



โทรนควบคุมระยะไกล
(Remote Control Drone)

นายเจษฎากร สุวดิษฐ์ 63010169

Jetsadagon Suvadit 63010169

นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์ 63010245

Yanapat Hananupong 63010245

นายภัทรนันท์ หาญชนะ 63010730

Phattaranun Hanchana 63010730

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา 01046729 PROJECT 2

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดรนควบคุมระยะไกล
(Remote Control Drone)

โดย

นายเจษฎากร สุวดิษฐ์ 63010169

นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์ 63010245

นายภัทรนันท์ หาญชนะ 63010730

อาจารย์ที่ปรึกษา

รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล

รายงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของวิชา 01046729 PROJECT 2

ภาควิชาวิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์

คณะวิศวกรรมศาสตร์

สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง

ภาคเรียนที่ 2 ปีการศึกษา 2566

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รายงานวิชา 01046729 PROJECT 2 ปีการศึกษา 2566

ภาควิชา วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์
คณะ วิศวกรรมศาสตร์
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าคุณทหารลาดกระบัง
เรื่อง โดรนควบคุมระยะไกล
(Remote Control Drone)
ผู้จัดทำ นายเชษฐากร สุวดิษฐ์ รหัสนักศึกษา 63010169
นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์ รหัสนักศึกษา 63010245
นายภัทรนันท์ หาญชนะ รหัสนักศึกษา 63010730

รายงานนี้ผ่านการตรวจสอบโดยอาจารย์ที่ปรึกษาแล้ว



(รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล)
อาจารย์ที่ปรึกษา

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

หัวข้อโครงการ	โดรนควบคุมระยะไกล		
นักศึกษา	นายเจษฎากร สุวดิษฐ์	63010169	
	นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์	63010245	
	นายภทรนันท์ หาญชนะ	63010730	
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต		
ภาควิชา	วิศวกรรมอิเล็กทรอนิกส์		
ปีการศึกษา	2566		
อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ	รศ.ดร.เต็มพงษ์ เพ็ชรกุล		

บทคัดย่อ

โครงการฉบับนี้จัดทำขึ้นโดยมีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายขั้นตอนการทำงานของโดรนควบคุมระยะไกล และกรรมวิธีในการสร้างโดรนควบคุมระยะไกล ผ่านไมโครคอนโทรลเลอร์ ที่ต้องควบคุมผ่านรีโมทคอนโทรลด้วยสัญญาณวิทยุ โดยที่สามารถนำโดรนมาประยุกต์ใช้ในรูปแบบต่างๆตามสถานการณ์ที่ต้องการเช่นการขนส่งภาพถ่ายการสำรวจ เป็นต้น

การทำโดรนเป็นหัวข้อที่ได้รับความนิยมเป็นอย่างมากในยุคสมัยนี้ โดยมีความหลากหลายทั้งในการใช้งาน และการออกแบบ โดยทั่วไปการทำโดรนเริ่มจากการเลือกชิ้นส่วนและอุปกรณ์ที่เหมาะสม อาทิเช่นเฟรม, มอเตอร์, แบตเตอรี่, ตัวควบคุม, และเซนเซอร์ เมื่อได้รับชิ้นส่วนที่เหมาะสมแล้ว การประกอบโดรนเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของโดรน จากนั้นจึงทำการโปรแกรมตัวควบคุมเพื่อควบคุมการเคลื่อนที่และปฏิบัติการของโดรน นอกจากนี้การทดสอบและปรับแต่งการทำงานของโดรนเป็นขั้นตอนสำคัญที่ช่วยให้โดรนทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ บทคัดย่อนี้จะสรุปเนื้อหาเกี่ยวกับกระบวนการทำโดรนโดยย่อและกระชับโดยให้ความสำคัญกับขั้นตอนสำคัญในการสร้างและพัฒนาโดรนในโปรเจกต์นั้นๆ ให้มีผลลัพธ์ที่ดีและสอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของโปรเจกต์นั้นๆ โดยให้ความสำคัญกับการเลือกวัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการพัฒนาโดรน.

Project Title	Remote Control Drone	
Student	Jetsadagon Suvadit	ID 63010169
	Yanapat Hananupong	ID 63010245
	Phattaranun Hanchana	ID 63010730
Degree	Bachelor of Engineering	
Program	Electronics Engineering	
Year	2023	
Project Advisor	Assoc. Prof. Toempong Phetchakul, D.Eng	

ABSTRACT

This project aims to explain the working process of long-range remote-controlled drones and the methodology to build such drones using microcontrollers controlled via radio signals through remote control. The objective is to utilize drones for various applications such as transportation, photography, surveillance, etc., as per specific requirements.

Drones have garnered significant interest in today's era due to their versatility in usage and design. Generally, the process of making a drone begins with selecting suitable components and equipment, including frames, motors, batteries, controllers, and sensors. Once the appropriate components are gathered, assembling the drone becomes a crucial step in constructing its basic structure.

Subsequently, programming the drone's controller to control its movement and operations is essential. Microcontrollers are commonly employed to enable precise execution of commands. Testing and fine-tuning the drone's operations are crucial steps to ensure its efficiency and effectiveness. This involves simulating various real-world scenarios to validate its performance.

In summary, this abstract provides a concise overview of the drone development process, emphasizing the critical steps involved in building and enhancing drone functionality to align with project objectives. It underscores the importance of selecting suitable materials and technologies to develop drones efficiently.

