบินเป็น “Loiter”	22
รูปที่ 2.17 โหมดการนำทาง	23
รูปที่ 2.18 โหมด Loiter รวมตัวควบคุมระดับความสูงจากโหมด Alt Hold	23
รูปที่ 2.19 ค่า HDOP ในโหมด PosHold	24
รูปที่ 2.20 นำทางคอปเตอร์จากตำแหน่งปัจจุบัน	25
รูปที่ 2.21 หน้าต่างแสดงค่า โหมด Smart RTL	26
รูปที่ 2.22 จำลองการควบคุมการบินโหมดเต่า	27
รูปที่ 2.23 บินด้วยตนเอง Zig Zag ใช้ พารามิเตอร์ของโหมด Loiter	27
รูปที่ 2.24 การตรวจสอบ INS	30
รูปที่ 2.25 กำหนดค่าได้โดยใช้ Mission Planner	32
รูปที่ 2.26 โปรแกรม Qground control	32
รูปที่ 2.27 โปรแกรม Mission Planner	33
รูปที่ 2.28 วิธีเชื่อมต่อและกำหนดค่าวิทยุ	33

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.29 Pixhawk Output pins พินแรกมีรหัสสีสำหรับเชื่อมต่อ Quad frame	34
รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ 2 ประเภท	34
รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Quadcopter	35
รูปที่ 2.32 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Tricopter	35
รูปที่ 2.33 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Bicopter	35
รูปที่ 2.34 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Hexacopter	36
รูปที่ 2.35 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Octocopter	36
รูปที่ 2.36 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ OctoQuad	37
รูปที่ 2.37 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ DodecaHexacopter	37
รูปที่ 2.38 แสดงใบพัดสองประเภท: ตามเข็มนาฬิกา ทวนเข็มนาฬิกา	38
รูปที่ 2.39 การทดสอบมอเตอร์	39
รูปที่ 2.40 การต่อสาย Pixhawk เข้าอุปกรณ์ต่างๆ	40
รูปที่ 2.41 แสดงภาพรวมของบอร์ด EVO24V120	41
รูปที่ 2.42 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร	42
รูปที่ 2.43 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับ R/C Receiver	43
รูปที่ 2.44 แสดงลักษณะสัญญาณ PWM R/C ที่ใช้ในการควบคุมในรูปแบบ R/C Receiver Mode	43
รูปที่ 2.45 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับ ตัวต้านทานปรับค่าได้และปุ่มกด	44
รูปที่ 2.46 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์	45
รูปที่ 2.47 ไดอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดอะนาลอก	46
รูปที่ 3.1 Flowchart แสดงการทำงานของเรืออัตโนมัติ	47
รูปที่ 3.2 ภาพรวมของระบบ	47
รูปที่ 3.3 วงจรระบบควบคุมเรือบังคับอัตโนมัติ	48
รูปที่ 3.4 Pixhawk connectors (ด้านบน)	51
(ก) บอร์ด Pixhawk connectors	
(ข) ตัวเชื่อมต่อสัญญาณ PWM (ด้านล่าง)	
รูปที่ 3.5 รูปทรงออกแบบเรืออัตโนมัต	52
รูปที่ 3.6 หางเสือเรือ	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป (ต่อ)

รูปที่	หน้า
รูปที่ 3.7 ติดตั้งตู้คอนโทรล	53
รูปที่ 3.8 ติดตั้งชุดวางเซอร์โว	53
รูปที่ 3.9 ติดตั้งฟิวส์ สวิตช์ และ ปุ่ม RESET	54
รูปที่ 3.10 ทดสอบน้ำหนัก	54
(ก) ทดสอบน้ำหนัก 1 คน	
(ข) ทดสอบน้ำหนัก 2 คน	
(ค) ทดสอบน้ำหนัก 3 คน	
รูปที่ 3.12 เรืออัตโนมัติที่เสร็จสมบูรณ์	54
รูปที่ 3.13 ตั้งค่า Software	55
รูปที่ 3.14 ลง Firmware	55
รูปที่ 3.15 เลือก Calibrate Level	55
รูปที่ 3.16 วางบอร์ด Pixhawk เป็นแนวนอน แล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	56
รูปที่ 3.17 วางบอร์ดไว้ทางด้านซ้ายแล้วกดแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	56
รูปที่ 3.18 วางบอร์ดไว้ทางด้านขวาแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	57
รูปที่ 3.19 วางบอร์ดลงและแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	57
รูปที่ 3.20 วางบอร์ดขึ้นและกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	57
รูปที่ 3.21 วางบอร์ดไว้ที่ด้านหลังแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า	58
รูปที่ 3.22 หมุนกล่องคอนโทรล Pixhawk 2.4.8 360 องศา	58
รูปที่ 3.23 Compass เสร็จสิ้น	59
รูปที่ 3.24 การตั้งค่าเซอร์โว	59
รูปที่ 3.25 Flight Modes	60
รูปที่ 3.26 รีโมท	60
(ก) แสดงการตั้งค่า	
(ข) Flight Modes	
รูปที่ 4.1 Waypoint รูปสี่เหลี่ยม	64
รูปที่ 4.2 Waypoint รูปวงกลม	66
รูปที่ 4.3 Waypoint รูปสลับฟันปลา	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ในปัจจุบันทั่วโลกเริ่มให้ความสนใจกับเทคโนโลยีด้านการนำทางไร้คนขับ เพื่อลดการใช้แรงงานคนและความอัตรายจากการบังคับ ทางกลุ่มผู้พัฒนาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของการประยุกต์การนำทางไร้คนขับ จึงได้ริเริ่มพัฒนาระบบควบคุมเรืออัตโนมัติตามพิกัดของ GPS เพื่อความสะดวกสบายและลดภาระของกัปตันเรือได้

หลักการทำงานของระบบควบคุมเรืออัตโนมัติตามพิกัดของ GPS ใช้ระบบ GPS (Global Positioning Satellite System) ในระบบนำร่อง (Navigation system) เพื่อควบคุมให้เรือสามารถเคลื่อนที่ไปยังพื้นที่เป้าหมายได้โดยอัตโนมัติ

ทางผู้พัฒนาได้เล็งเห็นถึงความสำคัญของระบบควบคุมเรืออัตโนมัติตามพิกัดของ GPS จึงอยากนำอัลกอริทึมที่มีความซับซ้อนเพื่อให้ส่งผลต่อความต้องการหน่วยประมวลผลประสิทธิภาพสูงและความเสถียรของการนำทาง

1.2 วัตถุประสงค์ของปริญญานิพนธ์

1. เพื่อพัฒนาระบบควบคุมเรืออัตโนมัติตามพิกัดของ GPS
2. เปรียบเทียบและวิเคราะห์การกำหนดพิกัดตำแหน่งด้วยโปรแกรม Mission planner และโมดูล GPS
3. สร้างระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของเรือเกษตรโดยอัตโนมัติด้วยระบบนำทาง GPS และไมโครคอนโทรลเลอร์
4. เพื่อสะดวกสบายของผู้ใช้งาน
5. ลดการใช้แรงงานคน

1.3 ขอบเขตของปริญญานิพนธ์

1. สามารถควบคุมเรือจากต้นทางไปปลายทางและสามารถกลับมาจุดเริ่มต้น
2. นำระบบควบคุมเรืออัตโนมัติไปใช้ควบคุมเรือไฟฟ้า
3. ใช้ในพื้นที่เปิดจะรับสัญญาณดาวเทียมได้ดี
4. ต้องใช้ GPS ในการนำทาง
5. ใช้กับขนาดบ่อที่มีพื้น 5-14 ไร่

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

1.4 ขั้นตอนของการศึกษา

1. ศึกษาหลักการทำงานของระบบ GPS
2. ศึกษาการตั้งค่าของโปรแกรม mission planner
3. ศึกษาการทำงานของบอร์ด Pixhawk 2.4.8

1.5 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1. มีความรู้ความเข้าใจหลักการทำงานของระบบ GPS
2. มีความรู้ในด้านการทำงานของโปรแกรม mission planner
3. มีความรู้ในด้านการทำงานของบอร์ด Pixhawk 2.4.8

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2
ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 หลักการทำงานของระบบ GPS

GPS คือ ระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ย่อมาจากคำว่า Global Positioning System ซึ่งระบบ GPS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ

1. ส่วนอวกาศ ประกอบด้วยเครือข่ายดาวเทียมหลัก 3 ค่าย คือ อเมริกา รัสเซีย ยุโรป

- ของอเมริกา ชื่อ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS) มีดาวเทียม 28 ดวง ใช้งานจริง 24 ดวง อีก 4 ดวงเป็นตัวสำรอง บริหารงานโดย Department of Defenses มีรัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กม.หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้ เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง
- ยุโรป ชื่อ Galileo มี 27 ดวง บริหารงานโดย ESA หรือ European Satellite Agency จะพร้อมใช้งานในปี 2008
- รัสเซีย ชื่อ GLONASS หรือ Global Navigation Satellite บริหารโดย Russia VKS (Russia Military Space Force)

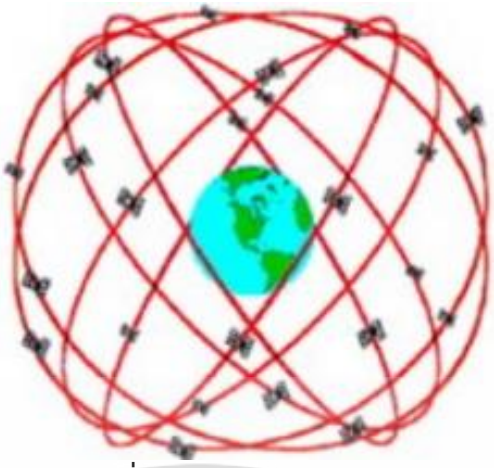
ในขณะนี้ภาคประชาชนทั่วโลกสามารถใช้ข้อมูลจากดาวเทียมของทางอเมริกา (NAVSTAR) ได้ฟรี เนื่องจาก นโยบายสิทธิการเข้าถึงข้อมูลและข่าวสารสำหรับประชาชนของรัฐบาลสหรัฐ จึงเปิดให้ประชาชนทั่วไปสามารถใช้ข้อมูลดังกล่าวในระดับความแม่นยำที่ไม่เป็นภัยต่อความมั่นคงของรัฐ กล่าวคือมีความแม่นยำในระดับบวก / ลบ 10 เมตร

2. ส่วนควบคุม ประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่อยู่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศอเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก

3. ส่วนผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแปรรหัสจากดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ

ทุกวันนี้บางท่านมักจะเข้าใจผิดว่า GPS เป็น GPRS ซึ่ง GPRS ย่อมาจากคำว่า General Packet Radio Service เป็นระบบสื่อสารแบบไร้สายสำหรับโทรศัพท์มือถือ หรือ PDA หรือ notebook เพื่อเชื่อมต่อกับ internet

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.1 จานดาวเทียม GPS

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

ดาวเทียม GPS (Navstar) ประกอบด้วยดาวเทียม 24 ดวง โดยแบ่งเป็น 6 รอบวงโคจร การจรจะเอียงทำมุมเอียง 55 องศากับเส้นศูนย์สูตร (Equator) ในลักษณะสานกันคล้าย ลูกตะกร้อแต่ละวงโคจรมีดาวเทียม 4 ดวง รัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กม. หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้ เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง

GPS ทำงานโดยการรับสัญญาณจากดาวเทียมแต่ละดวง โดยสัญญาณดาวเทียมนี้ประกอบไปด้วยข้อมูลที่ระบุตำแหน่งและเวลาขณะส่งสัญญาณ ตัวเครื่องรับสัญญาณ GPS จะต้องประมวลผลความแตกต่างของเวลาในการรับสัญญาณเทียบกับเวลาจริง ณ ปัจจุบันเพื่อแปรเป็นระยะทางระหว่างเครื่องรับสัญญาณกับดาวเทียมแต่ละดวง ซึ่งได้ระบุมีตำแหน่งของมันมากับสัญญาณดังกล่าวข้างต้น

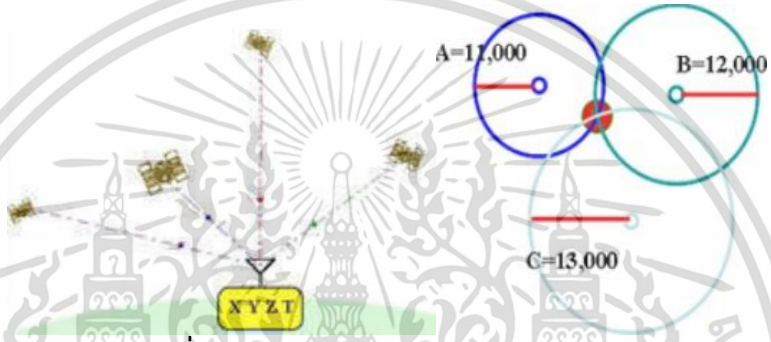
เพื่อให้เกิดความแม่นยำในการค้นหาตำแหน่งด้วยดาวเทียม ต้องมีดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง เพื่อบอกตำแหน่งบนผิวโลก ซึ่งระยะห่างจากดาวเทียมทั้ง 3 กับเครื่อง GPS (ที่จุดสีแดง) จะสามารถระบุตำแหน่งบนผิวโลกได้ หากพื้นโลกอยู่ในแนวระนาบแต่ในความเป็นจริงพื้นโลกมีความโค้ง เนื่องจากสัณฐานของโลกมีลักษณะกลม ดังนั้นดาวเทียมดวงที่ 4 จะทำให้สามารถคำนวณเรื่องความสูงเพื่อทำให้ได้ตำแหน่งที่ถูกต้องมากขึ้น

นอกจากนี้ความแม่นยำของการระบุตำแหน่งนั้นขึ้นอยู่กับตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวง กล่าวคือถ้าระยะห่างระหว่างดาวเทียมที่ใช้งานอยู่ห่างกันย่อมให้ค่าที่แม่นยำกว่าที่อยู่ใกล้กัน และยิ่งมีจำนวนดาวเทียมที่รับสัญญาณได้มากก็ยิ่งให้ความแม่นยำมากขึ้น ความแปรปรวนของชั้นบรรยากาศ ชั้นบรรยากาศประกอบด้วยประจุไฟฟ้า ความชื้น อุณหภูมิ และความหนาแน่นที่แปรปรวนตลอดเวลา คลื่นเมื่อตกกระทบ กับวัตถุต่างๆ จะเกิดการหักเหทำให้สัญญาณที่ได้อ่อนลง และสิ่งแวดล้อมในบริเวณรับสัญญาณเช่นมีการบดบังจากกระจก ละอองน้ำ ใบไม้ จะมีผลต่อค่าความถูกต้องของความแม่นยำ เนื่องจากถ้าสัญญาณจากดาวเทียมมีการหักเหก็จะทำให้ค่าที่คำนวณได้จากเครื่องรับสัญญาณเพี้ยนไป และสุดท้ายก็คือประสิทธิภาพของเครื่องรับสัญญาณว่ามีความไวในการรับสัญญาณแค่ไหน และความเร็วในการประมวณผลด้วย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การวัดระยะห่างระหว่างดาวเทียมกับเครื่องรับทำได้โดยใช้สูตรคำนวณ ระยะทาง = ความเร็ว * ระยะเวลา วัดระยะเวลาที่คลื่นวิทยุส่งจากดาวเทียมมายังเครื่องรับ GPS คูณด้วยความเร็วของคลื่นวิทยุจะเท่ากับระยะทางที่เครื่องรับ อยู่ห่างจากดาวเทียม โดยเวลาที่วัดได้มาจากนาฬิกาของดาวเทียมที่มีความแม่นยำสูงมีความละเอียดถึงนาโนวินาที และมีการสอบทวนเสมอๆกับสถานีภาคพื้นดิน

องค์ประกอบสุดท้ายก็คือตำแหน่งของดาวเทียมแต่ละดวงในขณะที่ส่งสัญญาณมาว่าอยู่ที่ใด (Almanac) มายังเครื่องรับ GPS โดยวงโคจรของดาวเทียมได้ถูกกำหนดไว้ล่วงหน้าแล้วเมื่อถูกส่งขึ้นสู่อวกาศ สถานีควบคุมจะคอยตรวจสอบการโคจรของดาวเทียมอยู่ตลอดเวลาเพื่อทวนสอบความถูกต้อง



รูปที่ 2.2 ตำแหน่งดาวเทียมขณะส่งสัญญาณ

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

2.1.1 ระบบนำทางด้วย GPS

ก่อนอื่นผู้ใช้จะต้องมีเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมหรือมีอุปกรณ์นำทาง เมื่อผู้ใช้นำเครื่องไปใช้งานมีการเปิดรับสัญญาณ GPS แล้วตัวโปรแกรมจะแสดงตำแหน่งปัจจุบันบนแผนที่ แผนที่สำหรับนำทางจะเป็นแผนที่พิเศษที่มีการกำหนดทิศทางการจราจร เช่น การจราจรแบบชิดซ้ายหรือชิดขวา ข้อมูลการเดินรถทางเดียว จุดสำคัญต่างๆ ข้อมูลทางภูมิศาสตร์ต่างๆ ฝังไว้ในข้อมูลแผนที่ที่ได้ทำการสำรวจและตั้งค่าไว้แล้ว ในแต่ละทางแยกก็จะมีการกำหนดค่าเอาไว้ด้วยเช่นกันเพื่อให้ตัวโปรแกรมทำการเลือกการเชื่อมต่อของ เส้นทางจนถึงจุดหมายที่ได้เลือกไว้เสียงนำทางก็จะ ทำงานสอดคล้องกับการเลือกเส้นทาง เช่นถ้าโปรแกรมเลือกเส้นทางที่จะต้องไปทางขวาก็จะกำหนดให้มีการแสดงเสียง เตือนให้เลี้ยวขวา โดยแต่ละโปรแกรมก็จะมีการกำหนดเตือนไว้ล่วงหน้าว่าจะเตือนก่อนจุดเลี้ยวเท่าใด ส่วนการแสดงทิศทางก็จะมีการบอก ไว้ล่วงหน้าเช่นกันแล้วแต่ว่าจะกำหนดไว้ล่วงหน้ากี่จุด บางโปรแกรมก็กำหนดไว้จุดเดียว บางโปรแกรมกำหนดไว้สองจุด หรือบางโปรแกรม ก็สามารถเลือกการแสดงได้ตามความต้องการของผู้ใช้การคำนวณเส้นทางนี้จะถูกคำนวณให้เสร็จตั่งแต่แรกและตัวโปรแกรมจะแสดงผลทั้งภาพและเสียงตามตำแหน่งจริงที่อยู่ ณ.จุดนั้นๆ หากมี การเดินทางออกนอกเส้นทางที่ได้กำหนดไว้ เครื่องจะทำการเตือนให้ผู้ใช้ทราบและจะคำนวณให้พยายามกลับสู่เส้นทางที่ได้วางแผนไว้ก่อน หากการออกนอกเส้นทางนั้นอยู่เกินกว่าค่าที่กำหนดไว้ก็จะมีการคำนวณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เส้นทางให้ใหม่เองอัตโนมัติเมื่อเครื่องคำนวณเส้นทางให้ผู้ใช้สามารถดูเส้นทางสรุปได้ล่วงหน้า หรือแสดงการจำลองเส้นทางก็ได้ โปรแกรมนำทางบางโปรแกรมมีความ สามารถกำหนดจุดแวะได้หลายจุดทำให้ผู้ใช้สามารถกำหนดให้การนำทางสอดคล้องกับการเดินทางมากที่สุด หรืออาจใช้ในการหลอกเครื่อง เพื่อให้นำทางไปยังเส้นทางที่ต้องการแทนที่เส้นทางที่เครื่องคำนวณได้ บางโปรแกรมก็มีทางเลือกให้หลีกเลี่ยงแบบต่างๆเช่น เลี่ยงทางผ่านเมือง เลี่ยงทางด่วน เลี่ยงทางกลับรถ เป็นต้น

2.1.2 แผนที่นำทางด้วย GPS

นอกจากผู้ที่ใช้ระบบ GPS จะต้องมีเครื่องรับสัญญาณ GPS หน่วยประมวลผลโปรแกรมแผนที่และข้อมูลแผนที่ขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์การใช้งาน ในรูปแบบต่างๆ การรับสัญญาณจากดาวเทียมไม่ต้องเสียค่าใช้จ่าย ส่วนการใช้งานในรูปแบบที่ใช้ประกอบกับแผนที่จะมีค่าใช้จ่ายในเรื่องของ แผนที่แตกต่างกันไปขึ้นอยู่กับบริษัทที่จัดทำแผนที่ ในประเทศไทยมีผู้จัดทำแผนที่เพื่อใช้กับ GPS รายใหญ่ๆได้แก่ GARMIN, POWER MAP, Speed Naviนอกจากความเฉพาะของแผนที่นำทางจะไม่สามารถนำมาใช้ต่างค่ายได้แล้ว แผนที่ยังมีความเฉพาะสำหรับเครื่องแต่ละเครื่องด้วยคือไม่สามารถนำแผนที่จากเครื่องหนึ่งไปใช้กับเครื่องอื่นได้ จะต้องมีการป้อนรหัสที่ทางบริษัทจัดให้จึงจะสามารถใช้งานได้การสร้างแผนที่นำทางจะเริ่มจากการใช้ภาพถ่ายทางอากาศจากดาวเทียมมาต่อซ้อนกันเหมือนการปูกระเบื้องเพื่อให้เห็นภาพรวมของภูมิประเทศ แล้วจึงไปกำหนดจุดอ้างอิงทางภูมิศาสตร์ (calibrate) เป็นค่าพิกัดดาวเทียม แล้วจึงมีการสร้างข้อมูลต่างๆ เช่น ถนน สถานที่สำคัญจุดสนใจ เป็นชั้นๆ (layer) แล้วนำมาประกอบกันเป็นแผนที่นำทางการสร้างข้อมูลทางภูมิศาสตร์จะต้องมีการสำรวจภาคสนามซึ่งต้องใช้บุคคลากรทรัพยากรจำนวนมาก และต้องทำอย่างสม่ำเสมอเนื่องจากมีการเปลี่ยนแปลงตลอดเวลา จึงทำให้การสร้างแผนที่มีต้นทุนที่สูง

รูปที่ 2.3 แผนที่นำทางด้วยระบบ GPS

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.3 อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับการนำทางด้วย GPS ประกอบด้วยอะไรบ้าง

- อุปกรณ์ที่ใช้ร่วมกับการนำทางด้วย GPS ประกอบด้วย
    - ตัวรับสัญญาณดาวเทียม (GPS Receiver Module)
    - หน่วยประมวลผล (CPU)
    - โปรแกรมการนำทาง (Application Software)
    - ข้อมูลแผนที่นำทาง (Map Data)

ปัจจุบันนี้มีเครื่อง GPS ที่มีครบทุกอย่างในตัวเอง ซึ่งจะมีความสะดวกในการใช้งานและมีความเสถียรสูงได้แก่ PND (Personal / Portable Navigation Device) หรือแบบที่ใช้ GPS receiver ร่วมกับ PDA (Personal Digital Assistant) / Pocket PC / โน้ตบุ๊ก / Smart phone เป็นต้น หรือใน Smart Phone รุ่นใหม่ๆก็จะมี GPS มาให้พร้อมเลือกใช้หลายรุ่น ทำให้สะดวกในการใช้งานยามหลงทางหรือใช้งานหาสถานที่ใกล้เคียงนอกจากอุปกรณ์หลักแล้วยังมีอุปกรณ์เสริม เช่น เสารับสัญญาณภายนอกแบบติดเฉพาะเครื่องต่อเครื่อง หรือ ตัวกระจายคลื่น (GPS radiator) เพื่อให้สามารถใช้ GPS ได้ในที่อับสัญญาณ เช่นในรถที่ติดฟิล์มที่มีสารโลหะอยู่ (หรือที่เรียกกันว่า"ฉาบปรอท") หรือในอาคาร

2.1.4 การประยุกต์ใช้งาน

ปัจจุบันนี้ได้มีการใช้งานในรูปแบบต่างๆดังนี้

- การกำหนดพิกัดของสถานที่ต่าง ๆ การทำแผนที่ โดยส่านใหญ่นิยมใช้อุปกรณ์ที่สามารถพกพาไปได้
- ง่าย มีความทนทาน กันน้ำได้ สามารถใช้กับถ่านไฟฉายขนาดมาตรฐานได้
- การนำทาง ได้รับความนิยมอย่างกว้างขวางมีหลากหลายแบบและขนาด สามารถนำทางได้ทั้งภาพและเสียง ใช้ได้หลายภาษา บางแบบมีภาพเสมือนจริง ภาพสามมิติ และประสิทธิภาพอื่นๆเพิ่มเติมเช่น

multimedia Bluetooth hand free เป็นต้น

- การวางแผนการใช้ประโยชน์ที่ดิน: โครงข่ายหมุดดาวเทียม GPS ของกรมที่ดิน (DOLVRS)
- การกำหนดจุดเพื่อบรรเทาสาธารณะภัย เช่น เสื้อกั๊กชูชีพที่มีเครื่องส่งสัญญาณจีพีเอส
- วางผังสำหรับการจัดส่งสินค้า
- การนำไปใช้ประโยชน์ในขบวนการยุติธรรม เช่นการติดตามบุคคล
- การติดตามการค้ายาเสพติด ฯลฯ ดูรายละเอียด GPS เพื่อการติดตาม
- การนำไปใช้ประโยชน์ทางทหาร ดูรายละเอียดเกี่ยวกับอนาคต GPS ทางทหารจากกระทรวงกลาโหมสหรัฐที่นี่ The Future of the Global Positioning System

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- การกีฬา เช่นใช้ในการฝึกฝนเพื่อวัดความเร็ว ระยะทาง แคลลอรี่ที่เผาผลาญ ดูรายละเอียด อุปกรณ์ GPS สำหรับกิจกรรมกลางแจ้ง หรือ ใช้ในสนามกอล์ฟเอคำนวณระยะจากจุดที่อยู่ถึงหลุม
- การสันทนาการ เช่น กำหนดจุดตกปลา หาระยะเวลาที่เหมาะสมในการตกปลา การวัดความเร็วระยะทาง บันทึกเส้นทาง เครื่องบิน/รถบังคับวิทยุ ระบบการควบคุมหรือติดตามยานพาหนะ
- การติดตามบุคคล เพื่อให้ทราบว่ายานพาหนะอยู่ที่ใด มีการเคลื่อนที่หรือไม่ มีการแจ้งเตือนให้กับผู้ติดตามเมื่อมีการเคลื่อนที่เร็วกว่าที่กำหนดหรือเคลื่อนที่ออกนอกพื้นที่หรือเข้าสู่พื้นที่ที่กำหนด นอกจากนั้นยังสามารถนำไปใช้ในการป้องกันการโจรกรรมและติดตามทรัพย์สินคืน ดูรายละเอียด ระบบติดตาม
- การนำข้อมูล GPS มาประกอบกับภาพถ่ายเพื่อการท่องเที่ยว การทำรายงานกิจกรรม เป็นต้น โดยจะต้องมีเครื่องรับสัญญาณ ดาวเทียมติดตั้งอยู่กับกล้องบางรุ่นหรือการใช้ GPS Data Logger ร่วมกับ Software