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายกระบวนการทำงานของโดรนที่สามารถควบคุมได้ไกลโดยใช้ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสัญญาณวิทยุผ่านการควบคุมระยะไกลวัตถุประสงค์คือการใช้โดรนสำหรับการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ เช่น การขนส่ง การถ่ายภาพ การสืบสวน ฯลฯ ตามความต้องการที่เฉพาะเจาะจง

โดรนได้รับความสนใจมากในยุคปัจจุบันเนื่องจากความหลากหลายในการใช้งานและการออกแบบโดยทั่วไปกระบวนการในการสร้างโดรนเริ่มต้นด้วยการเลือกส่วนประกอบ และอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น เฟรมโดรน มอเตอร์ แบตเตอรี่คอนโทรลเลอร์และเซ็นเซอร์หลังจากที่เลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมแล้วการประกอบโดรนกลายเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของมัน

ต่อมาคือการเขียนโปรแกรมควบคุมโดรนเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวและการทำงานของโดรนไมโครคอนโทรลเลอร์มักถูกใช้เพื่อให้การดำเนินการคำสั่งเป็นไปอย่างแม่นยำการทดสอบและปรับปรุงการดำเนินการของโดรนเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อให้มั่นใจในประสิทธิภาพและประสิทธิผลของมัน ซึ่งรวมถึงการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่าบทความนี้ให้ภาพรวมอย่างกระชับเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาโดรนโดยเน้นที่ขั้นตอนสำคัญที่มีในการสร้างและเพิ่มประสิทธิภาพของโดรนเพื่อให้เข้ากับวัตถุประสงค์ของโครงการและเน้นความสำคัญของการเลือกวัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการพัฒนาโดรนโดยมีประสิทธิภาพ

.....
(นายเจษฎากร สุวดีษฐ์)

.....
(นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์)

.....
(นายภัทรนันท์ หาญชนะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้มีวัตถุประสงค์เพื่ออธิบายกระบวนการทำงานของโดรนที่สามารถควบคุมได้ไกลโดยใช้ระบบควบคุมด้วยไมโครคอนโทรลเลอร์ผ่านสัญญาณวิทยุผ่านการควบคุมระยะไกล วัตถุประสงค์คือการใช้โดรนสำหรับการประยุกต์ใช้ต่าง ๆ เช่น การขนส่ง การถ่ายภาพ การสืบสวน ฯลฯ ตามความต้องการที่เฉพาะเจาะจง

โดรนได้รับความสนใจมากในยุคปัจจุบันเนื่องจากความหลากหลายในการใช้งานและการออกแบบ โดยทั่วไปกระบวนการในการสร้างโดรนเริ่มต้นด้วยการเลือกส่วนประกอบ และอุปกรณ์ที่เหมาะสม เช่น เฟรมโดรน มอเตอร์ แบตเตอรี่ คอนโทรลเลอร์ และเซ็นเซอร์ หลังจากที่ได้เลือกส่วนประกอบที่เหมาะสมแล้ว การประกอบโดรนกลายเป็นขั้นตอนสำคัญในการสร้างโครงสร้างพื้นฐานของมัน

ต่อมาคือการเขียนโปรแกรมควบคุมโดรนเพื่อควบคุมการเคลื่อนไหวและการทำงานของโดรน ไมโครคอนโทรลเลอร์มักถูกใช้เพื่อให้การดำเนินการคำสั่งเป็นไปอย่างแม่นยำ การทดสอบและปรับปรุงการดำเนินการของโดรนเป็นขั้นตอนสำคัญเพื่อให้มั่นใจในประสิทธิภาพและประสิทธิผลของมัน ซึ่งรวมถึงการจำลองสถานการณ์ต่าง ๆ เพื่อตรวจสอบประสิทธิภาพ

สรุปได้ว่าบทความนี้ให้ภาพรวมอย่างกระชับเกี่ยวกับกระบวนการพัฒนาโดรนโดยเน้นที่ขั้นตอนสำคัญที่มีในการสร้างและเพิ่มประสิทธิภาพของโดรนเพื่อให้เข้ากับวัตถุประสงค์ของโครงการ และเน้นความสำคัญของการเลือกวัสดุและเทคโนโลยีที่เหมาะสมในการพัฒนาโดรนโดยมีประสิทธิภาพ

.....
(นายเจษฎากร สุวดีษฐ์)

.....
(นายญาณพัฒน์ หาญอนุพงศ์)

.....
(นายภทรนันท์ หาญชนะ)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญ

เรื่อง	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	II
กิตติกรรมประกาศ.....	III
สารบัญ.....	IV-V
สารบัญรูป.....	VI-VIII
บทที่ 1 บทนำ.....	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ.....	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ.....	1
1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ.....	1
1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ.....	1
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎี.....	2
2.1 โดรนทำงานอย่างไรและอะไรคือโดรนเทคโนโลยี.....	2
2.1.1 โดรนทำงานได้อย่างไร.....	2-3
2.2 ทฤษฎีอุปกรณ์.....	3
2.2.1 Micro controller Arduino Due-32 bit.....	3-4
2.2.2 พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino due-32 bit	5-6
2.2.3 PWM คือสัญญาณอะไร.....	6-7
2.2.4 PPM คือสัญญาณอะไร.....	7
2.2.5 สัญญาณอนาลอก.....	8
2.2.6 สัญญาณดิจิทัลคืออะไร.....	8
2.2.7 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor).....	9-10
2.2.8 Electronic Speed Controller.....	10-12
2.2.9 โมดูล GY-521(MPU6050).....	12-17
2.2.10 MS5611 GY-63 SPI Communication.....	17
2.2.11 Battery Fullymax 2200 mah/3s/30c XT60 plug.....	18
2.2.12 Remote Controller and Receiver.....	19
2.2.13 อัลตราโซนิก HC-SR04.....	20-23
2.2.14 การควบคุมมุม roll pitch และ Yaw.....	24
2.2.15 สมการระบบ.....	25-26
2.2.16 Kalman filter.....	26
2.2.17 การควบคุมความสูง (Altitude Hold).....	27-31
2.2.18 การปรับจูนเกน Gain.....	32-36
บทที่ 3 หลักการทำงานและออกแบบ.....	37
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้.....	37-40
3.2 ขั้นตอนการประกอบเริ่มต้น.....	41-48

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

เรื่อง	หน้า
3.3 การตั้งค่ารีโมท FS-I6X.....	48-52
บทที่ 4 ผลการทดลอง.....	53
4.1 วัดผลการทำงานของ mpu6050.....	53-59
4.2 อ่านค่า PPM จาก receiver.....	60
4.3 อ่านค่า remote.....	61-68
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง.....	69
5.1 สรุปผลการทดลอง.....	69
5.2 วิเคราะห์ผลการทดลอง.....	69
เอกสารอ้างอิง.....	70
ภาคผนวก.....	71



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.1 Quadcopter Drone.....	2
รูปที่ 2.2 Arduino due-32 bit.....	3
รูปที่ 2.3 พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino due-32 bit	5
รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณเปิด(HIGH) และปิด(LOW)	6
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญญาณ PWM.....	7
รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ถอดรหัสเป็นสัญญาณ PPM.....	7
รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณ Analog Signal.....	8
รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณ Digital Signal.....	8
รูปที่ 2.9 มอเตอร์ A2212 brushless 1000 kv.....	9
รูปที่ 2.10 รูปแสดงทิศทางการหมุนของขดลวด.....	9
รูปที่ 2.11 รูปแสดงการเกิดกระแสในมอเตอร์และการจัดกลุ่มของขดลวด.....	10
รูปที่ 2.12 รูปแสดงทิศทางการดูดและผลักของขดลวดและแม่เหล็ก.....	10
รูปที่ 2.13 Brushless 30A V2.....	10
รูปที่ 2.14 รูปแสดงภายในของ ESC.....	11
รูปที่ 2.15 รูปแสดงหลักการทำงานของ MOSFET ใน ESC.....	11
รูปที่ 2.16 รูปแสดงหลักการทำงานของ ESC.....	12
รูปที่ 2.17 GY-521(MPU6050)	12
รูปที่ 2.18 ภาพบล็อกไดอะแกรม MPU 6050.....	13
รูปที่ 2.19 หลักการทำงานภายใน เซ็นเซอร์วัดมาตรความเร็ว.....	14
รูปที่ 2.20 หลักการทำงานภายในไจโรสโคป.....	14
รูปที่ 2.21 ฟินไดอะแกรมของ MPU 6050.....	15
รูปที่ 2.22 Barometric MS-5611.....	17
รูปที่ 2.23 Battery Lipo 3s 2200 mah 30C.....	18
รูปที่ 2.24 Remote Controller FS-I6X.....	19
รูปที่ 2.25 Receiver FS-IA6B.....	19
รูปที่ 2.26 อัลตราโซนิก HC-SR04.....	20
รูปที่ 2.27 พัลส์ไม่สะท้อนกลับ.....	20
รูปที่ 2.28 พัลส์สะท้อนกลับ.....	21
รูปที่ 2.29 การคำนวณระยะห่างจากวัตถุที่สะท้อน.....	21
รูปที่ 2.30 การทำงานของอัลตราโซนิกระหว่างเซ็นเซอร์กับวัตถุ/สิ่งกีดขวาง.....	22
รูปที่ 2.31 การสะท้อนของอัลตราโซนิก.....	23
รูปที่ 2.32 การตรวจจับของอัลตราโซนิกต่อสิ่งของขนาดเล็ก.....	23
รูปที่ 2.33 การตรวจจับของอัลตราโซนิกเมื่อเจอพื้นผิวที่ดูดซับเสียง.....	23
รูปที่ 2.34 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี.....	23
รูปที่ 2.35 ระบบเครื่องบิน 4 ใบพัด.....	24
รูปที่ 2.36 Kalman filter.....	24

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
รูปที่ 2.37 แสดงวงจรการทำงานของตัวกรองคาลมาน.....	26
รูปที่ 2.38 กราฟขนาดสัญญาณรบกวน และการสั่น ของค่าเซนเซอร์.....	28
รูปที่ 2.39 . การปรับเกนของสมการ kalman filter.....	32
รูปที่ 2.40 กราฟสัญญาณรบกวน.....	33
รูปที่ 2.41 การจูนเกนสมการ Low pass filter.....	33
รูปที่ 2.42 กราฟขนาดสัญญาณรบกวน หลัง Low pass filter.....	34
รูปที่ 2.43 ปรับค่าเกน.....	34
รูปที่ 2.44 การจูนเกนสมการควบคุมมุม roll, pitch, yaw.....	35
รูปที่ 2.45 กราฟจูนเกนควบคุมมุม roll.....	35
รูปที่ 2.46 กราฟจูนเกนสมการควบคุมมุม yaw.....	36
รูปที่ 3.1 เครื่องมือที่ใช้.....	40
รูปที่ 3.2 การประกอบเฟรมเครื่องบิน 4 ใบพัด.....	41
รูปที่ 3.3 การประกอบมอเตอร์.....	41
รูปที่ 3.4 ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ A2212.....	42
รูปที่ 3.5 ประกอบสปีดคอนโทรลเลอร์.....	42
รูปที่ 3.6 สายไฟ 11.1 โวลต์ให้กับ ESC.....	43
รูปที่ 3.7 เซนเซอร์ อัลตราโซนิก sr-04.....	43
รูปที่ 3.8 รีซีพรีโมท FS-IA6B.....	44
รูปที่ 3.9 บัดกรีขั้วก้างปลา 8 แกว.....	44
รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการต่อ.....	45
รูปที่ 3.11 ติดตั้งรีซีพรีโมท.....	45
รูปที่ 3.12 อัปโหลดโปรแกรมเข้า Port.....	46
รูปที่ 3.13 ค่าสถานะเซนเซอร์ต่างๆ.....	46
รูปที่ 3.14 โค้ดเซนเซอร์.....	47
รูปที่ 3.15 แสดงทิศทางการหมุนแกนเครื่องบิน.....	47
รูปที่ 3.16 ตั้งค่ารีโมท FS-l6X.....	48
รูปที่ 3.17 เลือก type select.....	48
รูปที่ 3.18 ทำการเลือกโหมด helicopter fixed pitch.....	49
รูปที่ 3.19 เลือก rx setup.....	49
รูปที่ 3.20 เลือก output mode.....	49
รูปที่ 3.21 เลือก output เป็นแบบ PPM กับ serial I BUS.....	50
รูปที่ 3.22 function setup.....	50
รูปที่ 3.23 เลือก end points.....	50
รูปที่ 3.24 การตั้งค่า end point.....	51
รูปที่ 3.25 Block Diagram.....	52
รูปที่ 3.26 Code Diagram.....	52