2.1.5 การใช้ระบบ GPS ในชีวิตประจำวัน

ทุกวันนี้มีการใช้อุปกรณ์ GPS กันอย่างกว้างขวาง และประชาชนมีความรู้เรื่อง GPS เป็นอย่างดี เพราะได้มีการใช้ งานมานานระยะหนึ่งแล้ว และมีระบบเชื่อมโยงข้อมูลการจราจรในรูปแบบของดิจิตอล เช่น ในรถแท็กซี่จะพบอุปกรณ์ GPS เพื่อหลีกเลี่ยงเส้นทางที่มีการจราจรคับคั่ง หรือการขับรถเพื่อท่องเที่ยวก็จะมีการแนะนำเส้นทางท่องเที่ยวพร้อมสถานที่น่าสนใจต่างๆ เช่น ร้านอาหาร ที่พัก จุดชมวิว แหล่งท่องเที่ยว เป็นต้น และนักเดินทางก็มักจะพกอุปกรณ์ GPS ในรูปแบบ PND หรือ Smart Phone ที่ลง Application Software สำหรับการนำทาง เช่น Google Map แทนการพกพาสมุดแผนที่อย่างในอดีต ปัจจุบันนี้ระบบ GPS สามารถ ค้นหาถึงระดับบ้านเลขที่หรือเบอร์โทรศัพท์และนำทางไปสู่เป้าหมายได้อย่างถูกต้องในปัจจุบันนอกจากฟังก์ชั่นการนำทางพื้นฐานแล้วก็ยังมีการเตือนทางโค้ง จุดด่านเก็บเงิน จุดที่มักจะมีการตรวจจับความเร็ว ตำแหน่งกล้องตรวจจับการฝ่าฝืนกฎจราจร การกำหนดความเร็วในถนนแต่ละสาย ข้อมูลการท่องเที่ยวพร้อมรายละเอียดพร้อม ภาพประกอบ ข้อมูลร้านอาหารอร่อย ภาพเสมือนจริง ข้อมูลจราจร TMC หรือ (Traffic Message Channel)การใช้ GPS ในการติดตามก็มีการใช้งานอย่างแพร่หลายเช่น รถบรรทุก รถยนต์สาธารณะ รถพยาบาล รถตำรวจ รถโรงเรียน เรือประมง ฯลฯ เพื่อ การบริหารกลุ่มรถ (Fleet Management), ความปลอดภัย, ติดตามและบันทึกพฤติกรรมการใช้งานยานพาหนะ, การกำหนดพื้นที่ปฏิบัติติงาน เป็นต้น

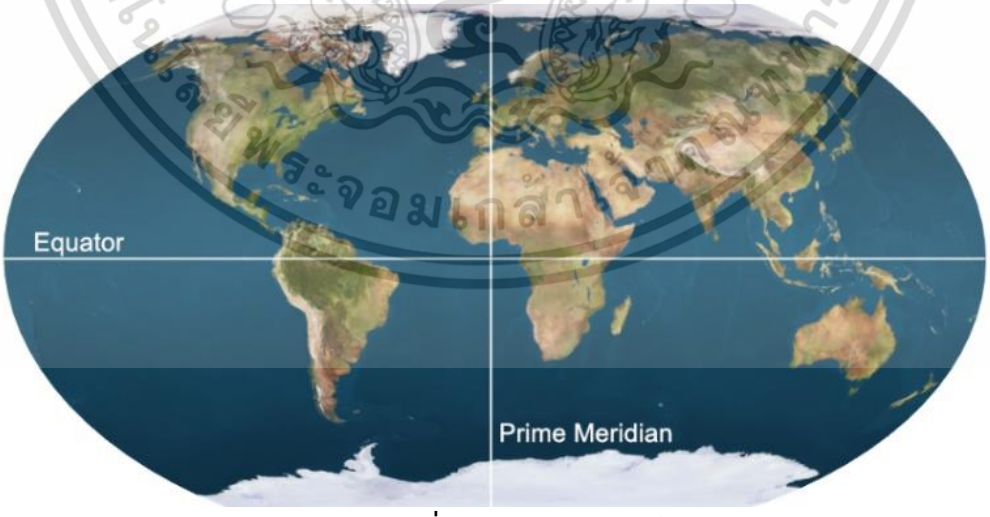
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.4 การตั้งค่าพิกัด

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

2.1.6 ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System - GCS)

เป็นระบบที่ใช้กำหนดจุดต่างๆบนพื้นโลกด้วยตัวเลข 3 กลุ่ม คือ ความสูงจากระดับทะเลปานกลาง(elevation) และตัวเลขอีกสองกลุ่มเป็น พิกัดแนวระนาบเป็นค่าระยะเชิงมุม จากเส้นศูนย์สูตร ละติจูด (Latitude) และ ค่าระยะเชิงมุม จากเส้น Prime Meridian เป็นลองจิจูด (Longitude)เส้นศูนย์สูตร (Equator) กำหนดขึ้นจากแนวระดับที่ตัดผ่านศูนย์กลางของโลกและตั้งฉากกับแกนหมุน ซึ่งแบ่งโลกออกเป็นซีกโลกเหนือและซีกโลกใต้ เส้นละติจูด (Latitude) จะเริ่มจากศูนย์สูตรเป็น 0 องศา ไปจนถึงขั้วโลกเป็น 90 องศาเหนือ และ ใต้เส้นพรามเมอริเดียน (Prime Meridian) เป็นเส้นที่กำหนดขึ้นโดยลากผ่านเมือง Greenwich ประเทศอังกฤษไปจรดขั้วโลกเหนือและใต้ โดยจะแบ่งโลกออกเป็นซีกตะวันออกและตะวันตก เส้นลองจิจูด (Longitude)จะเริ่มจากเส้นพรามเมอริเดียนเป็น 0 องศา และไปสุดที่ 180 องศา ตะวันออก และ 180 องศาตะวันตก

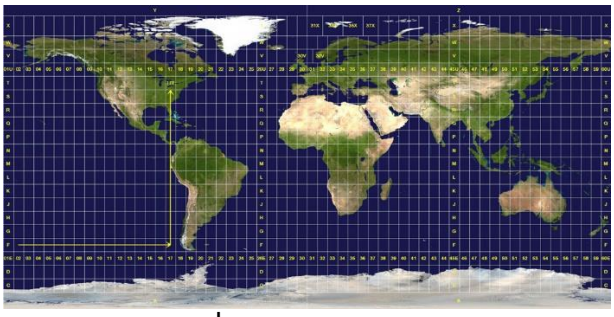


รูปที่ 2.5 พิกัดภูมิศาสตร์

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

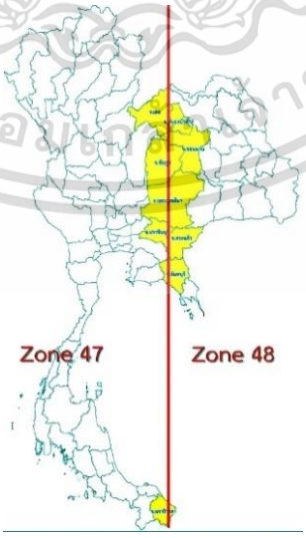
2.1.7 ระบบพิกัดกริด (Grid Coordinate) หรือ UTM



รูปที่ 2.6 ระบบพิกัดกริด

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

ระบบนี้สร้างขึ้นจากการยืดส่วนโค้งทรงกลมของโลกให้เป็นทรงกระบอกแล้วแผ่ให้เป็นระนาบแบน แล้วจะใช้ตารางแบ่งโลกออกเป็นส่วนๆ โดยเริ่มจากขั้วโลกใต้ โดยแนวตั้งจากใต้ไปเหนือตามแนวเส้นละติจูดแทนด้วยตัวอักษร C - X ยกเว้น I และ O (ส่วน A,B เป็นขั้วโลกใต้ Y,Z เป็นขั้วโลกเหนือ) เริ่มจาก C ที่ ละติจูด 80 องศาใต้ (ช่วงละ 8 องศาไปจนถึงเส้นขนานละติจูด 72 องศาเหนือ และจากเส้นละติจูด 72-84 องศาเหนือ เป็นช่องละ 12 องศา) ทั้งหมด 20 ส่วน จนถึง X ที่ละติจูด 84 องศาเหนือ และแบ่งแนวตะวันตกไปตะวันออก เขตละ 6 องศา รวมเป็น 60 เขต (Zone) แทนด้วยตัวเลขเริ่มจากเส้น Meridian 180 องศาตะวันตก เป็น 01 ไปจนถึง 174 องศาตะวันตก เป็น 60 ทำให้บนพื้นโลก แต่ละช่วงเป็นตารางพื้นที่สี่เหลี่ยมเรียกว่า เขตกริด (Grid zone) ซึ่งมีทั้งหมด 1,200 โซน แล้วจะใช้ชุดเลขพิกัด Northing (เหนือ ตามแนวตั้ง) และ Easting (ตะวันออก ตามแนวนอน) บอกตำแหน่ง โดยเลขของ Northing และ Easting จะมีหน่วยเป็นเมตรสำหรับประเทศไทย อยู่ในโซน 47 และ 48 โดยเส้นแบ่งโซนนี้อยู่ระหว่างจังหวัด เลย หนองบัวลาภู (บางส่วน) ขอนแก่น ชัยภูมิ นครราชสีมา สระแก้ว ปราจีนบุรี จันทบุรี และ นราธิวาส (บางส่วน)



รูปที่ 2.7 แบบการระบุตำแหน่งเช่น UTM (WGS84) 47P E.676027 N.1521184

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

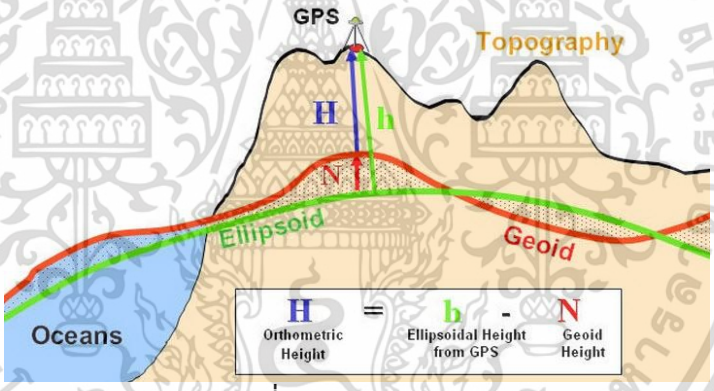
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.1.8 Map Datum

ในประเทศไทยมีการใช้ Map Datum หลักอยู่สองแบบ คือ

1. แบบ Indian1975 ซึ่งเป็นระบบเก่า เริ่มใช้เมื่อปี ค.ศ. 1975 หรือ พ.ศ.2518 โดยองค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหม สหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center : DMAHTC) ในแผนที่ของหน่วยงานฉบับเก่าๆยังอาจมีการอ้างอิงจาก Map Datum นี้อยู่

2. WGS84 (World Geodetic System | WGS 1984 | EPSG:4326) เป็น Map Datum ที่เริ่มใช้เมื่อปี ค.ศ. 1984 และปรับปรุงเมื่อ ปี 2004 เป็นระบบที่นำมาใช้กับ GPS โดยปรับแก้ไขความคลาดเคลื่อนของพื้นผิวของโลกที่ความผันแปรของระดับน้ำทะเล (geoid) ความสูงต่ำของพื้นผิว (topography) และลักษณะทรงรี (ellipsoid) ของโลก โดยอาศัยจุดอ้างอิงจากจุดศูนย์กลางของโลก ทำให้การคำนวณพิกัดต่างๆของดาวเทียมที่ โคจรอยู่รอบโลก หรือการดำน้ำของเรือดำน้ำ แม่นยำขึ้น และสามารถใช้ในการศึกษาการเปลี่ยนแปลงของสภาพภูมิศาสตร์โลกได้ละเอียดขึ้น ในประเทศไทย กรมแผนที่ทหารเป็นผู้เริ่มนำ WGS84 มาใช้ และหน่วยงานราชการต่างๆและเอกชนก็ได้หันมาใช้กันอย่างแพร่หลายการกำหนด Map Datum ให้ถูกต้องมีความสำคัญมากต่อความถูกต้องในการระบุพิกัด เพราะถ้าอ้างอิง Map Datum ต่างกันค่าที่ได้จะแตกต่างกันมาก



รูปที่ 2.8 Map Datum

ที่มา: https://www.global5thailand.com/thai/gps.htm

2.2 สูตรการคำนวน และ GPS Module

(Global Positioning System) หรือ ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลก คือระบบที่ระบบตำแหน่งทุกแห่งบนโลก จากกลุ่มดาวเทียม 24 ดวง ที่โคจรอยู่รอบโลกในระดับความสูงที่พ้นจากคลื่นวิทยุรบกวนของโลกและเป็นวิธีการที่สามารถให้ความถูกต้องเพียงพอที่จะใช้ชี้บอกตำแหน่งได้ทุกแห่งบนโลกตลอดเวลา 24 ชั่วโมงจากการนำมาใช้งานจริงจะให้ความถูกต้องสูง โดยที่ความคลาดเคลื่อนมาตรฐานของตำแหน่งทางราบที่ต่ำกว่า 50 เมตร ซึ่งถ้าเป็นแบบวิธี อนุพันธ์ (Differential) จะให้ความถูกต้องถึงระดับเซนติเมตร และจากการพัฒนาทางด้านอุปกรณ์คอมพิวเตอร์ทำให้สามารถผลิตเครื่องรับ GPS ที่มีขนาดลดลง และมีราคาถูกลงกว่าเครื่องรับระบบ TRANSIT เดิมเป็นอันมาก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.9 GPS Module M8N with 3 Axis Compass
ที่มา: https://th.aliexpress.com/item/32963792130.html

2.2.1 สูตรคำนวณหาค่า Errors

สูตรคำนวณหาค่า Errors ระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง คือ ตำแหน่งที่ 1 ละติจูด1,ลองติจูด2 และ ตำแหน่งที่ 2 ละติจูด2,ลองติจูด2

ความหมาย

c = ความห่างระหว่าง 2 ตำแหน่ง

dlat = ค่าที่ lat1 lat2 ลบกัน

dlog = ค่าที่ log1 lat2 ลบกัน

องศา = ระยะห่างระหว่างเส้นละติจูด 1 องศา คิดเป็นระยะทางบนผิวพิภพประมาณ 111 กิโลเมตร

Km = กิโลเมตร

หา dlat = lat 1 - lat 2

หา dlog = log 1 – log 2

ดังนั้นสูตรระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง คือ

$$c = \sqrt{(dlat^2 + dlog^2)}$$

แปลงเป็น km = องศา/(องศา/km)

แปลงเป็น m = 1000 x km

2.3 ระบบควบคุมอากาศยานไร้นักบินอัตโนมัติ

เนื่องด้วยงบประมาณที่มีอยู่อย่างจำกัด การศึกษาเทคโนโลยีต้นทุนต่ำเพื่อสร้างและควบคุมอากาศยานไร้นักบินจึงเป็นสิ่งสำคัญ อีกทั่งเพื่อความสะดวกในการจัดหาและเรียนรู้ชุดควบคุมการบินประกอบไปด้วยบอร์ดควบคุมและโปรแกรมควบคุม โดยบอร์ดควบคุมที่ถูกใช้งานอย่างแพร่หลายคือ Pixhawk และ APM2.6 อธิบายรายละเอียดดังนี้

Pixhawk ถูกพัฒนาขึ้นโดย Lorenz Meier จากมหาวิทยาลัย ETH Zurich (Swiss Federal Institute of Technology in Zurich) ในปี 2009 โดยเป็นบอร์ดที่ประกอบ Flight management

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

unit และ Input/Output โดยมีสิ่งอำนวยความสะดวกทางการบินครบครัน อาทิ เซนเซอร์ตรวจวัดท่าทางการบิน เซนเซอร์ตรวจวัดความสูง ระบบติดต่อสื่อสารระหว่างอากาศยานและภาคพื้น อีกทั้งสามารถติดตัง GPS สำหรับระบุตำแหน่ง ติดตั้ง Optical flow สำหรับเพิ่มความแม่นยำในการรักษาตำแหน่ง เมื่อทำการบินในอาคาร

2.3.1 Software and Hardware

ชุดซอฟต์แวร์ (Software suite) ArduPilot ประกอบด้วยซอฟต์แวร์การนำทาง (โดยทั่วไปเรียกว่าเฟิร์มแวร์เมื่อคอมไพล์เป็นรูปแบบไบนารีสำหรับเป้าหมายฮาร์ดแวร์ไมโครคอนโทรลเลอร์) ที่ทำงานบนยานพาหนะ (ทั้ง Copter, Plane, Rover, Antenna Tracker หรือ Sub) พร้อม ด้วยซอฟต์แวร์ควบคุมสถานีภาคพื้นดิน เช่น Mission Planner, APM Planner, Q Ground Control, Mav Proxy, Tower และอื่นๆ ซอร์สโค้ด ArduPilot ได้รับการจัดเก็บและจัดการบน GitHub โดยมีผู้ร่วมให้ข้อมูลเกือบ 400 ราย โดยที่ชุดซอฟต์แวร์ถูกสร้างขึ้นโดยอัตโนมัติทุกคืนโดยมีการทำงานอย่างต่อเนื่องและการทดสอบ Travis CI และสภาพแวดล้อมการสร้างและการรวบรวม รวมถึงคอมไพเลอร์ข้ามแพลตฟอร์ม GNU และ Waf ไบนารีที่คอมไพล์ล่วงหน้าที่ทำงานบนแพลตฟอร์มฮาร์ดแวร์ต่างๆ สามารถดาวน์โหลดได้จากเว็บไซต์ย่อยของ ArduPilot
ฮาร์ดแวร์ที่รองรับ (Supported hardware) ซอฟต์แวร์ Copter, Plane, Rover, Antenna Tracker หรือ Sub ทำงานบนฮาร์ดแวร์ฝังตัวที่หลากหลาย (รวมถึงคอมพิวเตอร์ Linux ที่ทำงานเต็มระบบ) โดยทั่วไปประกอบด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์หรือไมโครโพรเซสเซอร์อย่างน้อยหนึ่งตัวที่เชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์ที่ต่อกับระบบนำทาง เซ็นเซอร์เหล่านี้รวมถึงไจโรสโคป MEMS และมาตรความเร่งเป็นอย่างน้อย ซึ่งจำเป็นสำหรับการบินหลายใบพัดและการรักษาเสถียรภาพของเครื่องบิน เซนเซอร์มักจะประกอบด้วย เข็มทิศ เครื่องวัดระยะสูง (บารอเมตริก) และ GPS อย่างน้อยหนึ่งเข็มทิศ พร้อมด้วยเซนเซอร์เพิ่มเติมที่เป็นตัวเลือก เช่น เซนเซอร์ตรวจจับการไหลของแสง ตัวบ่งชี้ความเร็วลม เครื่องวัดระยะสูงแบบเลเซอร์ โซนาร์ เครื่องวัดระยะ กล้องแบบตาเดียว กล้องสามมิติ หรือกล้อง RGB-D โดยที่เซ็นเซอร์อาจอยู่บนบอร์ดอิเล็กทรอนิกส์เดียวกันหรือภายนอกก็ได้ ซอฟต์แวร์ Ground Station ใช้สำหรับตั้งโปรแกรมหรือตรวจสอบการทำงานของยานพาหนะ พร้อมใช้งานสำหรับ Windows, Linux, macOS, iOS และ Android

2.3.2 Common to all vehicles

ArduPilot มีคุณสมบัติมากมาย รวมถึงคุณสมบัติทั่วไปต่อไปนี้สำหรับยานพาหนะทุกแบบ

- โหมดการบินแบบอัตโนมัติ กึ่งอัตโนมัติ และแบบแมนนวลเต็มรูปแบบ ภารกิจที่ตั้งโปรแกรมได้พร้อมจุดอ้างอิง
- 3 มิติ ตัวเลือกการกำหนดตำแหน่งทางภูมิศาสตร์
- ตัวเลือกการรักษาเสถียรภาพเพื่อลบล้างความต้องการนักบินร่วมบุคคลที่สาม
- การจำลองด้วยเครื่องจำลองต่างๆ รวมถึง ArduPilot SITL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- รองรับเซ็นเซอร์นำทางจำนวนมาก รวมถึง RTK GPS หลายรุ่น, L1 GPS แบบดั้งเดิม , บารอมิเตอร์, เครื่องวัดสนามแม่เหล็ก, เลเซอร์และเครื่องวัดระยะโซนาร์, การไหลของแสง, ทรานสปอนเดอร์ ADS-B, อินฟราเรด, ความเร็วลม, เซ็นเซอร์ และคอมพิวเตอร์วิทัศน์/อุปกรณ์จับภาพการเคลื่อนไหว
- การสื่อสารด้วยเซ็นเซอร์ผ่าน SPI, I²C, CAN Bus, การสื่อสารแบบอนุกรม, SMBus
- ความล้มเหลวในการสูญเสียการติดต่อทางวิทยุ, GPS และการละเมิดขอบเขตที่กำหนดไว้ล่วงหน้า ระดับพลังงานแบตเตอรี่ขั้นต่ำ
- รองรับการนำทางในสภาพแวดล้อมที่ถูกปฏิเสธด้วย GPS ด้วยการวางตำแหน่งตามการมองเห็น การไหลของแสง SLAM การวางตำแหน่ง Ultra-Wide Band
- รองรับแอคชูเอเตอร์ เช่น ร่มชูชีพและกริปเปอร์แม่เหล็ก
- รองรับมอเตอร์แบบไร้แปรงถ่านและแบบมีแปรงถ่าน
- การสนับสนุนและการรวม gimbal ของภาพถ่ายและวิดีโอ
- การบูรณาการและการสื่อสารกับคอมพิวเตอร์รองหรือ "สหาย" ที่ทรงพลัง
- เอกสารประกอบที่สมบูรณ์ผ่านวิกิ ArduPilot
- สนับสนุนและอภิปรายผ่านกระดานสนทนา ArduPilot, ช่องแชท Gittern, GitHub, Facebook

โหมดการบิน เฉพาะของฮอรีคอปเตอร์ (Copter-specific)

- โหมดทำให้เสถียร, Alt Hold, Loiter, RTL (Return-to-Launch), Auto, Acro, Auto Tune, Brake, Circle, Drift, Guided, (และ Guided_ No GPS), Land, Pos Hold, Sport, Throw, Follow
- การปรับจูนอัตโนมัติ
- รองรับประเภทเฟรมที่หลากหลาย รวมถึง ไทรคอปเตอร์ ควอดคอปเตอร์ เฮกซาคอปเตอร์ อ็อกโตคอปเตอร์แบบแบนและแกนร่วม และการกำหนดค่ามอเตอร์แบบกำหนดเอง
- รองรับเฮลิคอปเตอร์ไฟฟ้าและแก๊สแบบดั้งเดิม คอปเตอร์โมโน เฮลิคอปเตอร์ตีคู่

โหมดเครื่องบินเฉพาะ (Plane-specific)

- โหมด Fly By Wire, loiter, อัตโนมัติ, โหมดกายกรรม
- ตัวเลือกการขึ้นเครื่อง: การปล่อยมือ, บันจี้จัม, หนังสติ๊ก, การเปลี่ยนแนวตั้ง (สำหรับเครื่องบิน VTOL)
- ตัวเลือกการลงจอด: ความลาดเอียงที่ปรับได้, ลาน, แรงขับย้อนกลับ, ตาข่าย, การเปลี่ยนแนวตั้ง (สำหรับเครื่องบิน VTOL)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ปรับแต่งอัตโนมัติ จำลองสถานการณ์ด้วยโปรแกรมจำลอง JSBSIM, X-Plane และ Real Flight
- รองรับสถาปัตยกรรม VTOL ที่หลากหลาย: Quad planes, Tilt Wings, Tilt rotors, tail sitters, ornithopters
- การเพิ่มประสิทธิภาพของเครื่องบิน 3 หรือ 4 ช่อง

โหมดเฉพาะรถแลนด์โรเวอร์ (Rover-specific)

- โหมดการทำงานแบบแมนนวล, การเรียนรู้, อัตโนมัติ, การบังคับเลี้ยว, ถือและนำทาง
- รองรับสถาปัตยกรรมล้อและราง

โหมดเฉพาะเรือดำน้ำ (Submarine-specific)

- การคงความลึก: การใช้เซ็นเซอร์ความลึกแบบอิงแรงดัน เรือดำน้ำสามารถรักษาความลึกได้ภายในไม่กี่เซนติเมตร
- การควบคุมแสง: การควบคุมแสงใต้ทะเลผ่านตัวควบคุม

ArduPilot ได้รับการจัดทำเป็นเอกสารอย่างครบถ้วนในวิกิ ซึ่งประกอบด้วยหน้าที่พิมพ์ประมาณ 700 หน้า และแบ่งออกเป็นหกส่วนบนสุด: ส่วนย่อยที่เกี่ยวข้องกับรถคอปเตอร์ เครื่องบิน โรเวอร์ และเรือดำน้ำมุ่งเป้าไปที่ผู้ใช้ ส่วนย่อยของนักพัฒนาสำหรับการใช้งานขั้นสูงมุ่งเป้าไปที่วิศวกรซอฟต์แวร์และฮาร์ดแวร์เป็นหลัก และจะมีการแชร์ข้อมูลการจัดกลุ่มใหม่ในส่วนทั่วไปสำหรับยานพาหนะทุกประเภทภายในสี่ส่วนแรก