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

รูปที่	หน้า
รูปที่ 4.1 Aircraft Rotation Body Axex.....	53
รูปที่ 4.2 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง + Roll.....	53
รูปที่ 4.3 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง - Roll.....	54
รูปที่ 4.4 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง + Pitch.....	54
รูปที่ 4.5 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง - Pitch.....	55
รูปที่ 4.6 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง + Yaw.....	55
รูปที่ 4.7 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง - Yaw.....	56
รูปที่ 4.8 ค่าเซ็นเซอร์ Gyro calibration.....	56
รูปที่ 4.9 ค่า Ultra sonics เมื่อวัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.06 เมตร.....	57
รูปที่ 4.10 วัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.06 เมตร.....	57
รูปที่ 4.11 ค่า Ultra sonics เมื่อวัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.14 เมตร.....	58
รูปที่ 4.12 วัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.14 เมตร.....	58
รูปที่ 4.13 ค่า Ultra sonics เมื่อวัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.2 เมตร.....	59
รูปที่ 4.14 วัดถุกุขวางที่ตำแหน่ง 0.02 เมตร.....	59
รูปที่ 4.15 ค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Min ประมาณ 1000 ms.....	60
รูปที่ 4.16 ค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Max ประมาณ 2000 ms.....	60
รูปที่ 4.17 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย.....	61
รูปที่ 4.18 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย.....	61
รูปที่ 4.19 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย.....	61
รูปที่ 4.20 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย.....	62
รูปที่ 4.21 การส่งสัญญาณของจอยสติ๊ก.....	62
รูปที่ 4.22 ค่า throttle max.....	63
รูปที่ 4.23 ค่า throttle min.....	63
รูปที่ 4.24 ค่า rudder max.....	64
รูปที่ 4.25 ค่า rudder min.....	64
รูปที่ 4.26 ค่า elevator max.....	65
รูปที่ 4.27 ค่า elevator min.....	65
รูปที่ 4.28 ค่า aileron max.....	66
รูปที่ 4.29 ค่า ailaron min.....	66
รูปที่ 4.30 ค่า Baro.....	67
รูปที่ 4.31 ค่าความสูงจาก baro.....	67
รูปที่ 4.32 ค่า Baro จาก app โทรศัพท์.....	68

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของโครงการ

รายงานเป็นการนำเสนอการศึกษาหรือการวิจัยที่นักศึกษาหรือผู้วิจัยนั้นได้กระทำอย่างต่อเนื่อง รายงานจึงเป็นบทเขียนหรือวรรณกรรมที่จะต้องถูกศึกษา อ้างอิง หรือทำการค้นคว้าเพิ่มเติมโดยนักศึกษาหรือนักวิจัยรุ่นหลัง ดังนั้นรายงานที่ดีควรมีลักษณะดังนี้

- 1.1.1 มีความถูกต้องและเป็นไปได้ในแง่มุมทางวิชาการ
- 1.1.2 นำเสนออย่างเป็นขั้นตอนและง่ายต่อการทำความเข้าใจ
- 1.1.3 ใช้ภาษาที่สละสลวยถูกต้องตามหลักไวยากรณ์
- 1.1.4 ส่งเสริมให้มีการขยายผลการศึกษาหรือการวิจัยเพิ่มเติมในภายหลัง

1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ

- 1.2.1 เพื่อศึกษาและเรียนรู้อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่ใช้ในการทำโครงการ
- 1.2.2 เพื่อศึกษาและเรียนรู้ขั้นตอนต่าง ๆ ในการออกแบบโครง
- 1.2.3 ฝึกการคิดวิเคราะห์และการแก้ไขปัญหาต่างๆที่เกิดขึ้นกับวงจรทางอิเล็กทรอนิกส์
- 1.2.4 สามารถเลือกอุปกรณ์ที่เหมาะสมกับการใช้งานและออกแบบได้ตามที่ต้องการ

1.3 ขอบเขตในการจัดทำโครงการ

- 1.3.1 ควบคุมการบินผ่าน Remote Controller
- 1.3.2 ใช้สำหรับการยกของที่มีน้ำหนักอย่างน้อย 500 g

1.4 ระยะเวลาในการทำโครงการ

ตั้งแต่วันที่ 11 สิงหาคม 2566 ถึงวันที่ 18 ตุลาคม 2566 (ต้องแก้)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 2

หลักการและทฤษฎี

2.1 โดรนทำงานอย่างไรและอะไรคือโดรนเทคโนโลยี

โดรนหรือที่รู้จักกันในชื่อยานพาหนะทางอากาศไร้คนขับ (UAV) หรือระบบอากาศยานไร้คนขับ (UAS) เป็นเครื่องบินที่ทำงานโดยไม่ต้องมีนักบินเป็นมนุษย์ โดรนสามารถควบคุมจากระยะไกลโดยผู้ปฏิบัติงานที่เป็นมนุษย์ หรือตั้งโปรแกรมอัตโนมัติให้ติดตามเส้นทางการบินที่กำหนดไว้ล่วงหน้า มีรูปร่าง ขนาด และรูปแบบต่างๆ ตั้งแต่เครื่องบินควอดคอปเตอร์ขนาดเล็กไปจนถึงเครื่องบินปีกคงที่ขนาดใหญ่



รูปที่ 2.1 Quadcopter Drone

2.1.1 โดรนทำงานได้อย่างไร

โดรนทำงานผ่านการผสมผสานระหว่างฮาร์ดแวร์และอัลกอริทึมซอฟต์แวร์ที่ช่วยให้โดรนสามารถบินและปฏิบัติงานต่างๆ ได้ ต่อไปนี้เป็นคำอธิบายอย่างง่ายเกี่ยวกับวิธีการทำงานของโดรน

1. ระบบควบคุมการบินโดรนติดตั้งระบบควบคุมการบิน ซึ่งโดยปกติจะประกอบด้วยเซ็นเซอร์ ไมโครคอนโทรลเลอร์ และอุปกรณ์ควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์ (ESC) เซ็นเซอร์ เช่น ไจโรสโคป มาตรฐาน ความเร่ง และบางครั้ง GPS จะให้ข้อมูลเกี่ยวกับการวางแนวความเร็วและตำแหน่งของโดรนไมโครคอนโทรลเลอร์จะประมวลผลข้อมูลนี้และ ส่งสัญญาณไปยัง ESC ซึ่งควบคุมความเร็วของมอเตอร์

2. ระบบขับเคลื่อนโดรนมีมอเตอร์หลายตัว (โดยปกติจะมีสี่ตัว ในกรณีของควอดคอปเตอร์) ติดตั้งอยู่บนแขนที่ยื่นออกมาจากตัวหลัก โรเตอร์เหล่านี้เชื่อมต่อกับมอเตอร์ไฟฟ้า ซึ่งหมุนใบพัดเพื่อสร้างแรงยก ด้วยการเปลี่ยนความเร็วของโรเตอร์ โดรนจึงสามารถเคลื่อนที่ไปในทิศทางต่างๆ และรักษาเสถียรภาพการบินได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3. แหล่งพลังงานโดรนใช้พลังงานจากแบตเตอรี่แบบชาร์จไฟได้ ซึ่งโดยทั่วไปคือแบตเตอรี่ลิเทียมโพลิเมอร์ (LiPo) แบตเตอรี่เหล่านี้ให้พลังงานไฟฟ้าที่จำเป็นในการใช้งานมอเตอร์ ระบบควบคุมการบิน และอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ ต่างๆ บนโดรนหรือน้ำหนักที่โดรน บรรทุก

4. รีโมทคอนโทรลหรือระบบอัตโนมัติ โดรนสามารถควบคุมได้ด้วยตนเองโดยผู้ควบคุมที่เป็นมนุษย์ โดยใช้เครื่องส่งสัญญาณควบคุมระยะไกลหรือควบคุมอัตโนมัติโดยใช้เส้นทางการบินและจุดอ้างอิงที่ตั้งโปรแกรมไว้ ล่วงหน้า ในโหมดแมนนวล ผู้ควบคุมเครื่องจะใช้รีโมทคอนโทรลเพื่อส่งคำสั่งไปยังโดรน เช่น การปรับระดับความสูง ทิศทาง และความเร็ว ในโหมดอัตโนมัติ ระบบอัตโนมัติของโดรนจะดำเนินการตามคำสั่งที่ตั้งโปรแกรมไว้ล่วงหน้าตามพิกัด GPS และข้อมูลเซ็นเซอร์อื่นๆ

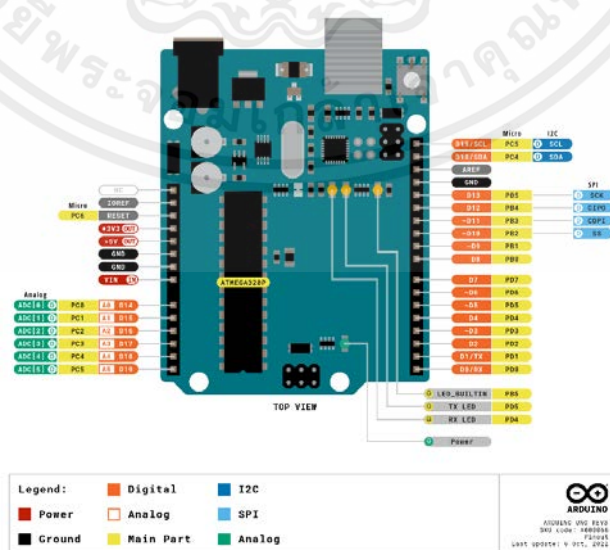
5. ระบบการสื่อสารโดรนสื่อสารกับสถานีควบคุมภาคพื้นดินหรือนักบินระยะไกลโดยใช้สัญญาณวิทยุหรือเทคโนโลยี การสื่อสารไร้สาย ลิงก์การสื่อสารนี้ช่วยให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถรับข้อมูลการวัดและส่งข้อมูลทางไกลจากโดรน เช่น ตำแหน่ง ระดับความสูง ระดับแบตเตอรี่ และการอัปเดตสถานะ นอกจากนี้ยังช่วยให้ผู้ควบคุมสามารถส่งคำสั่งไปยังโดรนและรับพิกัดวิดีโอสดจากกล้องหรือเซ็นเซอร์บนเครื่องบินได้

6. เซ็นเซอร์และน้ำหนักบรรทุกบนเครื่องบินโดรนอาจติดตั้งเซ็นเซอร์และน้ำหนักบรรทุกที่หลากหลาย ขึ้นอยู่กับการใช้งานที่ต้องการ น้ำหนักบรรทุกทั่วไป ได้แก่ กล้องสำหรับการถ่ายภาพทางอากาศและการถ่ายภาพวิดีโอ เซ็นเซอร์สำหรับการทำแผนที่และการสำรวจ

โดยสรุป โดรนทำงานโดยการรวมระบบขับเคลื่อน ระบบควบคุมการบิน แหล่งพลังงาน ระบบการสื่อสาร และเซ็นเซอร์ในตัวเข้าด้วยกัน เพื่อให้สามารถควบคุมการบินและปฏิบัติงานเฉพาะได้ ไม่ว่าจะควบคุมด้วยตนเองหรืออัตโนมัติ

2.2 ทฤษฎีอุปกรณ์

2.2.1 Micro controller Arduino Due-32 bit



รูปที่ 2.2 Arduino due-32 bit

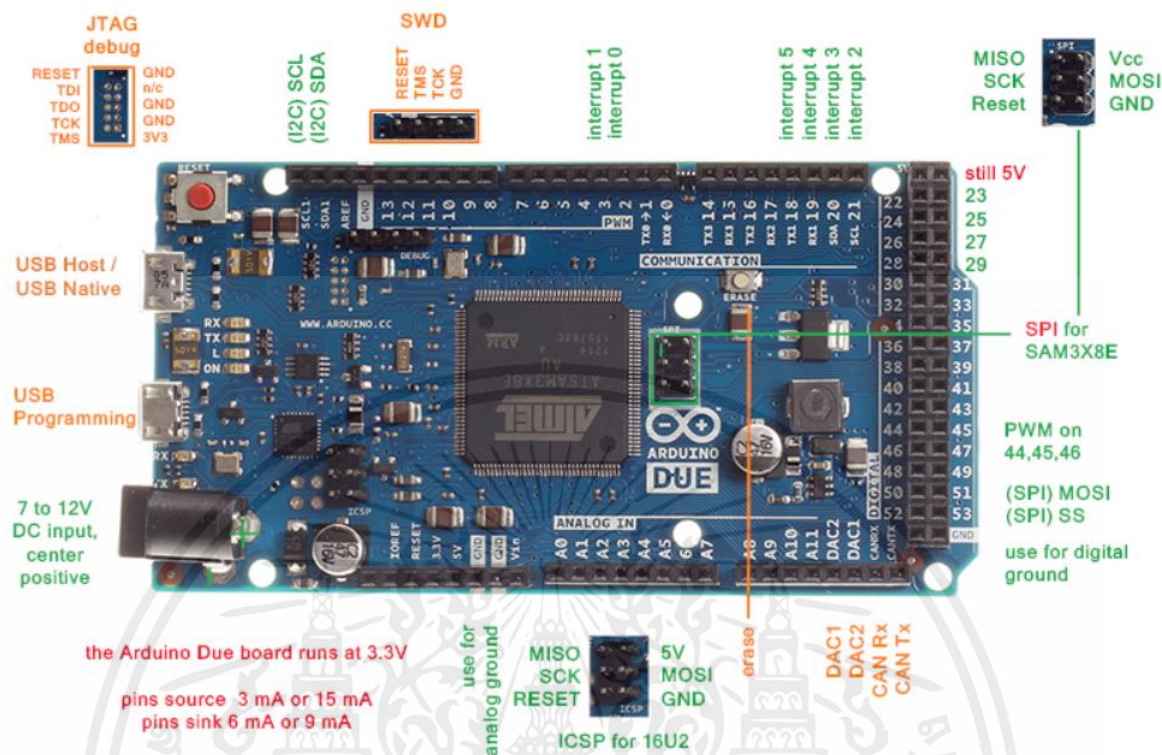
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Arduino Due เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ใช้ CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 เป็นหนึ่งในบอร์ด Arduino รุ่นแรกๆ ที่ใช้ไมโครคอนโทรลเลอร์หลัก ARM 32 บิต คุณสมบัติหลักและรายละเอียดเกี่ยวกับ Arduino Due:

1. ไมโครคอนโทรลเลอร์ CPU Atmel SAM3X8E ARM Cortex-M3 ทำงานที่ 84 MHz
2. แรงดันไฟฟ้าขณะทำงาน 3.3V สิ่งนี้แตกต่างจากบอร์ด Arduino ส่วนใหญ่ที่ทำงานที่ 5V
3. แรงดันไฟฟ้าขาเข้าบอร์ดสามารถจ่ายไฟผ่านเชื่อมต่อ USB หรือแหล่งจ่ายไฟภายนอกตั้งแต่ 7V ถึง 12V
4. พิน I/O แบบดิจิทัล Arduino Due มีพินอินพุต/เอาต์พุตดิจิทัล 54 พิน ซึ่ง 12 พินสามารถใช้เป็นเอาต์พุต PWM ได้ 5. พินอินพุตแบบอนาล็อกมีอินพุตแบบอนาล็อก 12 ช่อง
6. หน่วยความจำแฟลชไมโครคอนโทรลเลอร์ SAM3X8E มีหน่วยความจำแฟลช 512KB สำหรับจัดเก็บโปรแกรมของคุณ (ซึ่งโปรแกรมโหนดบูตใช้ 96KB)
7. SRAM ขนาด 96KB ซึ่งใหญ่กว่า SRAM ที่พบในบอร์ด Arduino อื่นๆ มาก
8. ความเร็วสัญญาณนาฬิกาทำงานที่ 84 MHz ทำให้เร็วกว่ามากเมื่อเทียบกับบอร์ด Arduino อื่นๆ เช่น Uno หรือ Mega
9. ความเข้ากันได้ แม้จะมีความแตกต่างในด้านสถาปัตยกรรม แต่ Arduino Due ก็เข้ากันได้กับไล่อ Arduino ส่วนใหญ่ที่ออกแบบมาสำหรับ Uno และบอร์ดที่คล้ายกัน อย่างไรก็ตาม เนื่องจากระดับแรงดันไฟฟ้าและปัจจัยอื่น ๆ ที่แตกต่างกัน ซิลด์บางประเภทอาจใช้งานร่วมกันไม่ได้
10. การเขียนโปรแกรมสามารถตั้งโปรแกรมได้โดยใช้ซอฟต์แวร์ Arduino (IDE) ผ่านการเชื่อมต่อ USB ผู้ใช้สามารถเขียนโปรแกรมด้วยภาษา C/C++ โดยใช้ไลบรารี Arduino และอัปโหลดไปยังบอร์ด
11. การแก้ไขข้อบกพร่อง Arduino Due รองรับการแก้ไขข้อบกพร่องผ่านอินเทอร์เฟซ JTAG ในตัว ซึ่งช่วยให้สามารถแก้ไขข้อบกพร่องขั้นสูงได้มากขึ้น เมื่อเปรียบเทียบกับบอร์ด Arduino อื่นๆ บางรุ่น
12. แอปพลิเคชันประสิทธิภาพสูงเนื่องจากสถาปัตยกรรม 32 บิตและความเร็วสัญญาณนาฬิกาที่สูงกว่า Arduino Due จึงเหมาะอย่างยิ่งสำหรับแอปพลิเคชันที่ต้องการพลังการประมวลผลมากขึ้นและประสิทธิภาพที่สูงขึ้น เช่น หุ่นยนต์ขั้นสูง เครื่องพิมพ์ 3D และอื่นๆ การเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ที่ซับซ้อน

โดยรวมแล้ว Arduino Due เป็นบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ที่ทรงพลังซึ่งเหมาะสำหรับการใช้งานที่หลากหลาย โดยเฉพาะอย่างยิ่งที่ต้องการพลังในการคำนวณมากกว่าบอร์ด Arduino แบบ 8 บิตทั่วไป

2.2.2 พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino due-32 bit



รูปที่ 2.3 พอร์ตการเชื่อมต่อ Arduino due-32 bit

นี่คือคำอธิบายอย่างละเอียดของแต่ละพินบน Arduino Due พร้อมกับความสามารถของแต่ละพิน:

1. พินดิจิตอล (0-53):

- พินเหล่านี้เป็นพิน อินพุต/เอาต์พุต ดิจิตอลแบบทั่วไป
- สามารถใช้สำหรับงานเช่นการอ่านเซ็นเซอร์ ควบคุม LED ติดต่อกับอุปกรณ์ดิจิตอลอื่นๆ ฯลฯ
- บางพินมีฟังก์ชันพิเศษเพิ่มเติมดังที่อธิบายด้านล่าง

2. อินพุตแอนะล็อก (A0-A11):

- พิน A0 ถึง A11 สามารถใช้เป็นพินอินพุตแอนะล็อก
- ช่วยให้ท่านอ่านแรงดันแอนะล็อกจากเซ็นเซอร์หรืออุปกรณ์แอนะล็อกอื่น ๆ
- นอกจากนี้ พินเหล่านี้ยังสามารถทำงานเป็นพินอินพุต/เอาต์พุตดิจิตอลได้

3. เอาต์พุต DAC (DAC0, DAC1):