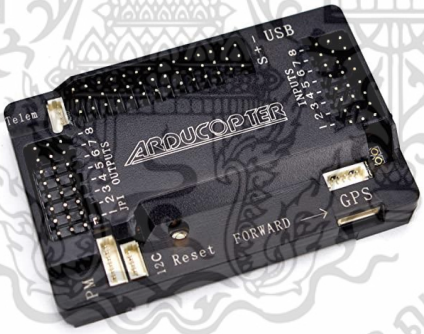
2.3.4 Customizability

ความยืดหยุ่นของ ArduPilot ทำให้เป็นที่นิยมอย่างมากในด้าน DIY แต่ยังได้รับความนิยมจากผู้ใช้มืออาชีพและบริษัทต่างๆ ยกตัวอย่างเช่น Solo quadcopter ของ 3D Robotics ใช้ ArduPilot เช่นเดียวกับบริษัทการบินและอวกาศมืออาชีพจำนวนมาก เช่น Boeing[20] ความยืดหยุ่นนี้ช่วยให้รองรับประเภทและขนาดของเฟรมได้หลากหลาย เซ็นเซอร์ต่างๆ กันสั่นของกล้องและเครื่องส่งสัญญาณ RC ขึ้นอยู่กับความชอบของผู้ปฏิบัติงาน ArduPilot ประสบความสำเร็จในการผนวกรวมเข้ากับเครื่องบินหลายรุ่น เช่น Bixler 2.0 การปรับแต่งและความง่ายในการติดตั้งทำให้แพลตฟอร์ม ArduPilot ถูกรวมเข้ากับภารกิจที่หลากหลาย สถานีควบคุมภาคพื้นดิน Mission Planner (Windows) ช่วยให้ผู้ใช้กำหนดค่า ตั้งโปรแกรม ใช้ หรือจำลองบอร์ด ArduPilot ได้อย่างง่ายดายเพื่อวัตถุประสงค์ต่างๆ เช่น การทำแผนที่ การค้นหาและกู้ภัย และการสำรวจพื้นที่เป็นต้น

APM หรือ ArduPilot Mega รุ่นล่าสุด คือ APM 2.6 เป็นบอร์ดที่ทำงานในลักษณะเช่นเดียวกับ Pixhawk แต่ใช้ Microcontroller เป็น AT Mega 2560 ซึ่งสามารถใช้ควบคุมอากาศยานไร้นักบิน ความแตกต่างที่เด่นชัดคือ มีช่องสำหรับเชื่อมต่ออุปกรณ์ภายนอกที่ไม่หลากหลายเท่ากับ Pixhawk ไม่มีหน่วยความจำภายนอกจึงมีขีดจำกัดในการบันทึกข้อมูลขณะ บินอีกทั้งหน่วยประมวลผลมีความเร็วทีต่ำกว่า ทำให้ปัจจุบันมีความนิยมลดลง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.10 บอร์ดควบคุม Pixhawk (Pixhawk, 2016)
ที่มา: https://shopee.co.th/Pixhawk-Px4-Pix-2.4.8-32



รูปที่ 2.11 บอร์ดควบคุม (Ardupilot, 2016)
ที่มา: https://th.aliexpress.com/item/4000563391786.html

โปรแกรมควบคุมหรือ Firmware ถูกพัฒนาขึ้นและเผยแพร่ให้บุคคลทั่วไปได้ใช้งาน เรียกว่า Open source ซึ่งมีการสงวนลิขสิทธิ์ให้บุคคลใดๆสามารถทำซ้ำ เผยแพร่หรือดัดแปลงซอฟต์แวร์นั้นได้อย่างถูกต้องตามกฎหมายและโดยเสรี ซึ่งถูกเรียกว่า General Public License (GPL, 2007) โปรแกรมควบคุมที่สามารถใช้กับอากาศยานแบบปีกตรึงและปีกหมุน หลักๆปรากฏอยู่ ค่าย คือ PX4 และ APM โดย PX4 ถูกพัฒนาขึ้นโดยกลุ่มคนผู้มีความรู้และสนใจในอากาศยานไร้นักบิน โดย APM ประกอบไปด้วยเฟริมแวร์หลากหลายรูปแบบ ซึ่งสามารถประยุกต์ใช้กับงานวิจัยนี้ได้คือ ArduPilot เวอร์ชั่น 3.5.0 ขึ้นไป จากการสืบค้นพบว่ามีผู้ใช้งาน ArduPilot มากกว่า PX4

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ส่งผลให้มีเอกสารสำหรับศึกษาและทำความเข้าใจที่มากกว่า แม้ PX4 จะมีเอกสารด้านการใช้งานออกมาน้อยกว่า แต่จุดเด่นของ PX4 คือ มีผู้พัฒนาแอพพลิเคชัน / โมดูล ขึ้นมาใช้งานร่วมกับ Sensor อื่น ๆ และประยุกต์ใช้งานที่มากกว่า

2.3.5 Mission Planner

Mission Planner เป็นแอปพลิเคชันสถานีภาคพื้นดินที่มีคุณสมบัติครบถ้วนสำหรับโครงการ ArduPilot ซึ่งโปรแกรม Mission Planner เป็นโปรแกรมที่เอาไปควบคุมสำหรับเครื่องบิน คอปเตอร์ และโรเวอร์ โดยที่ Mission Planner สามารถใช้เป็นการกำหนดค่าหรือเป็นส่วนเสริมการควบคุมแบบไดนามิกสำหรับยานพาหนะอัตโนมัติได้เป็นต้น

การที่โดรนจะบินได้อย่างมีประสิทธิภาพนั้น เราต้องทำการปรับแต่งค่าภายในต่าง ๆ เช่น ความไวของมอเตอร์ขณะบิน เพื่อไม่ให้ขณะที่โดรนเคลื่อนที่ไปข้างหน้านั้นเกิดการพลิกคว่ำ หรือจะเป็นการปรับค่าเริ่มต้นของเข็มทิศภายใน ทำให้วัดทิศทางได้แม่นยำยิ่งขึ้น ซึ่งการปรับแต่งเหล่านั้นทำได้โดยผ่านโปรแกรม Mission Planner นอกจากนั้นยังสามารถกำหมดระยะบิน หรือ พิกัด GPS ต่าง ๆ ได้ด้วย ภายในตัวโปรแกรมยังสามารถบอกสถานะต่าง ๆ ของตัวโดรนได้ดังรูปที่ และในการใช้การ Mission Planner จำเป็นต้องเลือก Firmware ที่เหมาะสมกับโครงการตัวเอง เพื่อที่จะได้มีประสิทธิ์ภาพในการใช้งานได้ยิ่งขึ้น

รูปที่ 2.12 Mission Planner

ปัจจุบันเฟริมแวร์ ArduPilot เวอร์ชั่น 3.5.0 ขึ้นไป ไม่สามารถทำงานบนบอร์ด APM2.6 ได้อีกต่อไป เนื่องจากไม่มีหน่วยความจำและความเร็วในการประมวลผลที่เพียงพอ ทำให้ต้องเปลี่ยนมาใช้บอร์ด Pixhawk ซึ่งมีหน่วยความจำและความเร็วที่มากกว่าแทน โดยสามารถแสดงตาราง เปรียบเทียบคุณสมบัติได้ดังนี้

Properties/Products	Pixhawk	APM 2.
Microprocessor	32-bit STM32F427 Cortex M4F 168 MHz	8-bit ATmega2560 16 MHz

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

failsafe co-processor	32-bit STM32F103	-
Flash memory	2 MB	256 KB
RAM/SRAM	256 KB	8KB
Accelerometer/Gyroscope	MPU-6000	MPU-6050
3D Magnetometer	LSM303D	HMC5883L
Barometric pressure	MS5611	MS5611

ตารางที่ 2.1 การเปรียบเทียบคุณสมบัติระหว่าง (PX4 Autopilot, 2016 และ ATmega2560,2016)

2.3.6 โหมดการใช้งาน

การลิงก์ไปยังโหมดการบินที่มีให้สำหรับคอปเตอร์ คอปเตอร์มีโหมดการบินในตัว 25 โหมด โดย 10 โหมดนี้ใช้เป็นประจำ มีโหมดต่างๆ เพื่อรองรับระดับ/ประเภทของการรักษาเสถียรภาพของเที่ยวบิน ระบบอัตโนมัติที่ซับซ้อน ระบบติดตาม ฯลฯ โหมดการบินถูกควบคุมผ่านวิทยุ (ผ่านสวิตช์เครื่องส่ง) ผ่านคำสั่งภารกิจ หรือใช้คำสั่งจากสถานีภาคพื้นดิน (GCS) หรือคอมพิวเตอร์ร่วม ตารางด้านล่างแสดงโหมดการบินแต่ละโหมดว่ามีการควบคุมระดับความสูงหรือตำแหน่งหรือไม่ และต้องใช้ข้อมูลตำแหน่งที่ถูกต้องจากเซ็นเซอร์ (โดยทั่วไปคือ GPS) เพื่อเปิดใช้งานหรือสลับเป็นโหมดอื่นๆ

2.3.6.1 โหมด Acro ใช้แท่ง RC เพื่อควบคุมความเร็วเชิงมุมของคอปเตอร์ในแต่ละแกน ปล่อยไม้เท้าและรถจะรักษาทัศนคติปัจจุบันและจะไม่กลับสู่ระดับ (คงทัศนคติ) โหมด Acro มีประโยชน์สำหรับไม้ลอย เช่น พลิกหรือม้วน หรือ FPV เมื่อต้องการการควบคุมที่ราบรื่นและรวดเร็ว การรักษาเสถียรภาพโหมดอัตราบริสุทธิ์ โดยใช้ไจโรเท่านั้นที่ไม่มีการตอบสนองทัศนคติจากมาตรความเร่ง สามารถบังคับได้โดยการตั้งค่าบิต 1 ของACRO_OPTIONSเป็นหนึ่ง ทัศนคติจะยังคงใช้การแก้ไขแบบวงเปิดในโหมดนี้ คล้ายกับ "ไจโรหาง" แต่ทัศนคติอาจเคลื่อนไปตามกาลเวลา

2.3.6.2 โหมดแอร์สามารถตั้งค่าโหมด Acro ให้มีเสถียรภาพเต็มที่เมื่อไม่ได้ใช้งานคันเร่ง ดู Air Mode

2.3.6.3 โหมดพักระดับความสูงในโหมดพักระดับความสูง คอปเตอร์จะรักษาระดับความสูงที่สม่ำเสมอในขณะที่อนุญาตให้ควบคุมการหมุน ระยะพิทช์ และการหันเหตามปกติ หน้านี้ประกอบด้วยข้อมูลสำคัญเกี่ยวกับการใช้และการปรับค่า alt holdเมื่อเลือกโหมดรักษาระดับความสูง (aka Alt Hold) คันเร่งจะถูกควบคุมโดยอัตโนมัติเพื่อรักษาระดับความสูงปัจจุบัน Roll, Pitch และ yaw ทำงานเหมือนกับในโหมด Stabilizeซึ่งหมายความว่านักบินจะควบคุมการม้วนและเอียงมุมเอียงและทิศทางโดยตรงการคงระดับความสูงอัตโนมัติเป็นคุณลักษณะของโหมดการบินอื่นๆ (Loiter , Sportฯลฯ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.13 การจูน Altitude Hold P

ที่มา: https://www.researchgate.net/figure/Settings-of-the-PID-controller_fig2_333937231

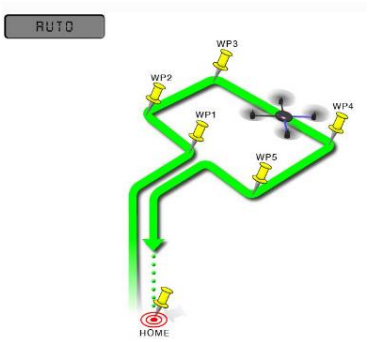
Altitude Hold P ใช้เพื่อแปลงข้อผิดพลาดของระดับความสูง (ความแตกต่างระหว่างระดับความสูงที่ต้องการกับระดับความสูงจริง) เป็นอัตราการปีนหรือลดระดับที่ต้องการ อัตราที่สูงขึ้นจะทำให้พยายามรักษาระดับความสูงให้สูงขึ้น แต่ถ้าตั้งไว้สูงเกินไปจะทำให้การตอบสนองของคันเร่งกระตุก

อัตราเร่ง (ซึ่งโดยปกติไม่จำเป็นต้องปรับ) แปลงอัตราการไต่หรือลดความเร็วที่ต้องการเป็นอัตราเร่งขึ้นหรือลงที่ต้องการ

อัตราเร่งของ Throttle Accel PID จะแปลงข้อผิดพลาดในการเร่งความเร็ว (กล่าวคือ ความแตกต่างระหว่างการเร่งความเร็วที่ต้องการกับการเร่งจริง) เป็นเอาต์พุตของมอเตอร์ อัตราส่วน 1:2 ของ P ต่อ I (เช่น I มีขนาดใหญ่เป็นสองเท่าของ P) ควรคงไว้หากคุณแก้ไขพารามิเตอร์เหล่านี้ ค่าเหล่านี้ไม่ควรเพิ่มขึ้น แต่สำหรับคอปเตอร์ที่ทรงพลังมาก คุณอาจได้รับการตอบสนองที่ดีขึ้นโดยการลดทั้งสองลง 50% (เช่น P ถึง 0.5, I ถึง 1.0)

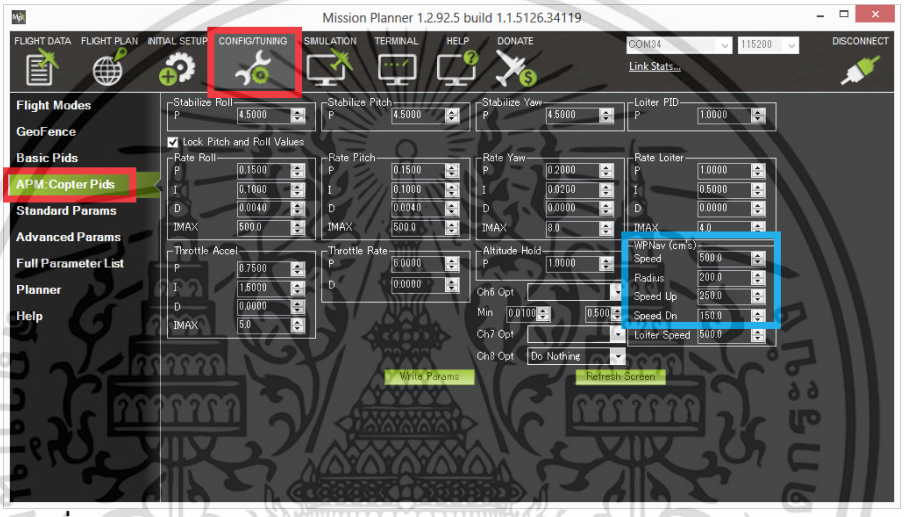
2.3.6.4 โหมดอัตโนมัติ คอปเตอร์จะทำตามสคริปต์ภารกิจที่ตั้งโปรแกรมไว้ล่วงหน้าซึ่งเก็บไว้ในออโตไพลอตซึ่งประกอบด้วยคำสั่งการนำทาง (เช่น จุดอ้างอิง) และคำสั่ง "ทำ" (เช่น คำสั่งที่ไม่ส่งผลต่อตำแหน่งของคอปเตอร์ รวมถึงการสั่งชัตเตอร์ของกล้อง). หน้านี้แสดงภาพรวมของโหมดอัตโนมัติการควบคุมควรตั้งค่า AUTO ให้เป็นหนึ่งในโหมดเครื่องบิน บนสวิตช์โหมดเครื่องบินคุณต้องติดอาวุธคอปเตอร์ของคุณก่อนจึงจะสามารถใช้โหมด AUTO ได้ ดู การติดตั้งมอเตอร์สำหรับรายละเอียดเกี่ยวกับวิธีการติดอาวุธคอปเตอร์ของคุณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.14 การควบคุมตำแหน่งจากโหมด Loiter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/auto-mode.html



รูปที่ 2.15 การโหมด AUTO รวมการควบคุมระดับความสูงจากโหมด AltHold

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/auto-mode.html

2.3.6.4 โหมดเบรกการบินที่เรียบง่ายนี้จะหยุดรถโดยเร็วที่สุดโดยใช้ตัวควบคุม Loiter เมื่อเรียกใช้แล้ว โหมดนี้จะไม่รับอินพุตใดๆ จากนักบิน โหมดนี้ต้องใช้ GPSเมื่อเปิดเครื่อง โหมดเบรกจะพยายามหยุดรถให้เร็วที่สุด ตำแหน่ง GPS ที่ดีการรบกวนทางแม่เหล็กต่ำบนเข็มทิศและการสั่นสะเทือนต่ำ ล้วนมีความสำคัญในการบรรลุประสิทธิภาพที่ดีการควบคุมนักบินจะถูกละเว้นในโหมดนี้ ต้องปิดรถออกจากโหมดนี้ก่อนที่นักบินจะสามารถควบคุมได้อีกครั้ง

2.3.6.5 โหมดวงกลมจะโคจรรอบจุดที่อยู่ ห่างจาก รถ CIRCLE_RADIUS เซนติเมตร โดยให้ส่วนหน้าของรถชี้ไปที่กึ่งกลาง หน่วยเป็นเซนติเมตรจาก AC 3.2 (ก่อนหน้านี้เมตร) Mission Planner รายงานหน่วยเป็น cm สำหรับรหัสทุกเวอร์ชั่นความเร็วของรถ (เป็นองศา/วินาที) สามารถแก้ไขได้โดยการเปลี่ยน พารามิเตอร์CIRCLE_RATE ค่าบวกหมายถึงหมุนตามเข็มนาฬิกา ค่าลบหมายถึงทวนเข็มนาฬิกา รถอาจไม่ถึงอัตราที่ต้องการหากต้องใช้ความเร่งเข้าหาศูนย์กลางของวงกลมเพื่อให้เกินอัตราเร่งสูงสุดที่ถือไว้ใน พารามิเตอร์ WPNAV_ACCEL (หน่วยเป็น cm/s/s)อัตราวงกลมที่ตั้งไว้ข้างต้นสามารถปรับแบบไดนามิกในเที่ยวบินได้สองวิธี อย่างแรกคือการใช้ RC Channel 6

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หาก ตั้งค่าตัวเลือก TUNEเป็น 39 ทำให้ลดอัตรา 50% หรือเพิ่มขึ้น 100% ที่ช่องสัญญาณต่ำสุดและสูงสุด อีกวิธีหนึ่งคือการเปิดใช้CIRCLE_CONTROLพารามิเตอร์เพื่อให้สามารถปรับรัศมีและความเร็วของแท่งไม้ได้

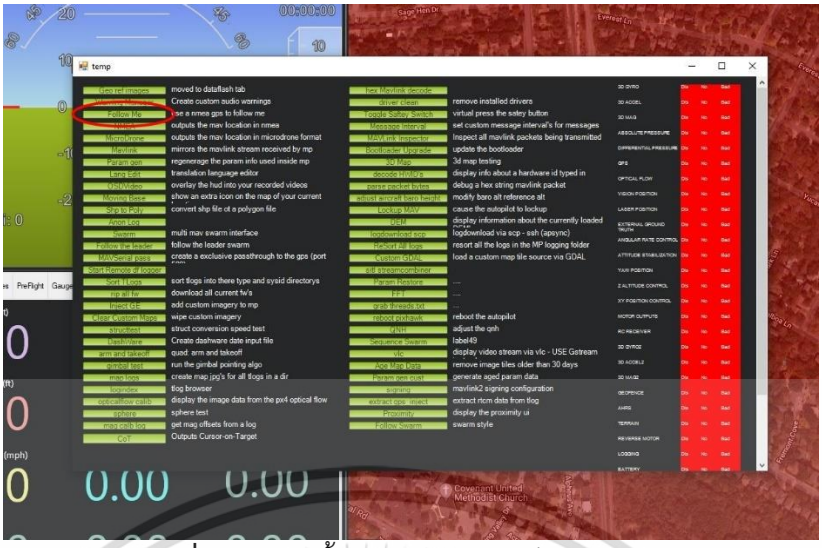
2.3.6.5 โหมดดริฟท์การบินในโหมด Drift และวิธีการปรับแต่งคอปเตอร์ให้บินได้อย่างเหมาะสมที่สุดในโหมดดริฟท์ โดยที่โหมดดริฟท์ทำให้ผู้ใช้สามารถบินด้วยคอปเตอร์หลายตัวราวกับว่ามันเป็นเครื่องบินที่มีการเลี้ยวอัตโนมัติในตัว พร้อมกับผู้ใช้มีการควบคุมโดยตรงของ Yaw และ Pitch แต่ Roll ถูกควบคุมโดย autopilot ซึ่งช่วยให้ควบคุมคอปเตอร์ได้อย่างง่ายดายด้วยแท่งควบคุมเพียงแท่งเดียวหากใช้ตัวส่งสัญญาณโหมด 2 และผู้ใช้มีการควบคุมคันเร่งแบบแมนนวลอย่างสมบูรณ์เช่นเดียวกับใน โหมดลดการ สั่นไหว

2.3.6.5 โหมดพลิกยานพาหนะจะพลิกบนแกนหมุนหรือพิทช์ขึ้นอยู่กับตำแหน่งการหมุนและระยะพิทช์ของนักบิน รถจะลอยขึ้น 1 วินาทีแล้วพลิกกลับอย่างรวดเร็ว รถจะไม่พลิกอีกจนกว่าสวิตช์จะต่ำและกลับขึ้นสูง ให้ตัวเองสูงอย่างน้อย 10 เมตร

2.3.6.6 โหมด Flow Hold ใช้เซ็นเซอร์วัดการไหลแบบออปติคัลเพื่อยึดตำแหน่งโดยไม่ต้องใช้ GPS หรือ Lidar ที่คว่ำลง ประสิทธิภาพที่ดีขึ้นสามารถทำได้โดยติดเครื่อง วัดระยะ และใช้ โหมด Loiter ปกติ แทนโหมด Flow Hold นั้นคล้ายกับโหมด Pos Hold โดยที่นักบินจะควบคุมมุมเอียงของรถโดยตรงด้วยม้วนและก้านยก เมื่อผู้ใช้ปล่อยคันบังคับ ออปติคัลโฟลว์เซ็นเซอร์จะถูกใช้โดยออโตไพลอตเพื่อนำรถไปจอดเนื่องจากไม่มีการใช้ Lidar ในโหมดนี้ เซ็นเซอร์วัดการไหลของแสงจึงถูกใช้ทั้งเพื่อประเมินความสูงของรถเหนือพื้นผิวและความเร็วของรถ ไม่นานหลังจากเครื่องขึ้นหรือหลังจากมีการเปลี่ยนแปลงความสูงเหนือพื้นผิวอย่างมาก ยานพาหนะอาจสั่นคลอนเมื่อเรียนรู้ความสูงและความเร็วใหม่

2.3.6.7 โหมดติดตาม (เปิดใช้งาน GCS)โหมด Follow Me ช่วยให้คุณให้คอปเตอร์ติดตามคุณในขณะที่คุณเคลื่อนที่ โดยใช้วิทยุ telemetry และสถานีภาคพื้นดินต่างจากโหมดออโตไพลอตอื่นๆ ตรงที่ฟีเจอร์นี้ใช้งานในสถานีภาคพื้นดิน สถานีภาคพื้นดินควบคุมการเคลื่อนไหวโดยการอ่านตำแหน่งรถโดยใช้ MAVLink Telemetry และส่งคำแนะนำโหมด GUIDED เพื่อเคลื่อนย้ายรถอย่างเหมาะสม ในปัจจุบัน ฟังก์ชันการทำงานประเภทนี้ได้รับการสนับสนุนโดยMission Planner สำหรับแล็ปท็อป Windows, APM Planner สำหรับแล็ปท็อป OS X และ Droid Planner สำหรับอุปกรณ์ Android

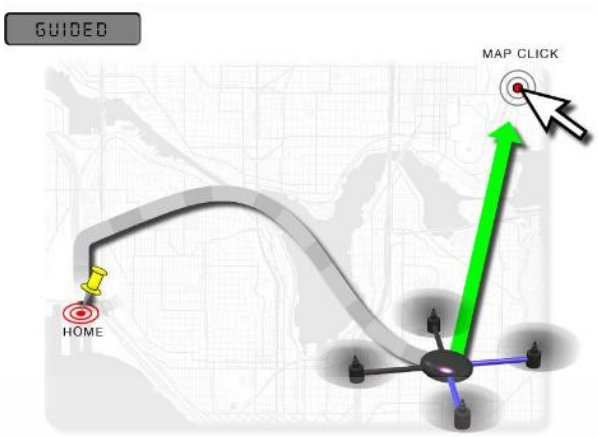
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.16 การตั้งค่าโหมดการบินเป็น “Loiter”
ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/ac2_followme.html

2.3.6.7 โหมดนำทางคือความสามารถของคอปเตอร์ในการนำทางคอปเตอร์ไปยังตำแหน่งเป้าหมายแบบไร้สายแบบไดนามิกโดยใช้โมดูลวิทยุ telemetry และแอปพลิเคชันสถานีภาคพื้นดิน หน้านี้ให้คำแนะนำในการใช้โหมดแนะนำโหมดนำทางสามารถใช้โดยสคริปต์ LUA และคอมพิวเตอร์ที่แสดงร่วมเพื่อสั่งการเคลื่อนที่และการนำทางของยานพาหนะโหมดไกด์ไม่ใช่โหมดการบินแบบดั้งเดิมที่จะกำหนดให้กับสวิตช์โหมดเช่นเดียวกับโหมดการบินอื่นๆ ความสามารถในการใช้งานโหมดแนะนำเปิดใช้งานโดยใช้แอปพลิเคชันสถานีภาคพื้นดิน (เช่น Mission Planner) และวิทยุ telemetry (เช่น SiK Telemetry Radio) ความสามารถนี้ช่วยให้คุณสั่งการคอปเตอร์แบบโต้ตอบได้เพื่อเดินทางไปยังตำแหน่งเป้าหมายโดยคลิกที่จุดบนแผนที่ข้อมูลเที่ยวบินของ Mission Planner เมื่อถึงตำแหน่งแล้ว คอปเตอร์จะเลื่อนเมาส์ไปที่ตำแหน่งนั้นเพื่อรอเป้าหมายต่อไป โหมด Follow Me ยังใช้ Guided Mode เพื่อให้คอปเตอร์ตามนักบินไปรอบสนาม

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.17 โหมดการนำทาง

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/ac2_guidedmode.html

2.3.6.7 โหมด Loiter จะพยายามรักษาตำแหน่งปัจจุบัน หัวเรื่อง และระดับความสูงไว้โดยอัตโนมัติ นักบินอาจขับคอปเตอร์ในโหมด Loiter ราวกับว่ามันอยู่ในโหมดการบินแบบแมนนวลมากขึ้น แต่เมื่อปล่อยคันเร่ง รถจะชะลอตัวลงเพื่อหยุดและคงตำแหน่งไว้การล็อก GPS ที่ดีการรบกวนด้วยแม่เหล็กต่ำบนเข็มทิศและการสั่นที่ต่ำล้วนมีความสำคัญในการบรรลุประสิทธิภาพการลอยตัวที่ดี

2.3.6.8 การควบคุม นักบินสามารถควบคุมตำแหน่งของคอปเตอร์ด้วยก้านควบคุมตำแหน่งแนวนอนสามารถปรับได้ด้วยปุ่มควบคุมม้วนและระยะห่างโดยค่าเริ่มต้นความเร็วสูงสุดในแนวนอนคือ 5 เมตร/วินาที (ดูหัวข้อการปรับแต่งด้านล่างเกี่ยวกับวิธีการปรับค่านี้) เมื่อนักบินปล่อยแท่งไม้ คอปเตอร์จะช้าลงจนหยุด ระดับความสูงสามารถควบคุมได้ด้วยคันเร่ง เช่นเดียวกับใน โหมด Alt Hold ส่วนหัวสามารถตั้งค่าได้ด้วยแท่งควบคุมการหันเห