- พินเหล่านี้เป็นเอาต์พุตคอนเวอร์เตอร์ดิจิตอลเป็นแอนะล็อก
- สามารถใช้สร้างแรงดันแอนะล็อกระหว่าง 0V ถึง 3.3V ได้

4. การสื่อสารซีเรียล:

- ซีเรียล (UART): พิน 0 (RX) และ 1 (TX) ใช้สำหรับการสื่อสารซีเรียลกับคอมพิวเตอร์หรืออุปกรณ์อื่น ๆ
- Serial1, Serial2, Serial3: เหล่านี้เป็นอินเทอร์เฟซซีเรียลฮาร์ดแวร์เพิ่มเติมบนบอร์ด

เพื่อให้สามารถใช้งานช่องสื่อสารซีเรียลหลายช่องได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

5.SPI (การสื่อสารพีเอสไอ):

- MOSI (Master Out Slave In): พิน 75
- MISO (Master In Slave Out): พิน 74
- SCK (Serial Clock): พิน 76
- SS (Slave Select): พิน 77, 78, 87, 83
- SPI เป็นโปรโตคอลการสื่อสารซีเรียลที่ซิงโครนัสที่ใช้งานบ่อยระหว่างไมโครคอนโทรลเลอร์และอุปกรณ์เสริม เช่น เซ็นเซอร์ จอแสดงผล และชิปหน่วยความจำ

6.I2C (อินเทอร์เอเกรตเซอร์กิต):

- SDA (ข้อมูลซีเรียล): พิน 20
- SCL (นาฬิกาซีเรียล): พิน 21
- I2C เป็นโปรโตคอลการสื่อสารซีเรียลสองสายที่ใช้สำหรับการเชื่อมต่อ IC หลายตัวหรือโมดูลในระบบฝังตัว

7.PWM (พัลส์วิดท์โมดูเล):

- พิน 2 ถึง 13 และ พิน 44 ถึง 46 รองรับเอาต์พุต PWM
- PWM ช่วยให้สามารถควบคุมเอาต์พุตแบบเสมือนแอนะล็อกโดยการเปลี่ยนแปลงเวลาที่เป็นสัดส่วนของสัญญาณ 8. กระตุ้นภายนอก:
- พิน 2, 3, 18, 19, 20, 21, 22, และ 23 สามารถใช้เป็นพินกระตุ้นภายนอกได้
- การกระตุ้นภายนอกช่วยให้ไมโครคอนโทรลเลอร์ตอบสนองต่อเหตุการณ์ภายนอกได้อย่างไม่เชื่อมต่อ

9.รีเซ็ต (รีเซ็ต):

- พินนี้ใช้สำหรับรีเซ็ตไมโครคอนโทรลเลอร์

10.พาวเวอร์ซัพพลาย:

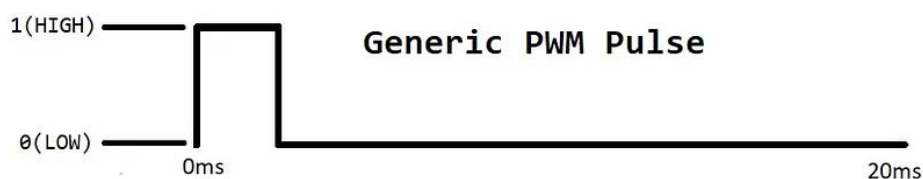
- 3.3V และ 5V: พินเหล่านี้ให้พลังงานไฟฟ้าที่มีการควบคุมแล้วที่ 3.3V และ 5V ตามลำดับ
- GND: Ground Pin การเชื่อมต่อกับอ้างอิง Ground

11.โอซีเลเลเตอร์คริสตัล:

- พิน 59 (XIN32) และ 60 (XOUT32) เชื่อมต่อกับโอซีเลเลเตอร์คริสตัลสำหรับการสร้างสัญญาณนาฬิกา

2.2.3 PWM คือสัญญาณอะไร

PWM ย่อมาจาก Pulse Width Modulation ซึ่งเป็นเทคนิคในการควบคุมการให้สัญญาณไฟฟ้าด้วยการเปิด-ปิดแบบซัองๆ หรือการสั่งให้สัญญาณไฟฟ้ามีความถี่ที่แต่มีอัตราส่วนที่เปลี่ยนแปลงได้ระหว่างเวลา เพื่อให้ได้แรงดันหรือทอร์คส่วนเฉพาะที่ต้องการ

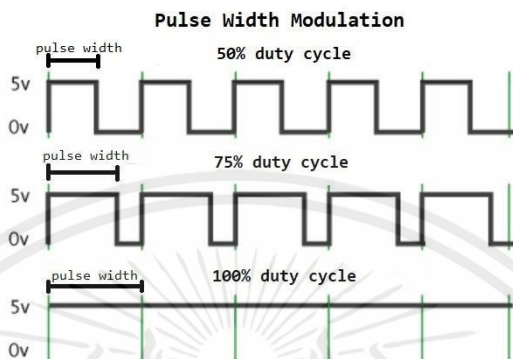


รูปที่ 2.4 แสดงสัญญาณเปิด(HIGH) และปิด(LOW)

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การใช้ PWM ช่วยให้สามารถควบคุมค่าเฉลี่ยของแรงดันหรือสัญญาณไฟฟ้าได้ โดยการเปิด-ปิด สัญญาณไฟฟ้าเร็วมากๆ จะทำให้ได้สัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยสูงขึ้น ในขณะที่การเปิด-ปิดช้าๆ จะทำให้ได้สัญญาณที่มีค่าเฉลี่ยต่ำลง

การใช้ PWM มักพบในการควบคุมความสว่างของ LED, ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ DC, การควบคุม อุณหภูมิในระบบทำความร้อน/ทำความเย็น, หรือในการสร้างสัญญาณเสียงเพื่อใช้ในงานเสียงหรือการสื่อสารแบบไร้สาย การใช้ PWM ช่วยให้สามารถควบคุมอุปกรณ์ไฟฟ้าหลายๆ ชนิดได้อย่างยืดหยุ่นและมีประสิทธิภาพมากขึ้น