รูปที่ 2.18 โหมด Loiter รวมตัวควบคุมระดับความสูงจากโหมด Alt Hold

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/loiter-mode.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

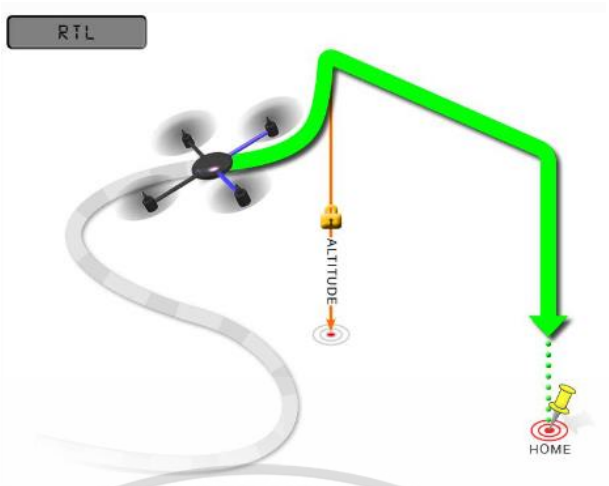
2.3.6.9 โหมดการบิน Pos Hold นั้นคล้ายกับ Loiter โดยที่รถจะรักษาตำแหน่ง ทิศทาง และระดับความสูงที่คงที่ แต่โดยทั่วไปแล้วจะได้รับความนิยมมากกว่า เนื่องจากอินพุตแบบแท่งนำร่องจะควบคุมมุมเอียงของรถโดยตรง ให้ความรู้สึก "เป็นธรรมชาติ" มากกว่าเมื่อเปิดเครื่อง โหมด Pos Hold จะพยายามรักษาตำแหน่งปัจจุบัน ทิศทาง และระดับความสูงโดยอัตโนมัติ ตำแหน่ง GPS ที่ดีการรบกวนทางแม่เหล็กต่ำบนเข็มทิศและ การสั่นที่ต่ำ ล้วนมีความสำคัญในการบรรลุประสิทธิภาพการลอยตัวที่ดีการควบคุมนักบินสามารถควบคุมตำแหน่งของคอปเตอร์ในแนวนอนและแนวตั้งด้วยแท่งควบคุมตำแหน่งแนวนอนสามารถปรับได้ด้วยแท่งควบคุมการหมุนและระยะพิทช์โดยมีมุมเอียงสูงสุดเริ่มต้นที่ 45 องศา (มุมสามารถปรับได้ด้วย พารามิเตอร์ ANGLE_MAX) เมื่อนักบินปล่อยแท่งไม้ คอปเตอร์จะเอนหลังเพื่อนำรถไปจอดระดับความสูงสามารถควบคุมได้ด้วยคันเร่งเช่นเดียวกับใน โหมด Alt Holdส่วนหัวสามารถตั้งค่าได้ด้วยแท่งควบคุมการหันเห คุณอาจอยู่ในโหมด Pos Hold แต่เมื่อ GPS มีการล็อค 3D และ HDOP ลดลงเหลือ 2.0 หรือต่ำกว่า

รูปที่ 2.19 ค่า HDOP ในโหมด PosHold

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/poshold-mode.html

2.3.6.9 โหมด RTL (โหมดกลับสู่โหมดเปิดใช้) นำทางคอปเตอร์จากตำแหน่งปัจจุบันเพื่อวางเมาส์เหนือตำแหน่งบ้าน พฤติกรรมของโหมด RTL สามารถควบคุมได้ด้วยพารามิเตอร์ที่ปรับได้หลายตัว หน้านี้อธิบายวิธีใช้และปรับแต่งโหมด RTL

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.20 นำทางคอปเตอร์จากตำแหน่งปัจจุบัน
ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/rtl-mode.html

2.3.6.10 โหมด RTL ต้องใช้การประมาณตำแหน่งที่เชื่อถือได้เพื่อให้ทำงานได้อย่างถูกต้อง โดยส่วนใหญ่จะมาจาก GPS และเข็มทิศ การตรวจสอบพรีอาร์มตามค่าเริ่มต้นจะช่วยให้มั่นใจได้ว่าล็อก 3D GPS ที่มี HDOP เพียงพอและแม็กของคุณทำงานตามที่คาดไว้ก่อนที่จะติดอาวุธ เมื่อใช้การตรวจสอบการติดอาวุธที่ไม่ใช่ค่าเริ่มต้น ตรวจสอบให้แน่ใจว่าคุณมีล็อค GPS เพียงพอและ/หรือตำแหน่งโดยประมาณที่เชื่อถือได้สำหรับ RTL เพื่อให้ทำงานได้ตามที่คาดไว้RTL จะสั่งให้คอปเตอร์กลับสู่ตำแหน่งบ้าน หมายความว่าจะกลับไปยังตำแหน่งที่ติดอาวุธ ดังนั้น ตำแหน่งบ้านจึงควรเป็นตำแหน่ง GPS ขึ้นเครื่องบินจริงของคอปเตอร์ของคุณเสมอ โดยปราศจากสิ่งกีดขวางและอยู่ห่างจากผู้คน สำหรับคอปเตอร์ หากคุณได้รับ GPS ล็อค จากนั้นจึง ARM คอปเตอร์ของคุณ ตำแหน่งเริ่มต้นคือตำแหน่งที่คอปเตอร์อยู่ในขณะติดอาวุธ ซึ่งหมายความว่าหากคุณเรียกใช้ RTL ใน Copter มันจะกลับไปยังตำแหน่งที่เดิม

2.3.6.11 โหมด Smart RTL เมื่อเปลี่ยนเป็น Smart RTL เช่น RTL ปกติ รถจะพยายามกลับบ้าน ส่วน "อัจฉริยะ" ของโหมดนี้คือมันจะย้อนเส้นทางกลับบ้านที่ปลอดภัยแทนที่จะกลับบ้านโดยตรง สิ่งนี้มีประโยชน์หากมีสิ่งกีดขวางระหว่างรถกับตำแหน่งบ้านเส้นทางที่ใช้ในการกลับบ้านจะถูกบันทึกไว้ในบัฟเฟอร์ขณะที่รถขับไปรอบๆ ในโหมดอื่นๆ เส้นทางนั้น "เรียบง่าย" (หมายถึงเส้นทางโค้งจะกลายเป็นเส้นตรงหลายเส้น) และ "ตัดแต่ง" (หมายถึงการวนซ้ำจะถูกลบออก) บัฟเฟอร์มีขนาดจำกัด (ดูด้านล่าง) และเมื่อเต็มแล้ว “ปิดการใช้งาน Smart RTL: บัฟเฟอร์เต็ม” จะปรากฏบน HUD ของสถานีภาคพื้นดิน และผู้ใช้จะไม่สามารถเปลี่ยนเป็นโหมดนี้ได้อีกต่อไป ระดับความสูงที่แต่ละจุดจะถูกเก็บไว้และใช้ในการส่งคืน Smart RTL บันทึกคะแนนได้สูงสุด 3 ต่อวินาที แต่ถ้ารถเคลื่อนตัวอย่างน้อยSRTL_ACCURACYเมตรจากจุดก่อนหน้า ตัวอย่างเช่น ถ้ารถเคลื่อนที่ด้วยความเร็ว 10 เมตร/วินาที มันจะบันทึกจุดไว้ที่ช่วง 3.3 เมตร หลังจากบันทึก 50 คะแนนแล้วจะกลับไปและทำให้ง่ายขึ้นเป็นบรรทัดอีกครั้งโดยใช้SRTL_ACCURACY มันจะแทนที่สตริงของจุดด้วยจุดสิ้นสุดเพียงสอง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จุด หากจุดกลางทั้งหมดไม่เกินSRTL_ACCURACYจากเส้นตรงระหว่างจุดสิ้นสุด นี่คือวิธีที่มันจัดการเพื่อสร้างเส้นทางกลับบ้านที่ชาญฉลาดโดยไม่ต้องบินประลองยุทธ์ที่ไม่จำเป็นมีหลายวิธีที่รถสามารถเปลี่ยนโหมดเป็น Smart RTL ไม่ว่าจะผ่านการเลือกโดยผู้ใช้ หรือผ่านการเลือกที่ไม่ปลอดภัย

รูปที่ 2.21 หน้าต่างแสดงค่า โหมด Smart RTL

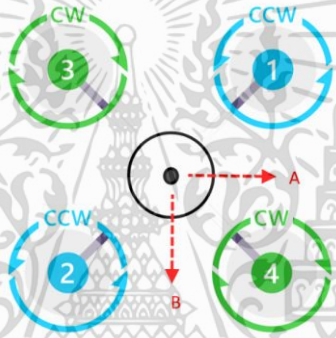
ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/smartrtl-mode.html

2.3.6.11 โหมดเสถียรโหมดลดการสั่นไหวช่วยให้คุณสามารถบินยานพาหนะของคุณด้วยตนเอง แต่ปรับระดับแกนหมุนและระยะพิทช์ได้เอง หากคุณกำลังเรียนรู้ที่จะบิน ให้ลองใช้Alt Holdหรือ Loiterแทน Stabilize คุณจะมีปัญหาน้อยลงหากไม่ต้องการเน้นการควบคุมมากเกินไปในคราวเดียวแม้ว่าโหมดเสถียรไม่จำเป็นต้องใช้ GPS แต่การเปลี่ยนไปใช้ RTL ในกรณีฉุกเฉินก็จำเป็นตรวจสอบให้แน่ใจว่าคุณมีตำแหน่งโดยประมาณที่เชื่อถือได้ก่อนที่จะติดอาวุธ ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะมาจากการแก้ไข 3D GPS ที่มี HDOP ที่เพียงพอ

2.3.6.12 โหมดการระบุระบบโหมดนี้มีไว้สำหรับผู้ใช้ขั้นสูงและเป็นวิธีสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ของพฤติกรรมการบินของยานพาหนะสำหรับการสร้างแบบจำลอง โดยจะวางยานพาหนะให้อยู่ในโหมดควบคุมเสถียรภาพ (STABILIZE) และสร้างสัญญาณระเบิด (“เสียงเจี๊ยว”) ที่ฉีดเข้าไปในลูปควบคุมที่จุดต่างๆ และบันทึกผลลัพธ์สำหรับการวิเคราะห์ทางคณิตศาสตร์และการสร้างแบบจำลองในภายหลังการเปิดใช้งานโหมด หากSID_AXIS ไม่ใช่ศูนย์ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับโหมดนี้จะปรากฏให้เห็นในการรีเฟรชพารามิเตอร์ครั้งถัดไป และอนุญาตให้เข้าสู่โหมดได้มิฉะนั้น ข้อความแสดงข้อผิดพลาดจะถูกบันทึกและส่งไปยังสถานีควบคุมภาคพื้นดินเพื่อระบุว่ามีการห้ามเข้าโหมด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

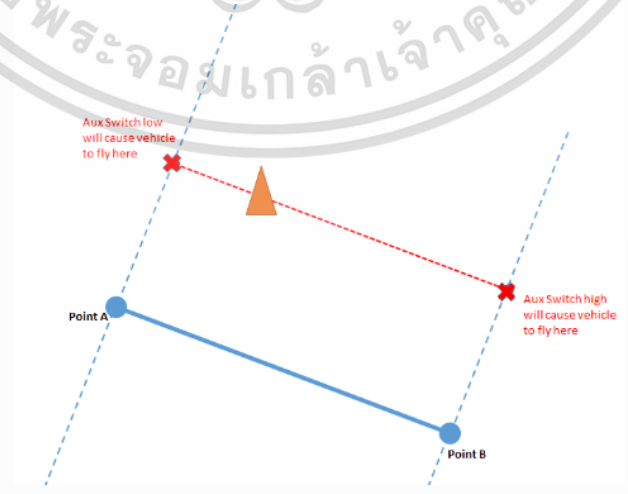
2.3.6.13 โหมดเต่าTurtle Mode เป็นโหมดพิเศษที่สามารถเรียกใช้เป็นโหมดเครื่องบินผ่านสวิตช์โหมดการบินหรือเป็นฟังก์ชั่นเสริมที่กำหนดให้กับสวิตช์ RC (ช่องสัญญาณ) โหมด Turtle อนุญาตให้ผู้ใช้พยายามพลิกคอปเตอร์ให้ตั้งตรง หากกลับด้าน โดยการย้อนกลับทิศทางของมอเตอร์คู่ที่อยู่ติดกันและสร้างแรงขับเพื่อยกเลิกการกลับรถหลังการชนโหมดนี้ต้องใช้ ESC ที่รองรับ DS hot เพื่อให้คำสั่งย้อนกลับ DS hot ถูกส่งไปยัง ESC SERVO_DSHOT_ESCจะต้องตั้งค่าเป็น “1” เพื่ออนุญาตให้ส่งคำสั่ง DS hotเมื่ออยู่ในโหมดนี้ การย้ายม้วนและ/หรือพิทช์สติ๊กของเครื่องส่งสัญญาณออกจากศูนย์กลางจะเป็นการย้อนกลับและหมุนมอเตอร์คู่ที่กำหนดขึ้น ซึ่งจะเป็นการเพิ่มแรงขับสูงสุดเมื่อโยนไม้จนสุดผู้ใช้สามารถแทงแท่งส่งสัญญาณอย่างรวดเร็วเพื่อพยายามพลิกรถให้ตั้งตรง มอเตอร์คู่ใดจะกลับด้านชั่วคราวและหมุนขึ้นโดยทิศทางที่ห่างจากศูนย์กลางของแท่งไม้นั้นจะถูกเคลื่อนที่ดังที่แสดงด้านล่าง : เมื่อพลิกขึ้นแล้ว ให้ออกจากโหมดเพื่อการทำงานปกติเพื่อกลับมาทำงานต่อ



รูปที่ 2.22 จำลองการควบคุมการบินโหมดเต่า

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/turtle-mode.html#turtle-mode

2.3.6.12 โหมดซิกแซกเป็นโหมดกึ่งอิสระที่ออกแบบมาเพื่อให้นักบินสามารถบินยานพาหนะไปมาในสนามได้ง่ายขึ้น ซึ่งจะเป็นประโยชน์สำหรับการฉีดพ่นพืชผล



รูปที่ 2.23 บินด้วยตนเอง Zig Zag ใช้ พารามิเตอร์ของโหมด Loiter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/zigzag-mode.html#zigzag-mode

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7 การตรวจสอบความปลอดภัยก่อนใช้งานแขน

ArduPilot มีชุดการตรวจสอบความปลอดภัยก่อนใช้งานแขน ซึ่งจะป้องกันไม่ให้รถติดอาวุธระบบขับเคลื่อน หากพบปัญหาจำนวนมากก่อนการเคลื่อนไหว ซึ่งรวมถึงการสอบเทียบที่ไม่ได้รับ การกำหนดค่า หรือข้อมูลเซ็นเซอร์ที่ไม่ดี การตรวจสอบเหล่านี้ช่วยป้องกันการชนหรือบินหนี แต่สามารถปิดใช้งานได้หากจำเป็น

การรับรู้ว่า Pre-Arm Check ใดล้มเหลวโดยใช้ GCS นักบินจะสังเกตเห็นความล้มเหลวในการตรวจสอบแขนล่วงหน้า เนื่องจากเขา/เธอจะไม่สามารถเปิดแขนรถได้ และไฟ LED แจ้งเตือน (ถ้ามี) จะกะพริบเป็นสีเหลือง เพื่อตรวจสอบว่าการตรวจสอบใดล้มเหลว:

1. เชื่อมต่อ Autopilot กับสถานีภาคพื้นดินโดยใช้สาย USB หรือTelemetry
2. ตรวจสอบให้แน่ใจว่า GCS เชื่อมต่อกับยานพาหนะแล้ว (เช่น บน Mission Planner และกดปุ่ม “Connect” ที่มุมขวาบน)
3. เปิดเครื่องส่งวิทยุของคุณและพยายามติดอาวุธรถ (ขั้นตอนปกติคือการใช้เค้นลง หันขวา หรือผ่านสวิตช์ RCx_OPTION)
4. สาเหตุแรกของความล้มเหลวในการตรวจสอบแขนล่วงหน้าจะแสดงเป็นสีแดงบนหน้าต่าง HUD

ข้อความล้มเหลวความปลอดภัยที่ล้มเหลว (RC, แบตเตอรี่, GCS ฯลฯ) จะแสดงข้อความและป้องกันการติดอาวุธ

2.3.7.1 ข้อผิดพลาดต่าง ๆ ในบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ไม่ได้ปรับเทียบ RC : ไม่ ได้ทำการปรับเทียบ วิทยุ RC3_MINและRC3_MAXต้องเปลี่ยนจากค่าเริ่มต้น (1100 และ 1900) และสำหรับช่อง 1 ถึง 4 ค่า MIN ต้องเป็น 1300 หรือน้อยกว่า และค่า MAX 1700 ขึ้นไป

2.3.7.2 ความล้มเหลวของบารอมิเตอร์ บาโรไม่แข็งแรง : เซ็นเซอร์บารอมิเตอร์รายงานว่าไม่แข็งแรงซึ่งปกติแล้วจะเป็นสัญญาณของความล้มเหลวของฮาร์ดแวร์ความแตกต่างของ Alt : ความสูงของบารอมิเตอร์ไม่เห็นด้วยกับการนำทางเฉื่อย (เช่น Baro + Accelerometer) โดยประมาณมากกว่า 1 เมตร ข้อความนี้มักมีอายุสั้นและสามารถเกิดขึ้นได้เมื่อมีการเสียบปลั๊กออโตไพลอตครั้งแรกหรือหากได้รับการกระแทกอย่างแรง (เช่น ตกกระทันหัน) หากไม่ชัดเจนอาจต้องมีการปรับเทียบมาตรวัดความเร่งหรืออาจมีปัญหาฮาร์ดแวร์บารอมิเตอร์

2.3.7.3 ความล้มเหลวของเข็มทิศ เข็มทิศไม่แข็งแรง : เซ็นเซอร์เข็มทิศกำลังรายงานว่าเข็มทิศนั้นไม่แข็งแรงซึ่งเป็นสัญญาณของความล้มเหลวของฮาร์ดแวร์ไม่ได้ปรับเทียบ เข็มทิศ : ยังไม่ได้ ปรับเทียบ เข็มทิศ พารามิเตอร์ เป็นศูนย์หรือจำนวนหรือประเภทของเข็มทิศที่เชื่อมต่อมีการเปลี่ยนแปลงตั้งแต่การสอบเทียบเข็มทิศครั้งล่าสุดCOMPASS_OFS_X, _Y, _Z

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.7.4 ค่าชดเชยของเข็มทิศสูงเกินไป : ความยาวอ๊อฟเซ็ตของเข็มทิศหลัก (เช่น sqrt(x^2+y^2+z^2)) มีค่ามากกว่า 500 ซึ่งอาจเกิดจากการวางวัตถุที่เป็นโลหะไว้ใกล้กับเข็มทิศมากเกินไป หากใช้เข็มทิศภายในเท่านั้น (ไม่แนะนำ) อาจเป็นเพราะโลหะในกระดานที่ทำให้เกิดการชดเชยจำนวนมาก และนี่อาจไม่ใช่ปัญหาจริงๆ ซึ่งในกรณีนี้ คุณอาจต้องการปิดการตรวจสอบเข็มทิศ

2.3.7.5 Check mag field : สนามแม่เหล็กที่ตรวจจับได้ในบริเวณนั้นสูงกว่าหรือต่ำกว่าค่าที่คาดไว้ 35% ความยาวที่คาดไว้คือ 530 ซึ่งเท่ากับ > 874 หรือ < 185 ความแรงของสนามแม่เหล็กแตกต่างกันไปทั่วโลก แต่ขีดจำกัดที่กว้างเหล่านี้หมายความว่าการปรับเทียบเข็มทิศ มีโอกาสมากกว่าที่จะ ไม่ได้คำนวณการชดเชยที่ดีและควรทำซ้ำ

2.3.7.5 วงเวียนไม่สอดคล้องกัน : วงเวียนภายในและภายนอกกำลังชี้ไปในทิศทางที่ต่างกัน (ปิด >45 องศา) ซึ่งมักเกิดจากการวางแนวของเข็มทิศภายนอก (เช่น พารามิเตอร์ COMPASS_ORIENT) ไม่ถูกต้อง

2.3.7.6 ความล้มเหลวที่เกี่ยวข้องกับ GPS

GPS Glitch : GPS ขัดข้องและรถอยู่ในโหมดเครื่องบินที่ต้องใช้ GPS (เช่น Loiter, Pos Hold ฯลฯ) และ/หรือเปิดใช้งานรั้วทรงกระบอก

ต้องการการแก้ไข 3 มิติ : GPS ไม่มีการแก้ไข 3 มิติ และรถอยู่ในโหมดเครื่องบินที่ต้องใช้ GPS และ/หรือเปิดใช้งานรั้วทรงกระบอก

Bad Velocity : ความเร็วของรถ (ตามระบบนำทางเฉื่อย) สูงกว่า 50 ซม./วินาที ปัญหาที่อาจนำไปสู่สิ่งนี้ ได้แก่ รถกำลังเคลื่อนที่หรือทำตก การปรับเทียบมาตรวัดความเร่งไม่ดี การอัปเดต GPS ที่ต่ำกว่า 5Hz ที่คาดไว้

GPS HDOP สูง : ค่า HDOP ของ GPS (การวัดความแม่นยำของตำแหน่ง) สูงกว่า 2.0 และรถอยู่ในโหมดการบินที่ต้องใช้ GPS และ/หรือเปิดใช้งานรั้วทรงกระบอก ปัญหานี้สามารถแก้ไขได้โดยเพียงแค่รอไม่กี่นาที การย้ายไปยังตำแหน่งที่มองเห็นท้องฟ้าได้ดีขึ้นหรือตรวจสอบแหล่งที่มาของการรบกวนของ GPS (เช่น อุปกรณ์ FPV) จะถูกย้ายออกห่างจาก GPS มากขึ้น อีกทางหนึ่ง การตรวจสอบสามารถผ่อนคลายได้โดยการเพิ่ม พารามิเตอร์ GPS_HDOP_GOOD เป็น 2.2 หรือ 2.5 กรณีที่เลวร้ายที่สุด นักบินอาจปิดรั้วและบินขึ้นในโหมดที่ไม่ต้องใช้ GPS (เช่น Stabilize, Alt Hold) และเปลี่ยนเป็น Loiter หลังจากติดอาวุธ แต่ไม่แนะนำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.24 การตรวจสอบ INS

ที่มา: https://ardupilot.org/plane/docs/common-prearm-safety-checks.html

2.3.8 การตรวจสอบ INS (เช่น การตรวจสอบ Accelerometer และ Gyro)

INS ไม่สอบเทียบ : ออฟเซ็ตบางส่วนหรือทั้งหมดของมาตรความเร่งเป็นศูนย์ มาตรวัด ความเร่งจำเป็นต้อง ได้รับการสอบเทียบ

การเร่งความเร็วไม่ปกติ : มาตรวัดความเร่งตัวใดตัวหนึ่งรายงานว่ามันไม่แข็งแรงซึ่งอาจเป็นปัญหาด้านฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นได้ทันทีหลังจากการอัพเดตเฟิร์มแวร์ก่อนที่บอร์ดจะรีสตาร์ท

อัตราเร่งไม่สอดคล้องกัน : มาตรความเร่งกำลังรายงานความเร่งที่ต่างกันอย่างน้อย 1m/s/s มาตร วัดความเร่งจำเป็นต้องปรับเทียบใหม่หรือมีปัญหาด้านฮาร์ดแวร์

ไจโรไม่แข็งแรง : ไจโรสโคปตัวหนึ่งรายงานว่าไม่แข็งแรงซึ่งอาจเป็นปัญหาด้านฮาร์ดแวร์ นอกจากนี้ยังสามารถเกิดขึ้นได้ทันทีหลังจากการอัพเดตเฟิร์มแวร์ก่อนที่บอร์ดจะรีสตาร์ท

Gyro Cal ล้มเหลว : การปรับเทียบไจโรล้มเหลวในการจับออฟเซ็ต สาเหตุส่วนใหญ่มักเกิดจากการเคลื่อนย้ายรถระหว่างการปรับเทียบไจโร (เมื่อไฟสีแดงและสีน้ำเงินกะพริบ) ซึ่งในกรณีนี้ การถอดแบตเตอรี่และเสียบปลั๊กอีกครั้งโดยระวังอย่าให้รถชนอาจแก้ปัญหาได้ ความล้มเหลวของฮาร์ดแวร์เซ็นเซอร์ (เช่น แหลม) อาจทำให้เกิดความล้มเหลวได้เช่นกัน

ไจโรไม่สอดคล้องกัน : ไจโรสโคปสองตัวกำลังรายงานอัตราการหมุนของยานพาหนะที่แตกต่างกันมากกว่า 20 องศา/วินาที นี่น่าจะเป็นความล้มเหลวของฮาร์ดแวร์หรือเกิดจากการปรับเทียบไจโรที่ไม่ดี

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.8.1 ตรวจสอบแรงดันไฟของบอร์ด : แรงดันไฟภายในของบอร์ดต่ำกว่า 4.3 โวลต์หรือสูงกว่า 5.8 โวลต์หากใช้พลังงานจากสาย USB (เช่น ขณะอยู่บนม้านั่ง) อาจเกิดจากคอมพิวเตอร์เดสก์ท็อปไม่สามารถจ่ายกระแสไฟให้กับหม้อแปลงไฟฟ้าได้เพียงพอ ให้ลองเปลี่ยนสาย USBหากใช้พลังงานจากแบตเตอรี่ นี่เป็นปัญหาร้ายแรง และควรตรวจสอบระบบพลังงาน (เช่น โมดูลพลังงาน แบตเตอรี่ ฯลฯ) อย่างรอบคอบก่อนบิน

2.3.8.2 การตรวจสอบพารามิเตอร์ Ch7&Ch8 Opt ไม่เหมือนกัน : Auxiliary Function Switchesถูกตั้งค่าเป็นตัวเลือกเดียวกันซึ่งไม่อนุญาต เนื่องจากอาจทำให้เกิดความสับสนได้

ตรวจสอบ FS_THR_VALUE : ตั้งค่าradio failsafe pwmไว้ใกล้กับช่องเค้น (เช่น ch3) ขั้นต่ำเกินไป

ตรวจสอบ ANGLE_MAX : พารามิเตอร์ ANGLE_MAXซึ่งควบคุมมุมเอียงสูงสุดของรถถูกตั้งค่าต่ำกว่า 10 องศา (เช่น 1000) หรือสูงกว่า 80 องศา (เช่น 8000)

ACRO_BAL_ROLL/PITCH : พารามิเตอร์ ACRO_BAL_ROLLสูงกว่าค่า Stabilize Roll P และ/หรือACRO_BAL_PITCHสูงกว่าค่า Stabilize Pitch P สิ่งนี้อาจทำให้นักบินไม่สามารถควบคุมมุมเอียงในโหมด ACRO ได้ เนื่องจากการรักษาเสถียรภาพของ Acro Trainerจะเอาชนะอินพุตของนักบิน

2.3.8.3 การตรวจสอบแบตเตอรี่/พลังงานหากแรงดันไฟของมอนิเตอร์กำลังไฟฟ้าต่ำกว่าแรงดันไฟต่ำหรือวิกฤตที่ระบบป้องกันภัยล้มเหลว หรือค่าความจุที่เหลือของระบบป้องกันความผิดพลาดต่ำหรือวิกฤต การตรวจสอบนี้จะล้มเหลวและระบุว่าจุดตั้งค่าใดอยู่ต่ำกว่า นอกจากนี้ยังจะล้มเหลวหากจุดที่ตั้งเหล่านี้กลับด้าน กล่าวคือ จุดวิกฤตจะสูงกว่าจุดต่ำ ดูBattery Failsafeสำหรับ Copter, Plane Failsafe Function for Plane หรือFail safes for Rover สำหรับข้อมูลเพิ่มเติมเกี่ยวกับสิ่งเหล่านี้นอกจากนี้ยังสามารถตั้งค่าแรงดันไฟขั้นต่ำและพารามิเตอร์ความจุที่เหลือสำหรับแต่ละแบตเตอรี่/มอนิเตอร์พลังงานได้ เช่นBATT_ARM_VOLTและBATT_ARM_MAHสำหรับแบตเตอรี่ก้อนแรก เพื่อตรวจสอบว่าแบตเตอรี่ไม่ได้อยู่เหนือระดับการป้องกันความผิดพลาดเท่านั้น แต่ยังมีความจุเพียงพอสำหรับ การดำเนินการ.

2.3.8.4 ความเร็วลมหากมีการกำหนดค่าเซ็นเซอร์ความเร็วลมและไม่ได้ให้การอ่านหรือสอบเทียบล้มเหลว การตรวจสอบนี้จะล้มเหลว

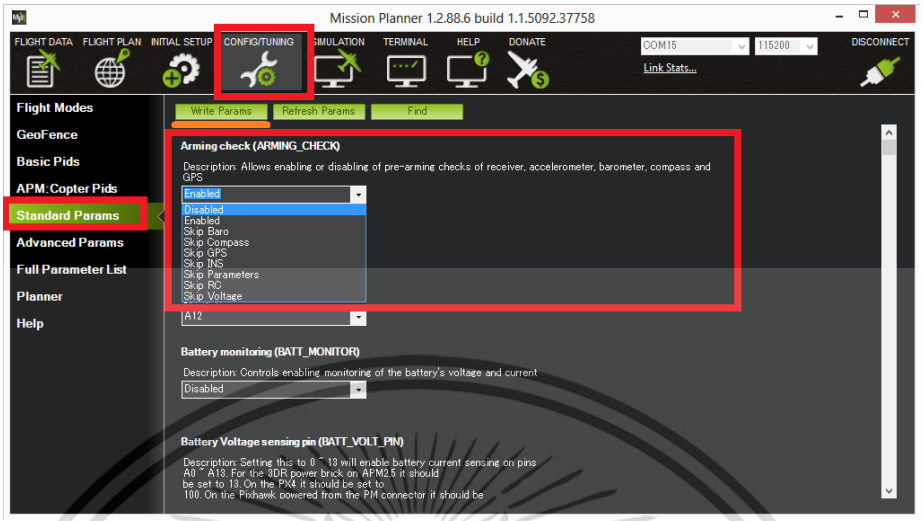
2.3.8.5 การบันทึกล้มเหลว : เปิดใช้งานการบันทึกก่อนติดอาวุธแล้ว แต่ไม่สามารถเขียนลงในบันทึกได้ไม่มีการ์ด SD : เปิดใช้งานการบันทึก แต่ไม่พบการ์ด SD

2.3.8.6 สวิตช์ด้านความปลอดภัยสวิตช์ความปลอดภัยของฮาร์ดแวร์ : ยังไม่ได้กดสวิตช์ความปลอดภัยของฮาร์ดแวร์

2.3.8.7 การปิดใช้งานการตรวจสอบความปลอดภัยของแขนกลการตรวจสอบอาวุธสามารถปิดใช้งานทีละรายการได้โดยการตั้งค่า พารามิเตอร์ ARMING_CHECKเป็นอย่างอื่นที่ไม่ใช่ 1

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

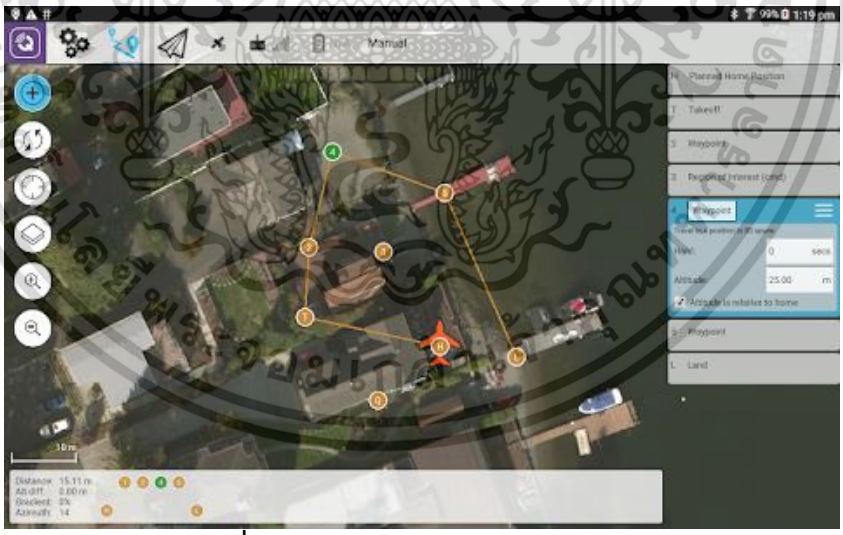
การตั้งค่าเป็น 0 จะลบการตรวจสอบก่อนกำหนดทั้งหมดออกโดยสิ้นเชิง ตัวอย่างเช่น การตั้งค่าเป็น 4 จะตรวจสอบว่า GPS มีการล็อกเท่านั้น



รูปที่ 2.25 กำหนดค่าได้โดยใช้ Mission Planner

ที่มา: https://ardupilot.org/plane/docs/common-prearm-safety-checks.html

นอกจากนี้ยังมีโปรแกรมที่ใช้ติดต่อกับบอร์ดควบคุมที่ติดตั้งกับคอมพิวเตอร์ซึ่งต้อง เหมาะสมกับ Firmware โดย Qgroundcontrol (2016) เป็นโปรแกรมที่เหมาะสมกบการติดต่อกับ PX4 ซึ่งหากเลือกโปรแกรมติดต่อไม่เหมาะสมจะทำให้ระบบทำงานไม่สมบูรณ์ หากต้องการใช้งาน

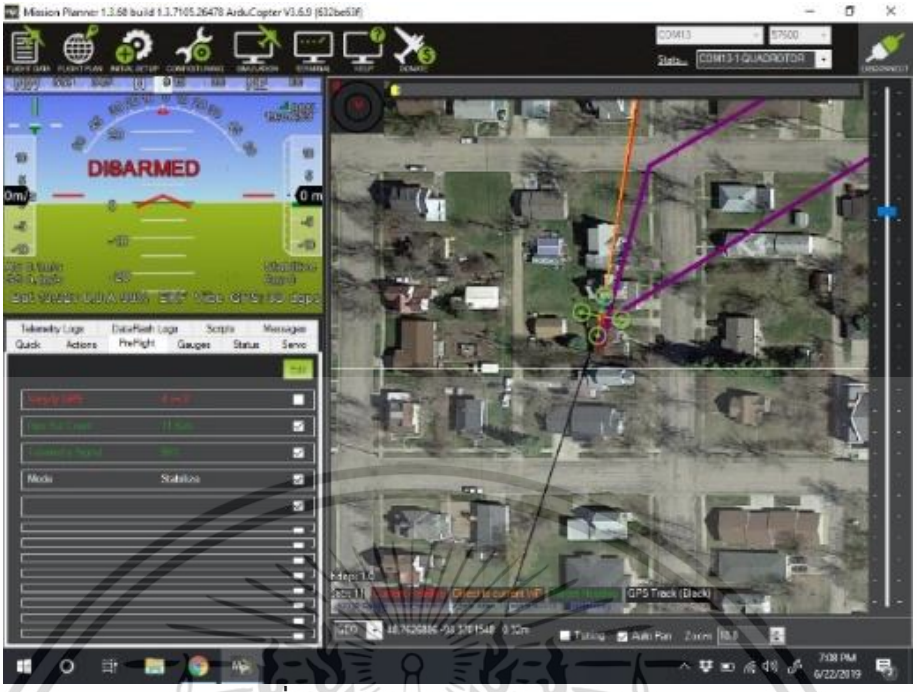


รูปที่ 2.26 โปรแกรม Qground control

ที่มา: https://m.apkpure.com/th/qgroundcontrol/org.mavlink.qgroundcontrol

กับเฟริมแวร์ ArduPilot ต้องใช้ Mission Planner สิ่งที่จำเป็นคือต้องอัพเดทโปรแกรมให้ทันสมัยอยู่เสมอเมื่อไม่ให้เกิดความผิดพลาดในการอ่านค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เป็นต้น

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

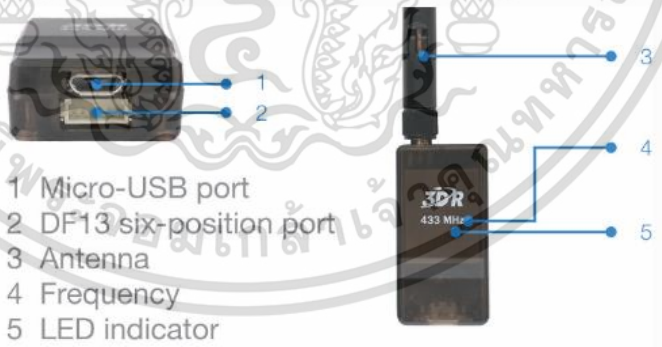


รูปที่ 2.27 โปรแกรม Mission Planner

ที่มา: https://discuss.ardupilot.org/t/mission-planner-verify-gps-confusion/43974

2.3.9 SiK Telemetry Radio

SiK Telemetry Radio เป็นหนึ่งในวิธีที่ง่ายที่สุดในการตั้งค่าการเชื่อมต่อทางไกลระหว่าง Autopilot และสถานีภาคพื้นดิน บทความนี้มีคู่มือผู้ใช้พื้นฐานสำหรับวิธีเชื่อมต่อและกำหนดค่าวิทยุ



รูปที่ 2.28 วิธีเชื่อมต่อและกำหนดค่าวิทยุ

ที่มา: https://ardupilot.org/plane/docs/common-sik-telemetry-radio.html

SiK Telemetry Radio เป็นแพลตฟอร์มวิทยุโอเพ่นซอร์สขนาดเล็ก น้ำหนักเบา และราคาไม่แพง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วจะให้ช่วงสัญญาณ "นอกกรอบ" ได้ดีกว่า 300 ม. (ช่วงสามารถขยายได้ถึงหลายกิโลเมตรโดยใช้เสาอากาศแบบแพทช์บนพื้น) วิทยุใช้เฟิร์มแวร์โอเพ่นซอร์ส ซึ่งได้รับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้ทำงานได้ดีกับแพ็กเก็ต MAV Link และรวมเข้ากับ Mission Planner, Copter, Rover และ Plane

วิทยุสามารถเป็นได้ทั้ง 915Mhz หรือ 433Mhz และคุณควรซื้อรุ่นที่เหมาะสมกับประเทศ/ภูมิภาคของคุณเนื่องจากแพลตฟอร์มนี้เป็นโอเพ่นซอร์ส คุณจึงสามารถซื้อการใช้งานได้จากแหล่งต่างๆ รวมถึง ArduPilot Partners

2.3.10 เชื่อมต่อ ESC และมอเตอร์

บทความนี้อธิบายวิธีเชื่อมต่อ ESC มอเตอร์ และใบพัดกับระบบอัตโนมัติ ใช้ Pixhawk เป็นตัวอย่าง แต่ระบบออโตไพลอตอื่นๆ เชื่อมต่อในลักษณะเดียวกันเชื่อมต่อสายไฟ (+) กราวด์ (-) และสายสัญญาณสำหรับ ESC แต่ละตัวเข้ากับหมุดเอาต์พุตหลักของออโตไพลอตตามหมายเลขมอเตอร์ ค้นหาประเภทเฟรมของคุณด้านล่างเพื่อกำหนดลำดับของมอเตอร์ที่กำหนด

รูปที่ 2.29 Pixhawk Output pins พินแรกมีรหัสสีสำหรับเชื่อมต่อ Quad frame

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

2.3.11 ไดอะแกรมสำหรับเฟรมแต่ละประเภท

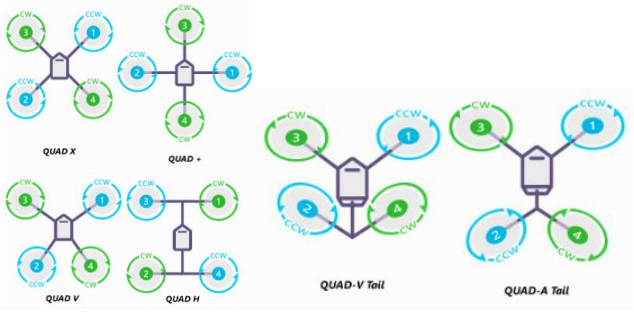
ไดอะแกรมด้านล่างแสดงลำดับมอเตอร์สำหรับเฟรมแต่ละประเภท ตัวเลขระบุว่าพินเอาต์พุตใดจากออโตไพลอตควรเชื่อมต่อกับมอเตอร์/ใบพัดแต่ละตัว ทิศทางใบพัดจะแสดงเป็นสีเขียว (ตามเข็มนาฬิกา, CW) หรือสีน้ำเงิน (ทวนเข็มนาฬิกา, CCW)

รูปที่ 2.30 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ 2 ประเภท

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

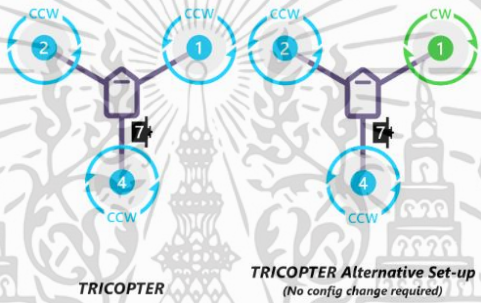
2.3.11.1 Quadcopter



รูปที่ 2.31 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Quadcopter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

2.3.11.2 Tricopter



รูปที่ 2.32 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Tricopter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

หากทิศทางของเซอร์โวหางของคุณไปในทางที่ผิดในการตอบสนองต่อการหันเห RCn_REVERSEทิศทางอินพุต RC หรือSERVOn_REVERSEพารามิเตอร์ของเซอร์โวเซอร์โวควรตั้งค่าเป็น 1 (จาก 0) โปรดดู รายละเอียดที่ หน้าการตั้งค่า Tri Copter)

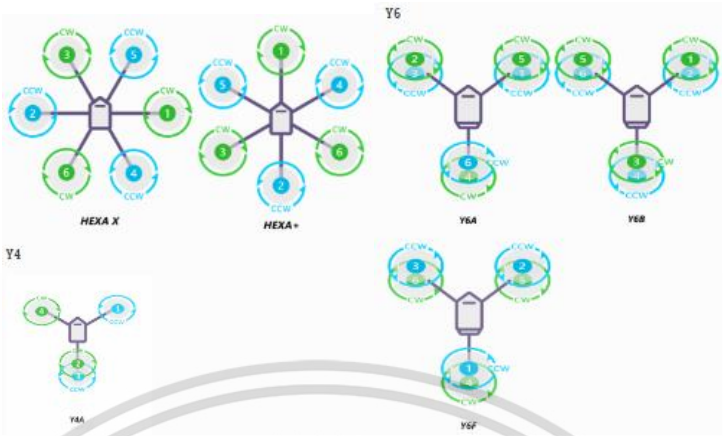
2.3.11.3 Bicopter

รูปที่ 2.33 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Bicopter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

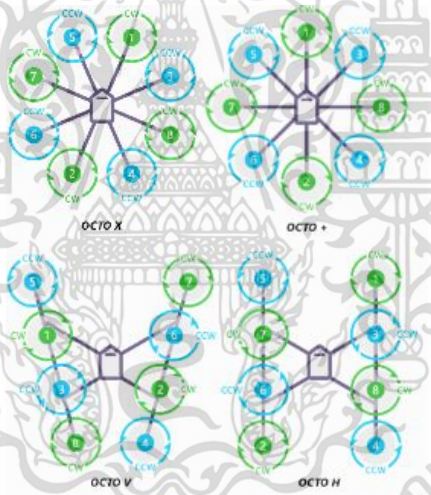
2.3.11.3 Hexacopter



รูปที่ 2.34 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Hexacopter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

2.3.11.4 Octocopter

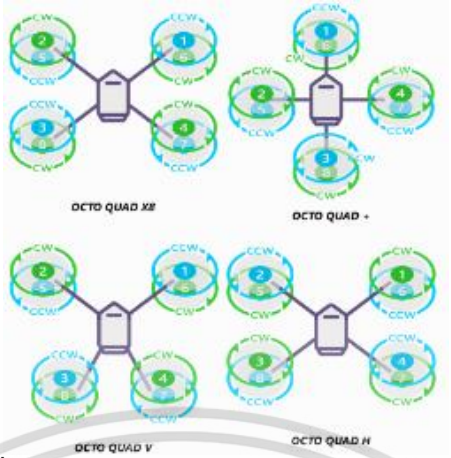


รูปที่ 2.35 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ Octocopter

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

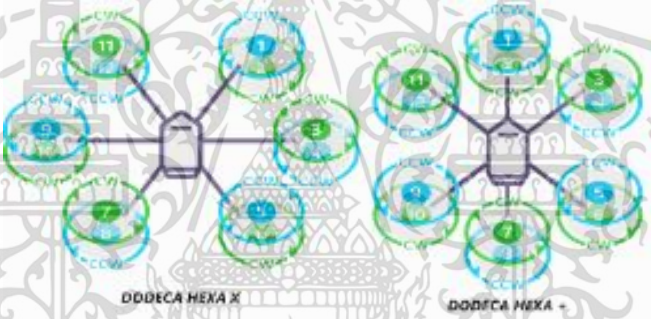
2.3.11.5 OctoQuad



รูปที่ 2.36 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ OctoQuad

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

2.3.11.6 DodecaHexacopter



รูปที่ 2.37 ไดอะแกรมลำดับมอเตอร์ DodecaHexacopter

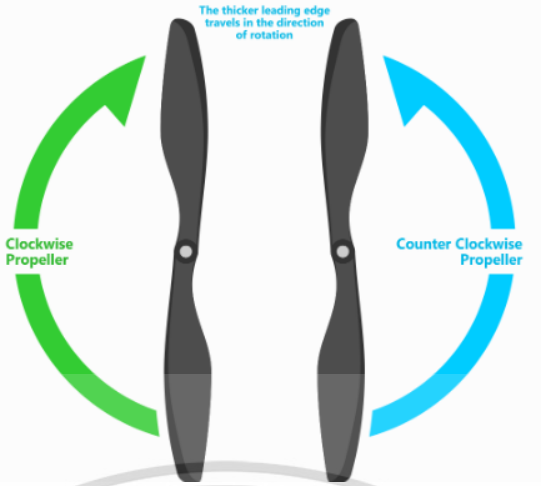
ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

เฟรมที่กำหนดเองเป็นไปได้ที่จะกำหนดค่าประเภทเฟรมที่กำหนดเองโดยใช้มอเตอร์สูงสุด 12 ตัวโดยใช้สคริปต์ lua ปัจจัยการหมุน ระยะพิทช์ และการหันเหของมอเตอร์แต่ละตัวจะต้องคำนวณและโหลดจากสคริปต์ เปิดใช้งานโดยการตั้งค่าFRAME_CLASSเป็น 15 - Scripting Matrix ดู: บวกตัวอย่างรูปสี่เหลี่ยม และ ตัวอย่าง ฐานสิบหกที่ทนต่อข้อผิดพลาด

2.3.12 การจำแนกใบพัดตามเข็มนาฬิกาและทวนเข็มนาฬิกา

แผนภาพด้านบนแสดงใบพัดสองประเภท: ตามเข็มนาฬิกา (เรียกว่าตัวผลัก) และทวนเข็มนาฬิกา (เรียกว่าตัวดึง) น่าเชื่อถือที่สุดในการจำแนกประเภทใบพัดที่ถูกต้องตามรูปร่างที่แสดงด้านล่าง ขอบที่หนากว่าคือขอบนำที่เคลื่อนที่ไปตามทิศทางการหมุน ขอบด้านท้ายเป็นสแกลลอปที่รุนแรงกว่าและมักจะบางกว่า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.38 แสดงใบพัดสองประเภท: ตามเข็มนาฬิกา ทวนเข็มนาฬิกา
ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/connect-escs-and-motors.html

2.3.12.1 ทดสอบทิศทางการหมุนของมอเตอร์หากคุณได้เสร็จสิ้นการ ปรับเทียบวิทยุ และESCคุณสามารถตรวจสอบได้ว่ามอเตอร์ของคุณหมุนไปในทิศทางที่ถูกต้อง:

1. ตรวจสอบให้แน่ใจว่าไม่มีใบพัดอยู่บนคอปเตอร์ของคุณ!
2. เปิดเครื่องส่งและตรวจสอบให้แน่ใจว่าสวิตช์โหมดการบินถูกตั้งไว้ที่ Stabilize
3. เชื่อมต่อแบตเตอรี่
4. บังคับคอปเตอร์โดยกดคันเร่งค้างไว้และบังคับหางเสือไปทางขวาเป็นเวลาห้าวินาที
5. หากไม่สามารถปรับ Arm โดยกดคันเร่งและไปทางขวาและมอเตอร์ไม่หมุน แสดงว่าระบบตรวจสอบความปลอดภัยก่อนแขนไม่ผ่าน
   - ความล้มเหลวของการตรวจสอบความปลอดภัยก่อนวางแขนยังระบุด้วยสัญญาณไฟติดสีแดงกะพริบสองครั้งแล้วทำซ้ำ
   - หากการตรวจสอบ Pre-Arm ล้มเหลว ให้ไปที่หน้าตรวจสอบความปลอดภัยของ Prearmและแก้ไขปัญหาหรือปิดใช้งานการตรวจสอบก่อนดำเนินการต่อ
6. เมื่อคุณสามารถอาร์มได้สำเร็จ ให้ใช้คันเร่งเล็กน้อย และสังเกตและสังเกตทิศทางการหมุนของมอเตอร์แต่ละตัว ควรตรงกับทิศทางที่แสดงในภาพด้านบนสำหรับเฟรมที่คุณเลือก
7. ย้อนกลับมอเตอร์ที่หมุนไปในทิศทางที่ไม่ถูกต้อง

ทิศทางของมอเตอร์จะกลับกันง่ายๆ โดยการเปลี่ยนค่าESC สามสายต่อกำลังมอเตอร์

2.3.12.2 ตรวจสอบการนับมอเตอร์ด้วยการทดสอบ Mission Planner Motor อีกวิธีหนึ่งในการตรวจสอบว่าได้ต่อมอเตอร์อย่างถูกต้องแล้วคือใช้การทดสอบ "มอเตอร์" ในเมนูการตั้งค่าเริ่มต้นของ Mission Planner

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 2.39 การทดสอบมอเตอร์

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/set-motor-range.html

เมื่อเชื่อมต่อกับรถผ่าน MAVLink คุณสามารถคลิกที่ปุ่มสีเขียวที่แสดงด้านบน และมอเตอร์ที่เกี่ยวข้องควรหมุนเป็นเวลาห้าวินาที ตัวอักษรตรงกับเลขมอเตอร์ดังตัวอย่างด้านล่าง

- ถอดอุปกรณ์ประกอบฉากของคุณก่อน!
- หากไม่มีมอเตอร์หมุน ให้เพิ่ม “คันเร่ง %” เป็น 10% แล้วลองอีกครั้ง หากไม่ได้ผลให้ลอง 15%

มอเตอร์ตัวแรกที่หมุนจะเป็นมอเตอร์ที่อยู่ข้างหน้าโดยตรงในกรณีของการกำหนดค่า + หรือมอเตอร์ตัวแรกที่อยู่ทางด้านขวาของแนวตรงในกรณีของการกำหนดค่า X การทดสอบมอเตอร์จะดำเนินการในการหมุนตามเข็มนาฬิกา

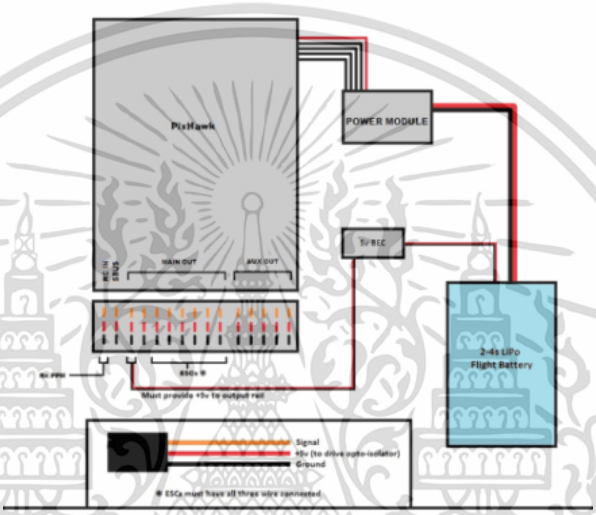
2.3.13 การใช้บอร์ดจ่ายไฟ

มีสองวิธีในการเชื่อมต่อเอาท์พุตของมอเตอร์ เชื่อมต่อตัวควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์ (ESC) กับระบบออโตไพลอตโดยตรง หรือใช้แผงจ่ายไฟ (PDB)เมื่อใช้ PDB ให้ต่อสายไฟ (+)กราวด์ (-) และสายสัญญาณสำหรับ ESC แต่ละตัวเข้ากับ PDB ตามหมายเลขมอเตอร์ค้นหาประเภทเฟรมของคุณด้านล่างเพื่อกำหนดลำดับของมอเตอร์ที่กำหนด จากนั้นเชื่อมต่อสายสัญญาณจาก PDB กับพินสัญญาณเอาต์พุตหลักบนออโตไพลอต (ตรวจสอบให้แน่ใจว่าหมายเลขคำสั่งมอเตอร์ตรงกับหมายเลขพินเอาต์พุตหลักบนคอนโทรลเลอร์) หากคุณกำลังใช้โมดูลจ่ายไฟ เป็นทางเลือกในการเชื่อมต่อสายไฟและสายกราวด์จาก PDB เข้ากับบอร์ดออโตไพลอต หากคุณต้องการใช้สายเคเบิลเหล่านี้เพิ่มเติมจากหรือแทนโมดูลพลังงาน หรือเป็นจุดร่วมสำหรับเซอร์โวกระแสไฟต่ำให้เชื่อมต่อสายกราวด์ (-) เข้ากับพินเอาต์พุตหลัก (-) และสายไฟ (+) ไปยังขากำลังขับหลัก (+)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.3.14 KDE (และอื่น ๆ) Opto Isolated ESCs

ซีรีย์ KDEXF-UAS และ KDEF-UASHV เป็นแบบแยกออปโตและไม่ให้กำลังไฟฟ้า BEC สำหรับอุปกรณ์ต่อพ่วง พวกเขาต้องการ +5V เพื่อจ่ายไฟให้กับออปโต-ไอโซเลเตอร์ และในขณะที่ Pixhawk สามารถขับเคลื่อนจากรางเซอร์โว แต่ก็ไม่ได้จ่ายไฟ +5V ให้กับรางเซอร์โว ESC ต้องใช้พลังงานจาก BEC หรือจัมเปอร์จากขั้วต่อที่ไม่ได้ใช้บนบอร์ด ขอแนะนำอย่างยิ่งให้คุณใช้ BEC ในการจ่ายไฟให้กับรางมากกว่าจัมเปอร์



รูปที่ 2.40 การต่อสาย Pixhawk เข้าอุปกรณ์ต่างๆ

ที่มา: https://www.kdedirect.com/blogs/news/18220995-xf-uas-esc-and-flight-controller-compatibility-list

KDE ESC มีช่วง PWM คงที่ ดังนั้นคุณต้องตั้งค่าช่วงเอาต์พุตของสัญญาณ PWM แต่ละตัวด้วยตนเอง เพื่อให้ RCx_MIN เป็น 1100 และ RCx_MAX คือ 1900us โดยใช้หน้าการตั้งค่าพารามิเตอร์ขั้นสูงหรือพารามิเตอร์แบบเต็มในการวางแผน

2.3.15 ปัญหา Pixhawk ESC

ESC บางตัวไม่ทำงานกับ Pixhawk /Pixhawk ควรทำงานร่วมกับ ESC ทุกตัวที่ทำงานร่วมกับเครื่องรับ RC ปกติ (เพราะส่งสัญญาณประเภทเดียวกัน) แต่มีข้อยกเว้นที่ทราบอยู่ หนึ่งข้อ คือEMAX ESC ในกรณีส่วนใหญ่ ปัญหาเกิดจากการเดินสายไม่ถูกต้อง เชื่อมต่อสัญญาณและกราวด์เสมอ ตรวจสอบประเภท ESC ของคุณเพื่อตัดสินใจว่าจะเชื่อมต่อสาย +5V อย่างไร สำหรับ Pixhawk คุณต้องเชื่อมต่อทั้งสัญญาณและกราวด์สัญญาณเพื่อให้ ESC ทำงานได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.4 บอร์ด Motor Driver รุ่น EVO24V120 Brushed DC

รูปที่ 2.41 แสดงภาพรวมของบอร์ด EVO24V120

ที่มา: http://www.smile-robotics.com/product/61/smile-robotics-evo24v120

EVO24V120 เป็นบอร์ดขับมอเตอร์กระแสตรงแบบชนิดแปรงถ่าน (brushed DC motor) แบบ H-bridge Driver โดยออกแบบให้มีความทนทานสูง สามารถต่อใช้งานง่ายรองรับการค าสั่งควบคุมได้หลายรูปแบบ เช่น การสั่งงานด้วยแรงดันแอนะล็อก การสั่งงานด้วยสัญญาณ PWM และการสั่งงานด้วยสัญญาณจาก R/C Receiverสามารถใช้ควบคุมดีซีมอเตอร์ได้ถึงขนาด [รออัพเดท] W ถูกพัฒนาให้ใช้ส าหรับรถตัดหญ้าบังคับวิทยุ หรือโปรเจคที่ต้องการใช้งานหนักต่อเนื่องเป็นระยะเวลายาวนาน ซึ่ง EVO24V120 สามารถขับกระแสต่อเนื่องได้สูงสุดถึง [รออัพเดท] A และขับกระแสชั่วขณะสูงกว่า [รออัพเดท] A (ค่ากระแสดังกล่าวอ้างอิงจากการทดสอบจริง ภายใต้การใช้งานที่เหมาะสม)แรงดันไฟฟ้าสูงสุดของการใช้งาน 36 V ในการรับสัญญาณอินพุตเพื่อควบคุมได้ออกแบบระบบแยกสัญญาณด้วย Opto-Isolator เพื ่อป้องกันสัญญาณรบกวนที ่อาจเกิดขึ้นจากมอเตอร์ และยังสามารถป้องกันกระแสไฟฟ้าย้อนกลับไปยังอุปกรณ์ส่วนควบคุม อีกทั้งยังมีระบบป้องกันในการใช้งานอื่น ๆ เช่น ระบบป้องกันการต่อไฟเลี้ยงกลับขั้ว ระบบตัดการท างานเมื่อเกิดอุณหภูมิสูงจากการขับกระแสเกินพิกัด ระบบแจ้งเตือนเมื่อระดับแบตเตอรี่ต่ำ เป็นต้น

คุณสมบัติ

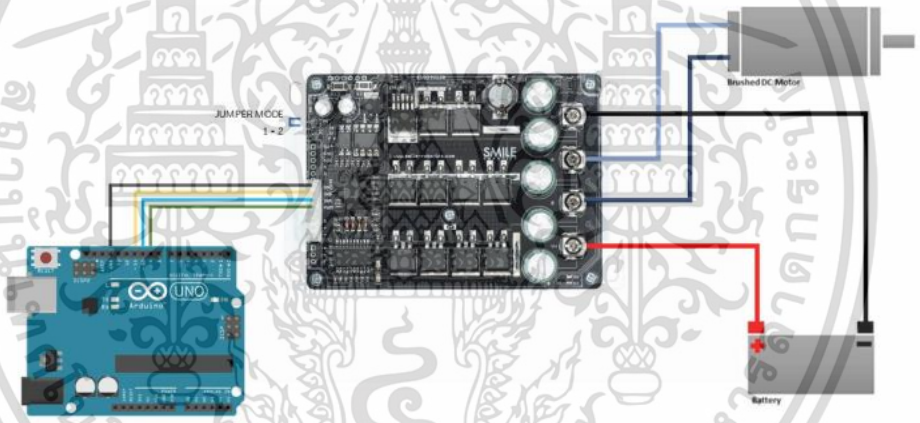
- H-bridge MOSFET driver
- ขับกระแสไฟฟ้าชั่วขณะสูงกว่า [รออัพเดท] A
- ขับกระแสไฟฟ้าต่อเนื่อง [รออัพเดท] A ที่แรงดัน 24 VDC
- แรงดันไฟฟ้าอินพุต VCC 11-36 VDC (สามารถรองรับได้สูงสุด 42V)
- แรงดันไฟฟ้าสูงสุดเอาต์พุตสูงสุด จะมีค่าเท่ากับ 0.98 เท่าของแรงดันใช้งาน (VCC) โดยสามารถเขียนแทนด้วยสมการ Voutput = 0.98 x VCC
- เชื่อมต่อการควบคุมได้หลายรูปแบบ Analog Mode / PWM Mode / R/C Mode
- แยกสุญญาณควบคุมไฟฟ้าด้วย Opto Isolator
- แสดงทิศทางการหมุนด้วย LED
- มีวงจรป้องกันการจ่ายไฟเลี้ยงกลับขั้ว

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- มีระบบเตือนระดับแรงดันแบตเตอรี่ต ่า ที่ผู้ใช้สามารถเลือกจดจ าค่าแรงดันปกติไว้ได้ (ประมาณ 80-85% ของแรงดันที่ถูกบันทึกไว้)
- ตัดการท างานเมื่อมีอุณหภูมิสูงเกินกว่า 110 C
- มีฮีทซิงค์ช่วยระบายความร้อน
- ความหนาชั้นทองแดงลายวงจร 2 oz
- ขนาด PCB 80 x 105 mm.
- น้ำหนัก 110 g

Operation Modes บอร์ดจะถูกแบ่งออกเป็น 3 โหมด ตามรูปแบบการต่อใช้งาน ดังนี้

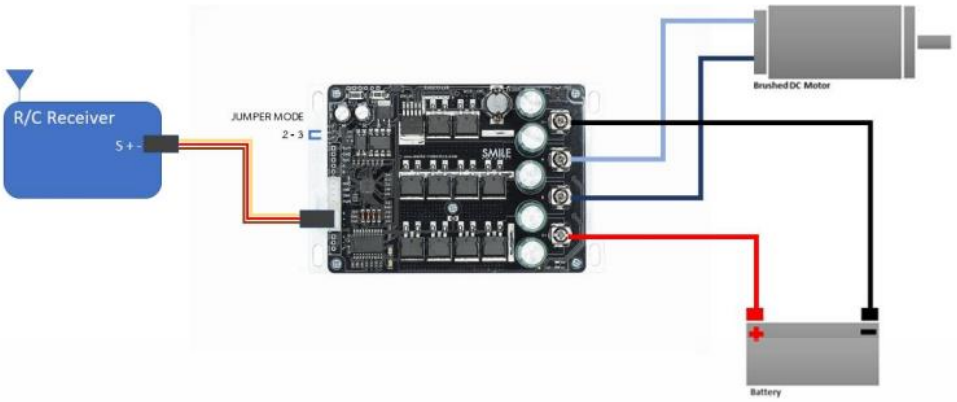
- PWM Mode เป็นการสั่งงานด้วยสัญญาณ PWM (Pulse Width Modulation) ในการควบคุมความเร็ว และใช้สัญญาณลอจิกป้อนให้กับ INA และ INB ในการควบคุมทิศทางการหมุนของมอเตอร์โดยทั่วไปใช้สั่งงานผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ หรือ ไมโครโปรเซสเซอร์ เช่น ARM, AVR ,PIC ,Arduino, NodeMCU และ Raspberry Pi เป็นต้น ในโหมดนี้จะสามารถรองรับความถี่สัญญาณ PWM ได้สูงสุดถึง 5 KHz



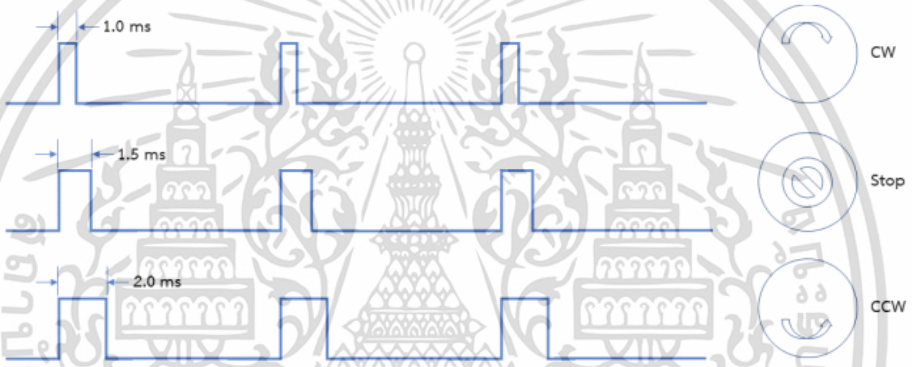
รูปที่ 2.42 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับไมโครคอนโทรลเลอร์
ที่มา: http://www.smile-robotics.com/product/61/smile-robotics-evo24v120

- R/C Mode เป็นการสั่งงานด้วยสัญญาณ Pulse ซึ่งมีความกว้าง 1ms.-2ms. ในการควบคุมความเร็วและทิศทางเช่นเดียวกันกับ R/C Servoโดยทั่วไปใช้สั่งงานผ่าน R/C Receiver ท าให้สามารถใช้รีโมทคอนโทรล R/C ทั่วไปในการควบคุมการท างานของมอเตอร์ได้โดยตรง อีกทั้งสามารถใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์ สร้างสัญญาณ Pulse เพื่อควบคุมบอร์ดขับมอเตอร์พร้อมกันหลายตัวโดยใช้สายไฟจำนวนน้อยลงได้อีกด้วย โดยในโหมดนี้บอร์ดขับมอเตอร์จะสร้างสัญญาณ PWM ไปยังมอเตอร์ที่ความถี่ 500 Hz.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



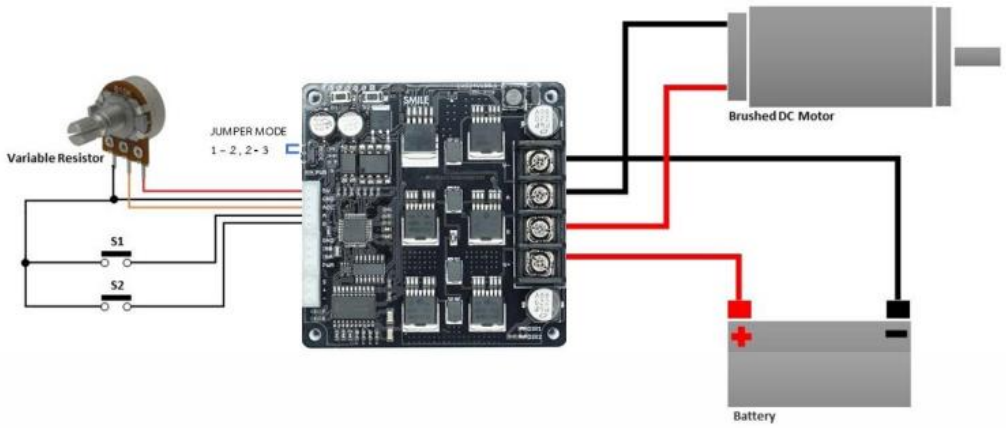
รูปที่ 2.43 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับ R/C Receiver
ที่มา: http://www.smile-robotics.com/product/61/smile-robotics-evo24v120



รูปที่ 2.44 แสดงลักษณะสัญญาณ PWM R/C ที่ใช้ในการควบคุมในรูปแบบ R/C Receiver Mode
ที่มา: http://www.smile-robotics.com/product/61/smile-robotics-evo24v120

- Analog Mode เป็นการสั่งงานด้วยสัญญาณที่มีระดับแรงดัน 0-5V เพื่อใช้ควบคุมความเร็ว และใช้สัญญาณลอจิกป้อนให้กับ A และ B (โหมดใช้งานนี้ไม่ผ่านระบบแยกสัญญาณด้วย Opto-Isolator) การต่อใช้งานที่เหมาะสมคือการต่อตัวต้านทานแบบปรับค่าได้ (Variable Resistor) เป็นวงจรแบ่งแรงดัน เพื่อปรับระดับแรงดัน ให้กับสัญญาณ ADC และสวิตช์ เพื่อป้อนลอจิก 0 ให้กับสัญญาณ A หรือ B เข้ากับวงจร เพื่อควบคุมความเร็วและทิศทางของมอเตอร์ได้โดยตรง ในโหมดนี้นั้นจะสามารถแทรกแซงระบบเพื่อควบคุมการท างานได้ทันที ไม่ว่าบอร์ดขับมอเตอร์นั้นจะทำงานอยู่ในโหมดใดก็ตาม โดยทั่วไปใช้ควบคุมการท างานของมอเตอร์ด้วยมือ ในขณะที่ท าการ Setup หรือ Reset อุปกรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.45 แสดงรูปแบบการต่อบอร์ด EVO24V120 ใช้งานร่วมกับตัวต้านทานปรับค่าได้และปุ่มกด
ที่มา: http://www.smile-robotics.com/product/61/smile-robotics-evo24v120

2.5 เซอร์โวมอเตอร์ (servo motor)

เป็นอุปกรณ์ แม่เหล็กไฟฟ้าแบบหนึ่งที่ใช้ในการหมุนตัวขับ (actuator) ไปยังตำแหน่งต่างๆ ด้วยความแม่นยำโดยใช้สัญญาณพัลส์เพื่อกำหนดตำแหน่งในการหมุน มักนิยมใช้ในรถบังคับวิทยุ เครื่องบินบังคับวิทยุหรือใช้ควบคุมแขนขาของหุ่นยนต์ส่วนใหญ่จะรู้จักกันภายใต้ชื่อว่า RC เซอร์โวมอเตอร์ โดยคำว่า RC มาจาก (Radio Control) หรือการบังคับด้วยวิทยุเนื่องจากในยุคแรก ๆของการพัฒนาเซอร์โวมอเตอร์จะถูกนำมาใช้ในงานวิทยุบังคับเป็นหลัก

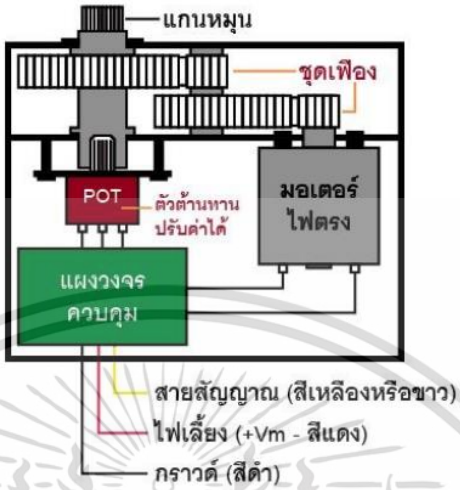
โดยปกติแล้วเซอร์โวมอเตอร์ที่ยังไม่ได้รับการปรับแต่งใดๆ นั้นจะใช้ในการควบคุมตำแหน่งของอุปกรณ์ การบังคับเลี้ยวของรถบังคับวิทยุ หรือใช้สำหรับปรับหางเสือของเรือหรือเครื่องบิน ซึ่งงานเหล่านี้ต้องการแรงบิดของมอเตอร์ที่สูงพอสมควร ดั้งนั้นเซอร์โวมอเตอร์จึงต้องมีอัตราทดที่มากพอเพื่อให้สามารถรองรับงานดังกล่าวได้ เซอร์โวมอเตอร์มาตรฐานจะมีมุมในการหมุนอยู่ระหว่าง 90 ถึง 180 องศา แล้วแต่ผู้ผลิต แต่ที่นิยมมากที่สุดคือ 0ถึง 180องศา และในบางรุ่นของบางผู้ผลิตจะสามารถดัดแปลง ให้หมุนได้ครบ 360 องศาด้วย

ปัจจุบันเซอร์โวมอเตอร์มีด้วยกันหลาย ชนิด คือชนิดอะนาลอกและดิจิตอลรูปร่างภายนอกของเซอร์โวมอเตอร์ทั้งสองชนิดจะคล้ายกันมากความแตกต่างจะอยู่ที่วงจรควบคุมที่อยู่ภายใน โดยในชนิดอะนาลอกจะใช้วงจรอิเล็กทรอนิกส์ที่ประกอบด้วยอุปกรณ์สารกึ่งตัวนำจำพวก ทรานซิสเตอร์ มอสเฟต หรือไอซีออปแอมป์เป็นหลัก ในขณะที่ชนิดดิจิตอลจะใช้ไมโครโพรเซสเซอร์หรือไมโครคอนโทรลเลอร์เป็นตัวควบคุมหลัก

1. โครงสร้างของเซอร์โวมอเตอร์ ภายในเซอร์โวมอเตอร์ประกอบด้วย มอเตอร์ไฟตรงขนาดเล็ก,ชุดเฟืองทด,แผงวงจรควบคุม และตัวต้านทานปรับค่าได้ (POT ; Potentiometer) โดยแผงวงจรควบคุมจะมีวงจรป้อนกลับ เพื่อให้เซอร์โวมอเตอร์รับรู้ตำแหน่งของตัวเองได้โดยผู้ใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เพียงส่งสัญญาณพัลส์ออกไปควบคุมเท่านั้น ดังแสดงไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์ แกนของมอเตอร์ไฟตรงจะต่อเข้ากับชุดเฟืองเพื่อลดความเร็วรอบลงส่งผลให้แรงบิดที่แกนหมุนมากขึ้น ทั้งหมดทำงานร่วมกันภายใต้ความสัมพันธ์

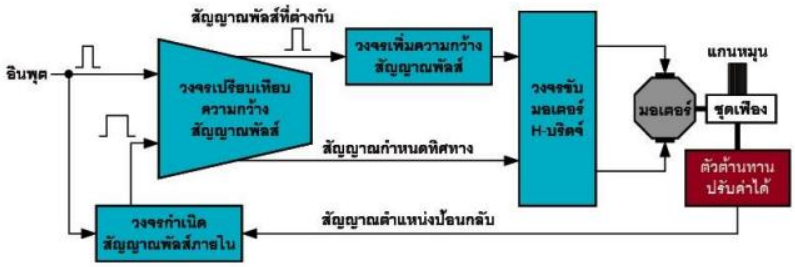


รูปที่ 2.46 แสดงไดอะแกรมการทำงานของเซอร์โวมอเตอร์
ที่มา: https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์/

2. คุณสมบัติทางเทคนิคที่สำคัญของเซอร์โวมอเตอร์มี 2 ค่าคือความเร็ว (speed) และแรงบิดหรือทอร์ค (torque) ความเร็วหมายถึง ระยะเวลาที่ทำให้แกนหมุนของมอเตอร์เคลื่อนที่สู่ตำแหน่งมุมที่กำหนด อาทิเซอร์โวมอเตอร์ตัวหนึ่งมีความเร็ว 0.15 วินาทีสำหรับ 60 องศา หมายถึงเซอร์โวมอเตอร์ตัวนี้สามารถขับให้แกนหมุนเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งมุม 60องศาภายในเวลา 0.15 วินาที ส่วนแรงบิดมักจะปรากฏในหน่วยของ ออนซ์-นิ้ว (Ounce-inches : oz-in) หรือ กิโลกรัมเซนติเมตร (kg-cm) เป็นคุณสมบัติที่จะบอกต่อผู้ใช้งาน ว่าเซอร์โวมอเตอร์ตัวนี้มีแรงในการขับโหลดที่มีน้ำหนักในหน่วยออนซ์ให้สามารถเคลื่อนที่ไปได้ 1 นิ้วหรือน้ำหนักในหน่วยกิโลกรัมให้เคลื่อนที่ไปได้ 1 เซนติเมตร (น้ำหนัก 1 ออนซ์เท่ากับ0.028กิโลกรัมโดยประมาณ หรือ 1 กิโลกรัม เท่ากับ 35.274 ออนซ์)

3. การทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดอะนาลอกการหมุนของเซอร์โวมอเตอร์นั้นจะไม่ได้หมุนเป็นอิสระเหมือนมอเตอร์ทั่ว ๆ ไปโดยช่วงระยะการหมุนปกิจะอยู่ระหว่าง 90 ถึง 180 องศา ตำแหน่งการหมุนของแกนมอเตอร์ใน เซอร์โวมอเตอร์นี้สามารถควบคุมได้อย่างแม่นยำ เนื่องจากภายในเซอร์โวมอเตอร์มีวงจรอิเล็กทรอนิกส์ ทำหน้าที่ตรวจสอบตำแหน่งของเซอร์โวมอเตอร์อยู่ตลอดเวลา ลักษณะการตรวจสอบจะใช้การป้อนกลับค่าตำแหน่งจากตัวต้านทานปรับค่าได้แล้วนำค่านี้ไป เปรียบเทียบกับค่าพัลส์ที่ป้อนเข้าทางขาควบคุมค่าของผลต่างที่ได้จะไปปรับตำแหน่งของมอเตอร์ไค่าผลต่างก็จะได้ตำแหน่งของมอเตอร์ที่แม่นยำ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

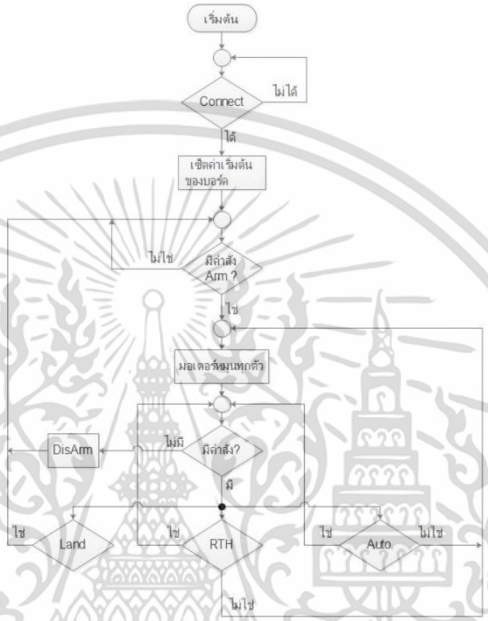


รูปที่ 2.47 ไดอะแกรมการทำงานของแผงวงจรควบคุมในเซอร์โวมอเตอร์ชนิดอะนาลอก
ที่มา: https://www.inventor.in.th/home/เซอร์โวมอเตอร์/

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3
การออกแบบ

3.1 โครงสร้างของเรือไฟฟ้าและการทำงานร่วมกันระหว่างบอร์ด



รูปที่ 3.1 Flowchart แสดงการทำงานของเรืออัตโนมัติ

จาก Flowchart แสดงการทำงานของเรืออัตโนมัติดังภาพที่ เมื่อทำการเชื่อมต่อกับแอพพลิเคชั่นบนคอมพิวเตอร์และโน๊ตบุตได้แล้ว บอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ Pixhawk จะทำการเซ็ตค่าเริ่มต้น และรอรับค่า สั่ง Arm เพื่อหมุนมอเตอร์ ให้มอเตอร์แต่ละตัวหมุนจนครบ จากนั้นก็จะรอรับค่า สั่งจากแอพพลิเคชันบนคอมพิวเตอร์และโน๊ตบุต เพื่อทำการเคลื่อนที่ต่อไป

รูปที่ 3.2 ภาพรวมของระบบ

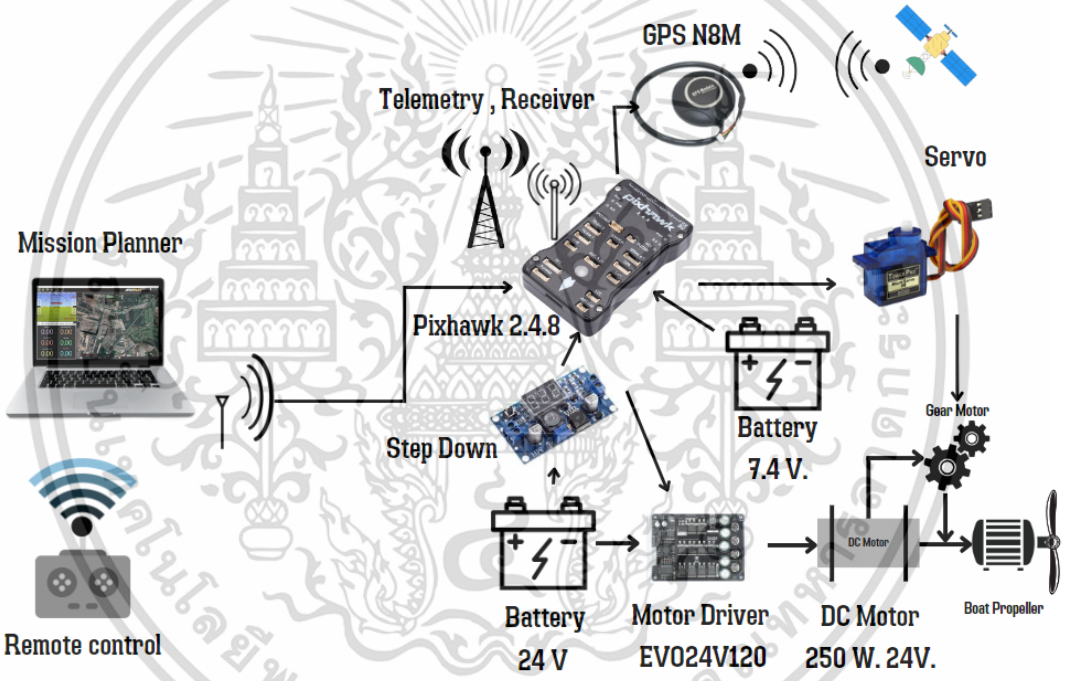
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จากภาพรวมของระบบ (ภาพที่ 3.4) ผู้ใช้จะต้องเข้าระบบโดยผ่านแอพพลิเคชั่น เพื่อสั่งงานเรืออัตโนมัติส่งของควบคุมผ่านเรือคอมพิวเตอร์และโน๊ตบุต โดยต้องเชื่อมต่อตัวรับ-ส่งสัญญาณ Telemetry และส่งค่าคำสั่งผ่านทางเครือข่ายไร้สายไปยังบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อทำให้ระบบทำงาน

3.1.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน

ขั้นตอนที่ 1 ออกแบบระบบควบคุมเรือ

การออกแบบระบบควบคุมเรืออัตโนมัติ จะมีอุปกรณ์การออกแบบ ดังรูปที่ 1 แต่ละอุปกรณ์มีหน้าที่และการใช้งาน ดังในรูป 2 และบอร์ด Pixhawk การติดต่ออุปกรณ์ใช้งาน ดังตารางที่ 1 และเรือบังคับอัตโนมัติที่ได้ออกแบบให้มีรูปทรงพื้นฐานดังรูปที่ 3

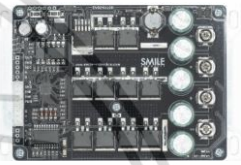


รูปที่ 3.3 วงจรระบบควบคุมเรือบังคับอัตโนมัติ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ลำดับที่	อุปกรณ์	หน้าที่และการใช้งาน	รูป
1	Pixhawk 2.4.8	บอร์ดควบคุมการทำงานของอุปกรณ์ โดยรับข้อมูลการทำงานจากคอมพิวเตอร์และจีพีเอส	
2	Remote FS-I6X	สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายระหว่าง Remote FS-I6X กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
3	Telemetry Radio V3 100mW – 915MHz	สื่อสารข้อมูลแบบไร้สายระหว่างคอมพิวเตอร์กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
4	GPS N8M	ส่งข้อมูลสัญญาณให้บอร์ด Pixhawk 2.4.8	
5	Receiver FS-IA6B	ตัวรับส่งสัญญาณไร้สายระหว่าง Remote FS-I6X กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
6	LI-PO Battery 7.4V.	จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8	
7	แบตเตอรี่แห้ง 24V. 18A.	จ่ายไฟเลี้ยงให้กับบอร์ด Pixhawk 2.4.8 แต่ต้องผ่าน Step Down เพื่อที่จะแปลงไฟจาก 24 โวลต์ลดให้เหลือ 7 โวลต์ หลังจากนั้นก็จะใช้ไฟ 7 โวลต์ ให้กับเซอร์โว 35 Kg และยังจ่ายไฟให้กับ Motor Driver	

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

8	Step Down 3A	ปรับแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 7 โวลต์และจ่ายให้กับ Pixhawk 2.4.8 เพื่อทำการสั่งงานเซอร์โวให้ได้แรงดึงเยอะ	
9	Servo 8.4 V 35Kg	รับข้อมูลจากบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ไปสั่งการควบคุมการทำงานมอเตอร์เซอร์โว	
10	Motor 24V 250W	ขับเคลื่อนเรือ	
11	Motor Driver EV024V120 DC	รับข้อมูลจากบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ไปสั่งการควบคุมการทำงานมอเตอร์ DC	
12	คอมพิวเตอร์	รับส่งข้อมูลสัญญาณ	

ตารางที่ 3.1 อุปกรณ์ของระบบควบคุมเรือบังคับอัตโนมัติ

ลำดับที่	Pin	การใช้งานกับอุปกรณ์	คุณสมบัติ
1	2	Telemetry	รับส่งข้อมูลแบบ UART
2	6	Power module	แปลงไฟเลี้ยงเข้าบอร์ด
3	7	Switch	เปิด - ปิด การใช้มอเตอร์
4	8	Buzzer	ส่งเสียงเตือน
5	10	GPS	รับข้อมูลแบบ UART
6	12	Compass	รับข้อมูลแบบ UART

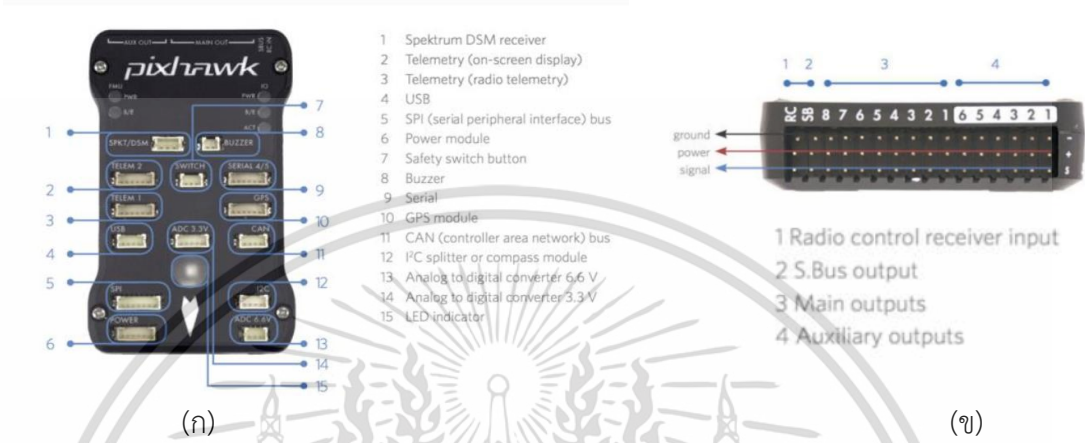
ตารางที่ 3.2 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านบน)

ลำดับที่	Pin (main output)	การใช้งานกับอุปกรณ์	คุณสมบัติ
1	RC	Receiver	รับส่งข้อมูลแบบ UART
2	1	Servo	สร้างสัญญาณ PWM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3	3	Motor	สร้างสัญญาณ PWM
4	5	Servo	สร้างสัญญาณ PWM
5	8	Step Down	ลดแรงดันไฟฟ้า

ตารางที่ 3.3 บอร์ด Pixhawk กับการต่ออุปกรณ์ (ด้านล่าง)



(ก) (ข)

รูปที่ 3.4 Pixhawk connectors (ด้านบน)¶

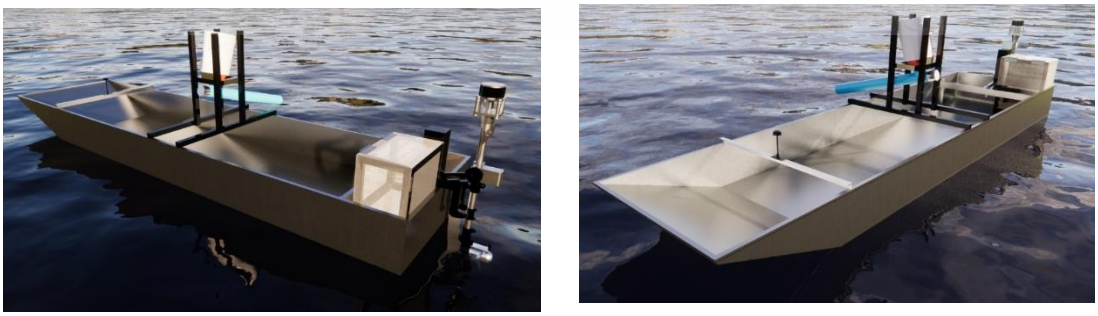
(ก) บอร์ด Pixhawk connectors

(ข) ตัวเชื่อมต่อสัญญาณ PWM (ด้านล่าง)

ที่มา: https://ardupilot.org/copter/docs/common-pixhawk-overview.html

3.2 Pixhawk และ ระบบควบคุมนำทาง

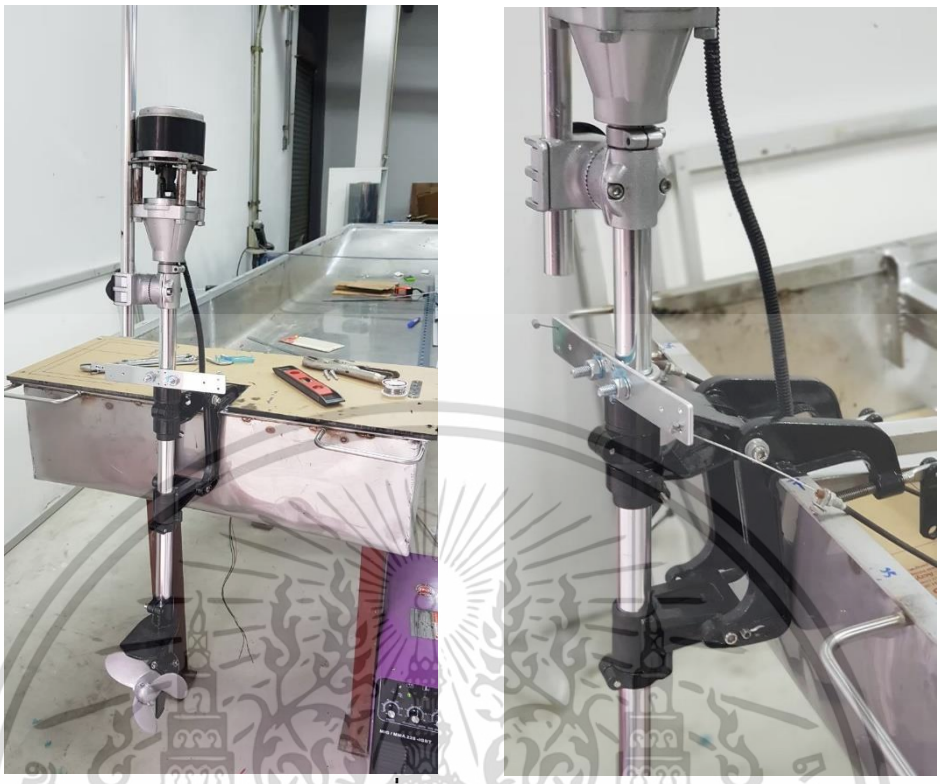
การสั่งการผ่าน บอร์ด Pixhawk 2.4.8 และการบังคับของเรือจาก Remote control บอร์ด Pixhawk 2.4.8 จะปล่อยคลื่นความถี่ของสัญญาณ Radio ที่ 2.4 GHz และ สัญญาณ 433 MHz – 915 MHz มาที่จากเสาปล่อยความถี่ของ Telemetry ที่ต่อกับบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ซึ่งที่เรือนั้นก็จะได้รับการติดตั้งตัวรับสัญญาณจาก Remote control หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า Radio receiver ความถี่ 2.4 GHz. และตัวรับสัญญาณ Telemetry ที่คลื่นสัญญาณ 433 MHz. – 915 MHz. เช่นกัน และตัวบอร์ด Pixhawk 2.4.8 นี้เองจะมีหน้าที่ควบคุมการทำงานของ Radio receiver (RC) , channel 1 , channel 2 , channel 3 และ channel 5



รูปที่ 3.5 รูปทรงออกแบบเรืออัตโนมัติ

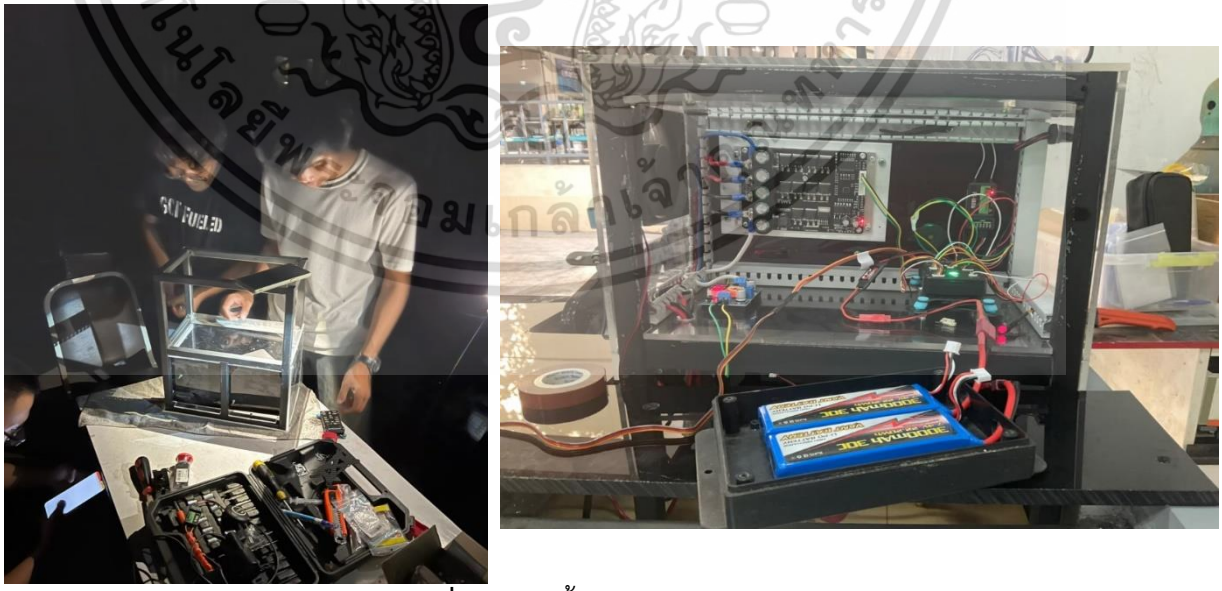
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 2 ติดตั้ง Hardwareรูปที่



รูปที่ 3.6 หางเสือเรือ

ติดตั้งมอเตอร์เข้ากับหางเสือเรือจากนั้นก็ยึดหางเสือเรือที่กลางท้ายเรือ จากนั้นก็ทำการเจอะยึดแขนหางเสือเรือ เพื่อที่จะเป็นตัวดึงหางเสือเรือระหว่างเซอร์โวมอเตอร์



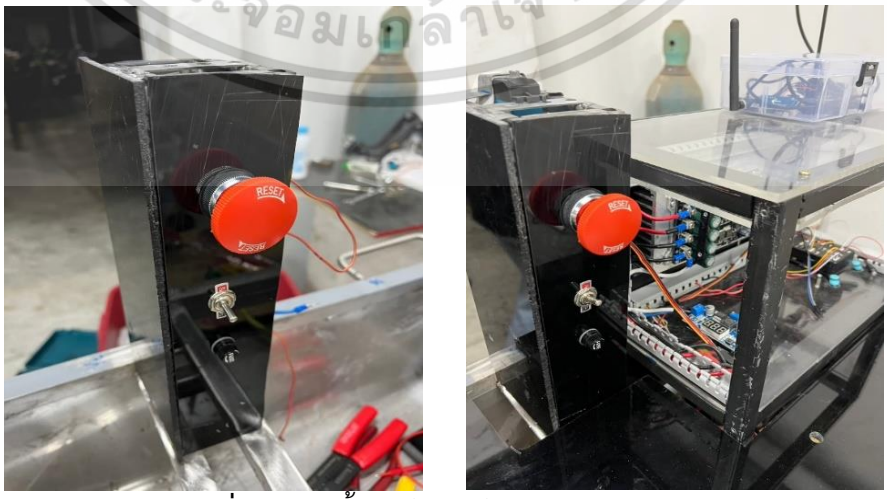
รูปที่ 3.7 ติดตั้งตู้คอนโทรล

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เชื่อมกล่องคอนโทรล และติดตั้งชุดบอร์ด Pixhawk 2.4.8 , Motor Driver , Step Down และ Receiver พร้อมทั้งติดตั้งพัดลมระบายความร้อน เนื่องจาก Motor Driver มีการทำงานแบบต่อเนื่องทำให้ชุด Motor Driver ร้อน และในกล่องคอนโทรลนั้นไม่มีจุดระบบความร้อน จึงจำเป็นต้องติดตั้งพัดลมระบบความร้อนขึ้นมา เพื่อทำให้อุณหภูมิในกล่องคอนโทรลลดลง

รูปที่ 3.8 ติดตั้งชุดวางเซอร์โว

เชื่อมเสายึดเซอร์โวมอเตอร์เนื่องจากการติดตั้งเซอร์โวมอเตอร์ไว้ด้านลงนั้น ในมุมองศาของแขนเซอร์โวเหวี่ยงติดกับตู้คอนโทรล เลยจำเป็นต้องยกมอเตอร์ขึ้นมาโดยการเชื่อมเสาจุดยึดมอเตอร์ซึ่งจะได้ติดตั้งได้ง่าย และองศาที่แขนเซอร์โวเหวี่ยง โดยที่ใช้สลิงในการดึงระหว่างหางเสือและเซอร์โว



รูปที่ 3.9 ติดตั้งฟิวส์ สวิตช์ และ ปุ่ม RESET

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

(ก)

(ข)

(ค)

รูปที่ 3.10 ทดสอบน้ำหนัก

(ก) ทดสอบน้ำหนัก 1 คน

(ข) ทดสอบน้ำหนัก 2 คน

(ค) ทดสอบน้ำหนัก 3 คน

ทำการลดลองเรือลงน้ำและทดสอบการรับน้ำหนักของเรือ

รูปที่ 3.12 เรืออัตโนมัติที่เสร็จสมบูรณ์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ 3 ตั้งค่า Software

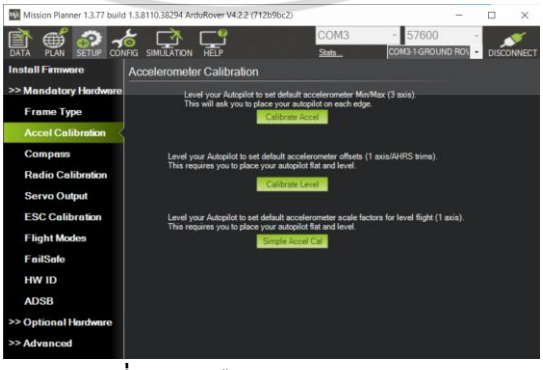
เชื่อมต่อ Telemetry ระหว่างบอร์ด Pixhawk 2.4.8 กับคอมพิวเตอร์เพื่อให้สามารถสั่งงานและปรับเซ็ตค่าต่าง ๆ ได้ โดยการเลือกที่การเชื่อมต่อ COM 3 และเลือกสัญญาณที่ 57600 เพื่อที่จะให้ Telemetry ที่รับส่งระหว่างคอมพิวต่อนั้นจับคู่กันได้

รูปที่ 3.13 ตั้งค่า Software

เมื่อเชื่อมต่อ Telemetry เสร็จ Pixhawk นั้นจำเป็นต้องลง Firmware ก่อนที่จะคอมพายบอร์ด ซึ่งการเลือก Firmware นั้นขึ้นอยู่กับว่าเราใช้งานในลักษณะไหน ตามความเหมาะสมของงาน โดยที่กลุ่มเรืออัตโนมัติได้ลง Firmware เป็น ArduRover ซึ่งตรงตามคุณสมบัติทางกลุ่มได้กำหนดไว้

รูปที่ 3.14 ลง Firmware

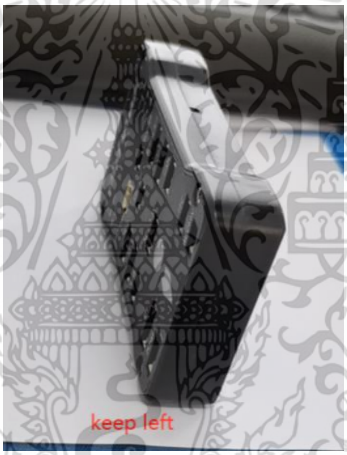
จากที่ลง Firmware เรียบร้อยหลังจากนั้นจะทำการคอม Calibrate Level บอร์ด Pixhawk 2.4.8 ซึ่งในการ Calibrate Level ก็จะทำตามที่โปรแกรมนั้นแจ้ง จากนั้นก็คลิก Ok ก็จะเป็นการเสร็จสิ้นการ Calibrate Level ซึ่งจะเป็นการ Calibrate Level ในส่วนของ Gyro ซึ่งจะมีขึ้นตอนดังในรูปดังนี้



รูปที่ 3.15 เลือก Calibrate Level

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.16 วางบอร์ด Pixhawk เป็นแนวนอน แล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า
ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html

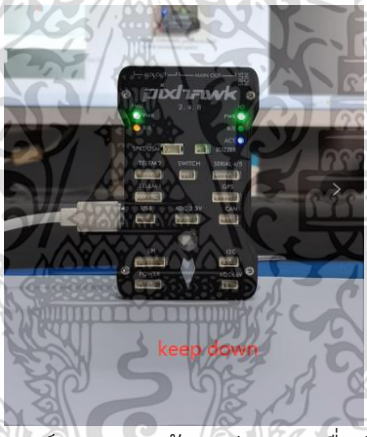


รูปที่ 3.17 วางบอร์ดไว้ทางด้านซ้ายแล้วกดแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า
ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 3.18 วางบอร์ดไว้ทางด้านขวาแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า

ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html



รูปที่ 3.19 วางบอร์ดลงและแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า

ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html

รูปที่ 3.20 วางบอร์ดขึ้นและกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า

ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

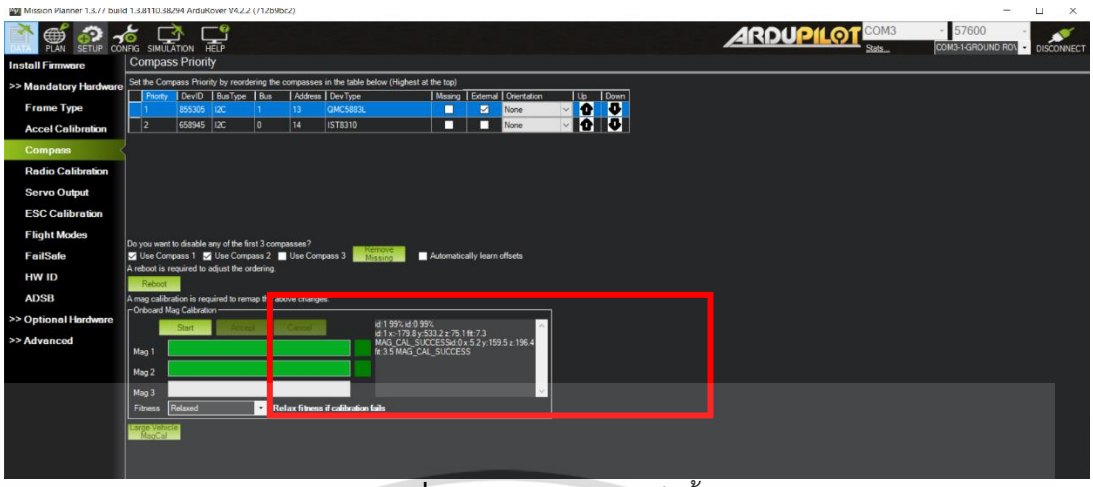
รูปที่ 3.21 วางบอร์ดไว้ที่ด้านหลังแล้วกดปุ่ม ok เพื่อบันทึกการตั้งค่า
ที่มา: http://pix.rctoysky.com/accelerometer-calibration.html

3.3 การใช้งานโปรแกรมควบคุม

จากที่ Calibrate Level เรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการ Compass ในส่วนของ GPS และเข็มทิศ โดยที่สามารถเลือกระดับ Fitness ได้ ยิ่งเลือกระดับความยาก Fitness ความยาก ในการ Fitness ก็จะทำให้ GPS และเข็มทิศนั้นมีค่า Error ที่น้อยลง หลังจากที่เลือกความยากได้แล้วก็จะทำการเริ่ม Compass โดยที่เมื่อกด start จะต้องทำการหมุน 360 องศา แต่จะต้องหมุนให้อยู่กับที่ที่หลักจากที่ Compass เสร็จ โปรแกรมก็จะขึ้นแจ้งเตือนว่าการ Compass เสร็จสิ้น

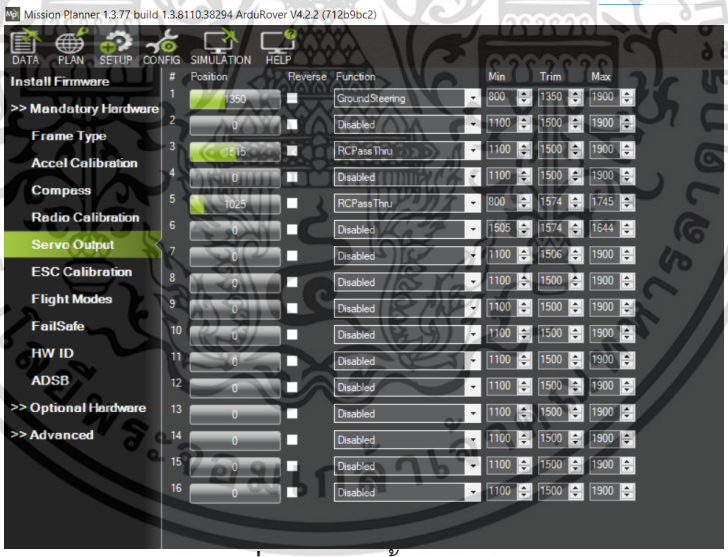
รูปที่ 3.22 หมุนกล่องคอนโทรล Pixhawk 2.4.8 360 องศา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.23 Compass เสร็จสิ้น

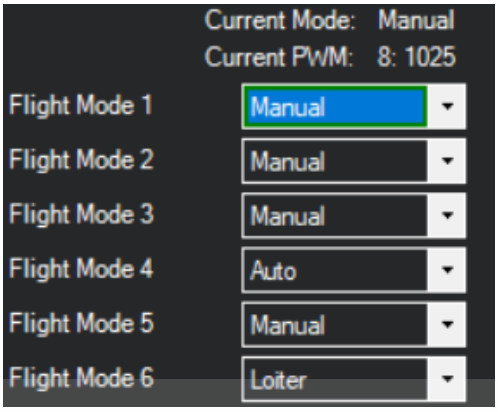
จากที่คอมพาย GPS และ เข็มทิศเสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการเสียบช่องสัญญาณที่กำหนดไว้ในตารางที่ 2 โดยที่ Pin 1 นั้นเป็นเซอร์โวเลี้ยวหางเสือเรือ ซึ่งจะสามารถกำหนดสัญญาณ PWM ที่ Min 800 Trim 1350 และ Max 1900หลังจากนั้นก็นำครึ่งวงกลมมาวัดองศาเลี้ยว ซึ่งกำหนดวงเลี้ยวหางเสือซ้ายขวาที่ 45 องศา โดยที่สามารสปรับความเร็วของเซอร์โวในการทำงานได้ แต่ก็ขึ้นอยู่กับเงื่อนไขว่าเซอร์โวที่ใช้อยู่นั้นมีความเร็วในการหันเท่าไหร



รูปที่ 3.24 การตั้งค่าเซอร์โว

หลักจากที่เซ็ทเซอร์โวที่ Pin 1 จากนั้นก็ทำการเสียบที่ Pin 3 ที่เป็นมอเตอร์ขับเคลื่อนเรือโดยที่ Pin 3 นั้นต้องต่อสัญญาณ PWM กับบอร์ด Motor Driver กล่าวคือบอร์ด Pixhawk 2.4.8 นั้นจะเป็นตัวกำหนดสัญญาณ PWM ให้กับ Motor Driver จากนั้น Motor Driver ก็จะสั่ง Motor ทำงานอีกที ซึ่งก็จะสามารถเซ็ทค่าการปล่อยสัญญาณ PWM จากบอร์ด Pixhawk 2.4.8 ได้

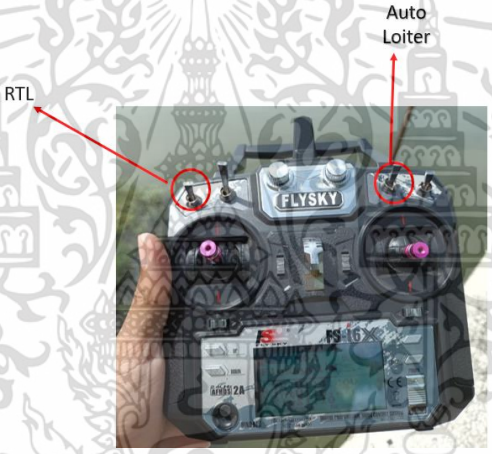
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



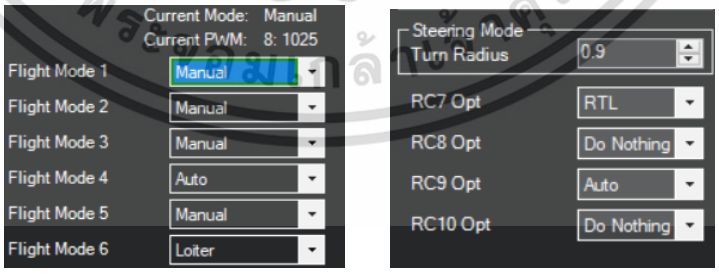
รูปที่ 3.25 Flight Modes

Flight Modes โดยที่ทางโปรเจคเรือมีการกำหนดไว้ดังนี้

กำหนดคำสั่งในการทำงานของรีโมท



(ก)



(ข)

รูปที่ 3.26 รีโมท

(ก) แสดงการตั้งค่า

(ข) Flight Modes

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.4 การคำนวณหาค่าพิกัด Error ทาง GPS

คำนวณทาง GPS หาค่า Error ของ GPS ระหว่าง 2 จุด จากบทที่ 2 จะทำการคำนวณดังนี้

$$C = \sqrt{(\mathrm{dlat}^2 \ + \ \mathrm{dlog}^2)}$$

หา dlat = lat 1 - lat 2

หา dlog = log 1 – log 2

แปลงเป็น km = องศา/(องศา/km)

แปลงเป็น m = 1000 x km

ความหมาย

c = ความห่างระหว่าง 2 ตำแหน่ง

dlat = ค่าที่ lat1 lat2 ลบกัน

dlog = ค่าที่ log1 lat2 ลบกัน

องศา = ระยะห่างระหว่างเส้นละติจูด 1 องศา คิดเป็นระยะทางบนผิวพิภพประมาณ 108.4 กิโลเมตร

Km = กิโลเมตร

ซึ่งเมื่อทำการตั้งค่าพิกัดแล้ว ก็จะนำค่าพิกัดที่ตั้งว่าหาค่ากับพิกัดที่เรือเดินจริง ซึ่งจะได้ค่าพิกัดดังนี้

พิกัดที่ตั้ง	พิกัดที่เรือวิ่งได้
13.681426,100.8271752	13.6814268,100.8271704

ดังนั้น จากสูตร $C = \sqrt{(lat1 - lat2)^2 \ + (log1 - log2)^2}$

แทนค่า $\sqrt{(13.681426 - 13.6814268)^2 + (100.8271752 - 100.8271704)^2}$

$$= 4.866210027 \times 10^{-6}$$

แปลงเป็น $\mathrm{Km} \ = \dfrac{4.866210027 \times 10^{-6}}{\dfrac{1}{108.4}} = 5.274971666 \times 10^{-4}$

แปลงเป็น $\mathrm{m} = \ 5.274971666 \times 10^{-4} \ \times 1000 = 0.527$

ดังนั้น ค่า Error ของพิกัดที่ตั้ง 13.681426,100.8271752 เรือวิ่งได้ 13.6814268,100.8271704 มีค่า Error ระหว่าง 2 จุด อยู่ที่ 0.527 หรือ 0.5 m

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4
ผลและวิจารณ์ผล

หลังจากศึกษาและเก็บข้อมูลของ โปรแกรม Mission Planner มีผลต่อระบบ GPS จนนำไปสู่การทดลองหาค่า Error ของพิกัดระหว่างจุดสองจุด ทำการวัดค่าจาก โปรแกรม Mission Planner ซึ่งในบทนี้จะกล่าวถึงผลการทดลองและการดำเนินงานในส่วนของการทดลองประกอบไปด้วย

1. หาระยะทางระหว่างตำแหน่ง 2 ตำแหน่ง โดยใช้ค่า ละติจูด ลองติจูด มาคำนวณ
2. ทดสอบความเร็วต่อ GPS

โดยการทดลองนี้ จะใช้รูปแบบการตั้งWaypoint รูปต่างๆที่น้ำหนักของโหลดที่ 300kg และความเร็วที่เหมาะสม

4.1 ผลการทดลองกับสถานที่จริง

4.1.1 ผลการทดลองวัดพิกัดจากโปรแกรม Mission planner กับค่าพิกัด Google map

ตารางที่ 4.1 ตั้งWaypoint รูปสี่เหลี่ยม

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด(ครั้งที่1)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.681426	13.6814268	100.8271752	100.8271704	0.527
Waypoint 2	13.6816696	13.6816598	100.8270089	100.8270313	2.650
Waypoint 3	13.6815537	13.6815228	100.8267622	100.8267751	3.629
Waypoint 4	13.6813048	13.6813242	100.8269614	100.8269025	6.722

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด(ครั้งที่2)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.681426	13.6814142	100.8271752	100.8271989	2.983
Waypoint 2	13.6816696	13.6816487	100.8270089	100.8270289	0.657
Waypoint 3	13.6815537	13.6815682	100.8267622	100.8267812	2.590
Waypoint 4	13.6813048	13.6813242	100.8269614	100.8269025	6.722

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด(ครั้งที่3)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.681426	13.6814159	100.8271752	100.8272026	3.165
Waypoint 2	13.6816696	13.6816582	100.8270089	100.8270328	2.870
Waypoint 3	13.6815537	13.6815311	100.8267622	100.8267666	2.495
Waypoint 4	13.6813048	13.6812979	100.8269614	100.8269295	3.537

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่1 = 3.382 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่2 = 3.143 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่3 = 3.016 เมตร

รูปที่ 4.1 Waypoint รูปสี่เหลี่ยม

ตารางที่ 4.2 ตั้งWaypoint รูปวงกลม

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่1)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6817505	13.6818015	100.8269271	100.8269108	5.803
Waypoint 2	13.6817161	13.6816461	100.8270359	100.8270852	9.281
Waypoint 3	13.6816262	13.6816488	100.8271032	100.8270835	3.249
Waypoint 4	13.681515	13.6815341	100.8271032	100.8271203	4.135

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Waypoint 5	13.6814251	13.6814430	100.8270359	100.8270610	3.341
Waypoint 6	13.6813907	13.6813907	100.8269271	100.8269571	3.252
Waypoint 7	13.6814251	13.6814035	100.8268183	100.8268348	2.946
Waypoint 8	13.681515	13.6814887	100.8267511	100.8267587	2.967
Waypoint 9	13.6816262	13.6816034	100.8267511	100.8267422	2.653
Waypoint 10	13.6817161	13.6817049	100.8268183	100.8267932	2.979
Waypoint 11	13.6817505	13.6817501	100.8269271	100.8269012	2.807

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่2)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6817505	13.6818015	100.8269271	100.8269108	5.803
Waypoint 2	13.6817161	13.6817388	100.8270359	100.8270237	2.793
Waypoint 3	13.6816262	13.6816488	100.8271032	100.8270835	3.249
Waypoint 4	13.681515	13.6815399	100.8271032	100.8271203	4.135
Waypoint 5	13.6814251	13.6814430	100.8270359	100.8270610	3.341
Waypoint 6	13.6813907	13.6813907	100.8269271	100.8269571	3.252
Waypoint 7	13.6814251	13.6814035	100.8268183	100.8268348	2.946
Waypoint 8	13.681515	13.6814863	100.8267511	100.8267600	3.257
Waypoint 9	13.6816262	13.6816003	100.8267511	100.8267417	2.986
Waypoint 10	13.6817161	13.6817049	100.8268183	100.8267932	2.979
Waypoint 11	13.6817505	13.6817501	100.8269271	100.8269012	2.807

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่3)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6817505	13.6818015	100.8269271	100.8269108	5.803
Waypoint 2	13.6817161	13.6817366	100.8270359	100.8270209	2.753
Waypoint 3	13.6816262	13.6816477	100.8271032	100.8270927	2.593
Waypoint 4	13.681515	13.6815430	100.8271032	100.8271121	3.184

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Waypoint 5	13.6814251	13.6814413	100.8270359	100.8270552	3.320
Waypoint 6	13.6813907	13.6813904	100.8269271	100.8269531	2.818
Waypoint 7	13.6814251	13.6814104	100.8268183	100.8268391	2.760
Waypoint 8	13.681515	13.6815015	100.8267511	100.8267533	1.482
Waypoint 9	13.6816262	13.6816032	100.8267511	100.8267461	1.693
Waypoint 10	13.6817161	13.6817013	100.8268183	100.8267974	2.776
Waypoint 11	13.6817505	13.6817468	100.8269271	100.8268975	3.233

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 1 = 3.946 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 2 = 3.413 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 3 = 2.946 เมตร

รูปที่ 4.2 Waypoint รูปวงกลม

ตารางที่ 4.3 ตั้งWaypoint รูปสลับฟันปลา

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่ 1)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6812722	13.6812549	100.8269647	100.8269846	2.858
Waypoint 2	13.6815042	13.6814774	100.82076	100.8270873	6.854
Waypoint 3	13.6814898	13.6814782	100.826797	100.8268246	3.245
Waypoint 4	13.6816775	13.6816467	100.8269566	100.8269365	3.986
Waypoint 5	13.6816892	13.6816773	100.8269566	100.8266950	4.254
Waypoint 6	13.6818677	13.6818419	100.8268091	100.8267949	5.192

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่ 2)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6812722	13.6812490	100.8269647	100.8269684	2.546
Waypoint 2	13.6815042	13.6814793	100.82076	100.8270634	6.854
Waypoint 3	13.6814898	13.6814790	100.826797	100.8268217	3.801
Waypoint 4	13.6816775	13.6816572	100.8269566	100.8269415	2.742
Waypoint 5	13.6816892	13.6816734	100.8269566	100.8266930	4.687
Waypoint 6	13.6818677	13.6818525	100.8268091	100.8268164	5.894

ตำแหน่ง	ค่าพิกัดละติจูด ลองติจูด (ครั้งที่ 3)				
	ละติจูด (Google map)	ละติจูด (ค่าจริง)	ลองติจูด (Google map)	ลองติจูด (ค่าจริง)	ค่าerrorจากค่าจริง (เมตร)
Waypoint 1	13.6812722	13.6812755	100.8269647	100.8269330	3.454
Waypoint 2	13.6815042	13.6814776	100.82076	100.8270830	6.854
Waypoint 3	13.6814898	13.6814806	100.826797	100.8268245	3.143
Waypoint 4	13.6816775	13.6816496	100.8269566	100.8269573	3.025
Waypoint 5	13.6816892	13.6816752	100.8269566	100.8266882	4.547
Waypoint 6	13.6818677	13.6818390	100.8268091	100.8268056	5.674

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 1 = 4.352 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 2 = 4.420 เมตร

ค่า error เฉลี่ย ครั้งที่ 3 = 4.449 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่ 4.3 Waypoint รูปสลับฟันปลา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่5
สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

จากการดำเนินงานโครงการ เรือไฟฟ้าควบคุมด้วย GPS ทางผู้จัดทำสามารถสรุปผลของการทดลองได้ดังนี้

ผลจากการศึกษาข้อมูล ค้นคว้าและการเก็บรวบรวมข้อมูลและการวิเคราห์ข้อมูลตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือไฟฟ้าควบคุมด้วย GPS พบว่า ตัวแปรที่มีผลต่อการเคลื่อนที่ของเรือไฟฟ้าควบคุมด้วย GPS จะมีทั้งหมด 3 ตัวแปร คือ

1. ความเร็วลม
2. น้ำหนักที่ทำการบรรทุก
3. ความเร็วของเรือ

จากการทดสอบวิ่งบนน้ำในการใช้ระบบอัตโนมัติที่ความเร็ว low ประมาณ 2 ถึง 3 กิโลเมตร/ชั่วโมง พบว่าระบบควบคุมเรืออัตโนมัติสามารถเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งที่ต้องการได้ และจะสิ้นสุดการทำงานเมื่อเข้าจุด Waypoint สุดท้าให้การย โดยมีเส้นทางการเคลื่อนที่และตำแหน่งที่สิ้นสุดการทำงานต่างกันทุกครั้ง จึงสรุปว่า ปัจจัยที่ทำให้การเคลื่อนที่ไปยังตำแหน่งเป้าหมายเกิดความคลาดเคลื่อนนั้น น่าจะเกิดจากข้อมูลที่ได้จากสัญญาณ GPS มีความคลาดเคลื่อนอยู่แล้ว การวัดตำแหน่งของจุดเริ่มต้นหรือการวัดตำแหน่งขณะทำการเคลื่อนที่ไม่ตรงกับตำแหน่งจริง เป็นสาเหตุให้การเคลื่อนที่ของเรือในแต่ละครั้งนั้นแตกต่างกันออกไป

ผลการทดสอบอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการควบคุมรถบังคับแบบอัตโนมัติ การทดสอบความสามารถ ของจีพีเอสนั้น ทำให้เห็นถึงความคลาดเคลื่อนและความไม่แน่นอนของจีพีเอส เช่น ความคลาดเคลื่อน ทางด้านตำแหน่ง ความคลาดเคลื่อนทางด้านการตอบสนอง และความไม่เสถียรของจีพีเอส เป็น

5.2 ปัญหาที่พบและแนวทางแก้ปัญหา

5.2.1 ปัญหาที่พบ

1. เนื่องจากปัญหาสถานการณ์โควิด-19ทำให้ไม่สามารถเข้าไปทำโครงการในสถาบันได้
2. เนื่องจากอุปกรณ์ที่จำเป็นต่อการทำโครงการนั้นอยู่ที่สถานบันการศึกษา ดังนั้นปัญหาที่เกิดคือ ขาดอุปกรณ์ที่จำเป็นเช่น เครื่องตัดเหล็ก เครื่องเชื่อม
3. เนื่องจากการทำโครงการนั้นได้ย้ายตำแหน่งของ GPS ไปไว้ทางหน้าเรือจึงทำให้การส่งสัญญาณไปทางชุดขับเคลื่อนที่ท้ายเรือมีการดีเลย์เล็กน้อย

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5. เรื่องวัสดุของตัวเรือเนื่องจากตอนต้นได้ใช้เรือยางและทำการเปลี่ยนมาเป็นเรือสแตนเลสเนื่องจากเรือยางนั้นมีการต้านน้ำสูงและมีการรับน้ำหนักได้น้อย
6. สถานที่ทำงาน จำเป็นต้องเป็นที่โล่งแจ้ง และสภาพพื้นผิวที่ไม่ขรุขระจนเกินไปจึงเลือกใช้ านจอดรถบริเวณหน้าคณะวิศวกรรมศาสตร์เป็นสถานที่ใช้ทดสอบและวัดค่าต่างๆ ซึ่งในบางเวลาไม่ สามารถทำการทดสอบได้เนื่องจากสถานที่นั้น เป็นที่สำหรับจอดรถยนต์ จะมีรถผ่านเข้าออกตลอดเวลา
7. ไม่มีแบตเตอร์รี่สำรอง แบตเตอร์รี่ที่ใช้กับรถ สามารถใช้ได้ในระยะเวลาอันสั้น ในการทดสอบ แต่ละครั้ง หากแบตเตอร์รี่อ่อนหรือหมด การชาร์ตไฟนั้นต้องใช้เวลาหลายชั่วโมง จึงจะสามารถใช้งานได้ อีกครั้ง
8. ระยะเวลาในการสั่งซื้อ การซื้ออุปกรณ์แต่ละครั้ง จำเป็นต้องมีการอนุมัติซื้อเสียก่อนจึงจะ สามารถซื้ออุปกรณ์นั้นมาได้ ซึ่งขั้นตอนในการขออนุมัติซื้อใช้เวลานานทำให้ไม่สามารถทำโครงงานได้ อย่างต่อเนื่อง

5.2.2 แนวทางการแก้ไขปัญหา

1. เปลี่ยนตัวเรือเป็นสแตนเลสทำให้เรือมีความต้านน้ำน้อยลงและรับน้ำหนักที่มากขึ้น
2. ทำการปรึกษาพี่ที่มีความชำนาญในการใช้บอร์ด Pixhawk เพื่อมาช่วยในการ Setting ระบบ
3. ทำการหาเครื่องมือมาทำจากบ้านเพื่อให้มีอุปกรณ์เพียงพอในการทำงาน

5.3 ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีโซล่าเซล์เพื่อทำการชาร์จไฟไปได้ด้วยในขณะที่ใช้เรือในที่กลางแจ้ง
2. เพิ่มขนาดมอเตอร์เพื่อให้สามารถใช้งานได้นานขึ้น
3. ทำเสาสัญญาณให้สูงขึ้น
4. การทดสอบการรับสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสด้วยชุดรับสัญญาณจีพีเอส ควรตรวจสอบว่าขณะที่ทำการทดสอบนั้นสัญญาณจีพีเอสที่ได้รับนั้นมาจากดาวเทียมดวงใด จากชุดดาวเทียมชุดเดียวกันตลอดการทดลองหรือไม่ สัญญาณที่ได้รับนั้นมา และความแรงของสัญญาณจีพีเอสที่ได้รับว่ามี
5. เพื่อเพิ่มความสามารถในการเคลื่อนที่ของรถแบบอัตโนมัติ ควรมีตัวรับรู้ (Sensor) อื่นเข้ามา ช่วย เช่น เข็มทิศดิจิตอล เพื่อให้รู้แนวการเคลื่อนที่ของรถที่แน่นอน หรืออุปกรณ์ตรวจจับวัตถุ ในกรณีที่
6. การเลือกรถและอุปกรณ์ที่ใช้ในการขับเคลื่อน เช่น มอเตอร์กระแสตรงที่มีความเร็วรอบที่แน่นอน สามารถคำนวณหรือประมาณค่าระยะทางการเคลื่อนที่ไว้ก่อนล่วงหน้า
7. การใช้งานจีพีเอสกับระบบการเคลื่อนที่แบบอัตโนมัติ ควรมีลักษณะการใช้งานที่ต้องมีการเปลี่ยนตำแหน่งไกลๆ เช่น การใช้กับเครื่องบิน เรือเดินสมุทร เพราะความคลาดเคลื่อน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บรรณานุกรม

[1] GPS คืออะไร และทำงานอย่างไร - GotoKnow

[2] เครื่องมือสื่อสารและอุปกรณ์ช่วยการเดินเรือ – MarinerThai.com

[3] วิทยุบังคับ – โดรนและเครื่องบิน – Google Sites

[4] เซอร์โวมอเตอร์ (Servo Motor): บทความความรู้ สอนไฟฟ้าอิเล็กทรอนิกส์ (advance-electronic.com)

[5] Smile Robotics EVO24V120 - Smile Robotics: Inspired by LnwShop.com (smile-robotics.com)

[6] การคำนวณพิกัด GPS (www.global5thailand.com)

[7] Autopilot (https://ardupilot.org)

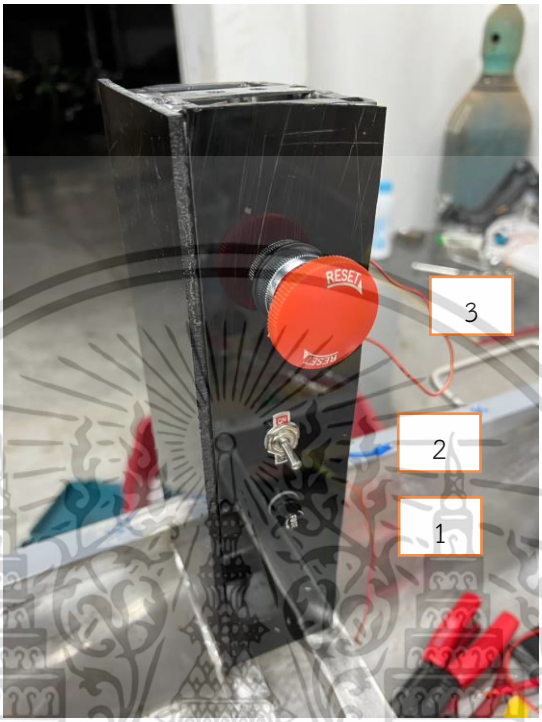
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ภาคผนวก ก

วิธีการใช้งานเรือไฟฟ้าควบคุมด้วยจอยสติกไร้สาย

ก.1 อธิบายฟังชั่นของเรือ

ชุด Main Power



1. ฟิวกันไฟเกิน 20A
2. สวิตช์เปิดปิด
3. สวิตช์ฉุกเฉิน Emergency

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

จอยสติกไร้สาย

4. สวิตช์ปิดเปิดรีโมท
5. เปิดปิดการใช้งานอัตโนมัติ
6. จอแสดงผล
7. ควบคุมความเร็ว
8. ควบคุมการเลี้ยว
9. สวิตช์เปิดปิดที่ให้อาหารปลา

ก.2 ขั้นตอนการใช้งาน

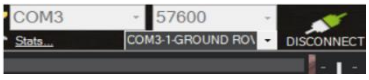
ขั้นตอนที่1. ทำการเปิดสวิตช์หมายเลข2เพื่อทำการเปิดระบบไฟ

ขั้นตอนที่2. ทำการเปิดสวิตช์หมายเลข3เพื่อปลดสวิตช์ฉุกเฉิน

ขั้นตอนที่3. ทำการเปิดสวิตช์หมายเลข4เพื่อทำการเปิดรีโมทคอนโทรล

ขั้นตอนที่4. ทำการดันตันโยกหมายเลข7เพื่อเดินหน้า

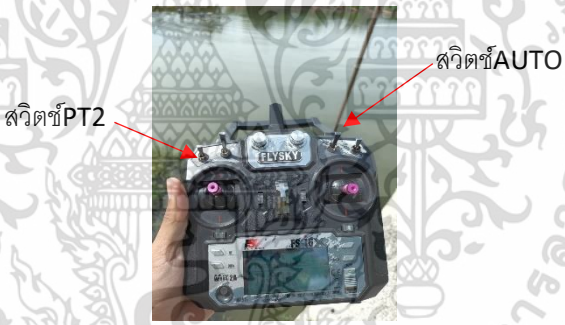
ก.3 ขั้นตอนการตั้งค่า Auto

ขั้นตอนที่1. CONNECT Pixhawk กับคอมพิวเตอร์ เสียบแบตเตอรี่ จากนั้นก็เปิดคอมพิวเตอร์เข้าโปรแกรม Mission planner พร้อมกับทำการเสียบ Telemetry ที่คอมจากนั้นก็เลือก COM3 โดยเลือกความถี่ที่ 57600 ซึ่งเป็นความถี่ที่คอมพิวเตอร์สามารถสื่อสารกับ Telemetry ของ Pixhawk ได้ และทำการกดCONNECT เพื่อเชื่อมต่อ 

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่2. กำหนดพิกัดเรืออัตโนมัติ เมื่อเชื่อมต่อ Pixhawk กับ Mission planner ให้ทำการเลือกไปที่ PLAN พร้อมกับทำการเลือกตำแหน่งพื้นที่ ที่จะทำการ Auto ซึ่งเมื่อทำการวาง WAYPOINT เสร็จทำการเลือกคำสั่ง Write แล้วคำสั่งจะถูกส่งไปยังบอร์ด Pixhawk

ขั้นตอนที่3. ทำการ Arm ตัวบอร์ด Pixhawk ทำให้เรือขยับจากนั้นสับสวิตช์รีโมทเป็น Auto จากนั้นเรือจะวิ่งเข้าตาม WAYPOINT เมื่อวิ่งครบ WAYPOINT ที่กำหนดแล้วให้ทำการ สับสวิตช์รีโมทไปที่ PT2 เพื่อให้เรือนั้นวิ่งกลับมาที่จุด HOME



ก.4 การบำรุงรักษาหลังใช้งาน

1. ทำการปิดสวิตช์ระบบไฟทุกครั้ง
2. ทำการถอดแหล่งจ่ายออกทุกครั้งหลังการใช้งาน
3. ทำการฉีดน้ำมันหล่อลื่นบริเวณเฟืองขับมอเตอร์
4. ทำความสะอาดตัวเรือหลังจากการใช้งาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหา และต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้