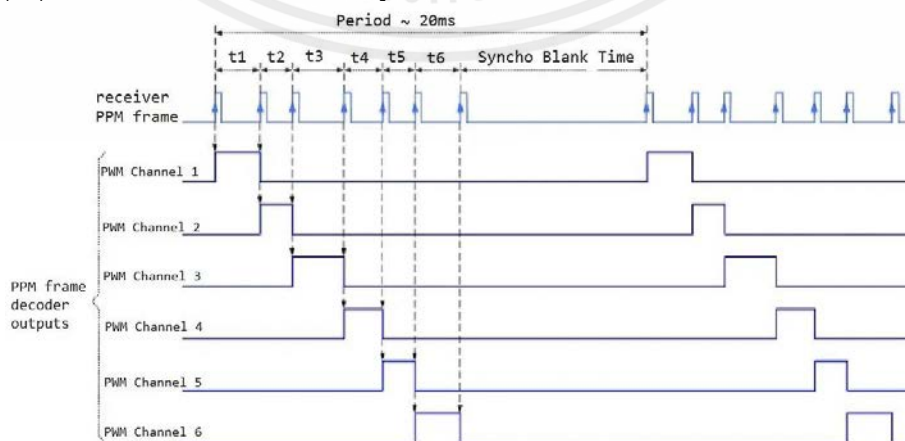
รูปที่ 2.5 ตัวอย่างสัญญาณ PWM

2.2.4 PPM คือสัญญาณอะไร

PPM ย่อมาจาก Pulse Position Modulation ซึ่งเป็นเทคนิคในการส่งข้อมูลแบบดิจิทัล โดยการจัดลำดับของช่วงเวลาที่มีสัญญาณสูงเป็นสัญญาณแบบพัลส์ แต่ละช่วงเวลาจะถูกกำหนดเป็นการระบุค่าหนึ่ง เรียกว่า "พิกัด" หรือ "ตำแหน่ง" (position) ของสัญญาณ ซึ่งสามารถใช้ในการส่งข้อมูลแบบดิจิทัลได้โดยตรง

ในคอนเท็กซ์ของรีโมทคอนโทรล (RC), PPM มักถูกใช้เพื่อส่งข้อมูลการควบคุมจากตัวส่ง (transmitter) ไปยังตัวรับ (receiver) ในระบบ RC อันหนึ่ง เช่น ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของโดรนหรือรถ RC แต่ระดับสูง PPM มักถูกใช้เป็นช่องสัญญาณในระบบควบคุมของมอเตอร์เชิงกล ที่ใช้สัญญาณ PPM เพื่อกำหนดความเร็วหรือทิศทางของการหมุนของมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำ

ในระบบ RC, ข้อมูล PPM จะถูกสร้างขึ้นโดยระบบส่งข้อมูลภายในตัวส่ง ซึ่งจะรวมข้อมูลจากช่องควบคุมต่างๆ ที่ส่งข้อมูลในรูปแบบของ PWM (Pulse Width Modulation) และส่งออกในรูปแบบของสัญญาณ PPM ที่มีความยาวของพัลส์แต่ละตัวแทนค่าของช่องควบคุมแต่ละช่อง และรับโดยตัวรับจะแปลงสัญญาณ PPM กลับเป็น PWM เพื่อควบคุมอุปกรณ์ต่าง ๆ ในระบบที่รับข้อมูลนั้น

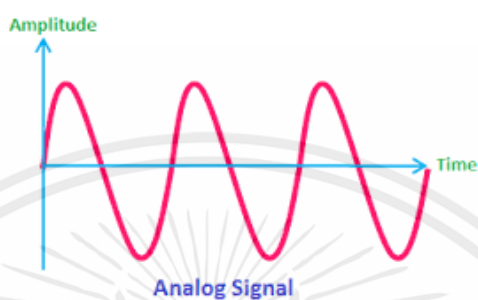


รูปที่ 2.6 แสดงสัญญาณ PWM ที่ถอดรหัสเป็นสัญญาณ PPM

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไมอนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.5 สัญญาณอนาลอก

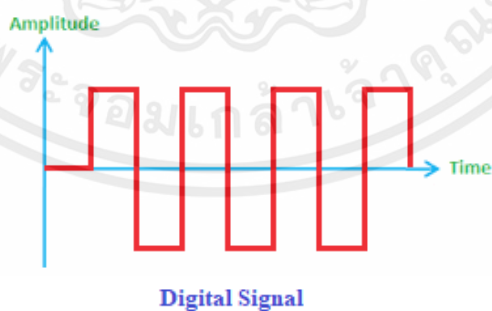
สัญญาณอนาลอก (Analog Signal) หมายถึง สัญญาณข้อมูลแบบต่อเนื่อง (Continuous Data) มีขนาดของสัญญาณไม่คงที่ มีการเปลี่ยนแปลงขนาดของสัญญาณแบบค่อยเป็นค่อยไป มีลักษณะเป็นเส้นโค้งต่อเนื่องกันไปโดยการส่งสัญญาณแบบอนาล็อกจะถูกรบกวนให้มีการแปลความหมายผิดพลาดได้ง่าย เช่น สัญญาณเสียงในสายโทรศัพท์



รูปที่ 2.7 แสดงสัญญาณ Analog Signal

2.2.6 สัญญาณดิจิทัลคืออะไร

สัญญาณดิจิทัล (Digital Signal) หมายถึง สัญญาณที่เกี่ยวข้องกับข้อมูลแบบไม่ต่อเนื่อง (Discrete Data) ที่มีขนาดแน่นอนซึ่งขนาดดังกล่าวอาจกระโดดไปมาระหว่างค่าสองค่า คือ สัญญาณระดับสูงสุดและสัญญาณระดับต่ำสุด ซึ่งสัญญาณดิจิทัลนี้เป็นสัญญาณที่คอมพิวเตอร์ใช้ในการทำงานและติดต่อสื่อสารกันเป็นค่าของเลขลงตัว โดยปกติมักแทนด้วยระดับแรงดันที่แสดงสถานะเป็น "0" และ "1" หรืออาจจะมีหลายสถานะซึ่งจะกล่าวถึงในเรื่องระบบสื่อสารดิจิทัลที่มีค่าที่ตั้งไว้ (Threshold) เป็นค่าบอกสถานะ ถ้าสูงเกินค่าที่ตั้งไว้สถานะเป็น "1" ถ้าต่ำกว่าค่าที่ตั้งไว้สถานะเป็น "0" ซึ่งมีข้อดีในการทำให้เกิดความผิดพลาดน้อยลง



รูปที่ 2.8 แสดงสัญญาณ Digital Signal

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.7 มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor)

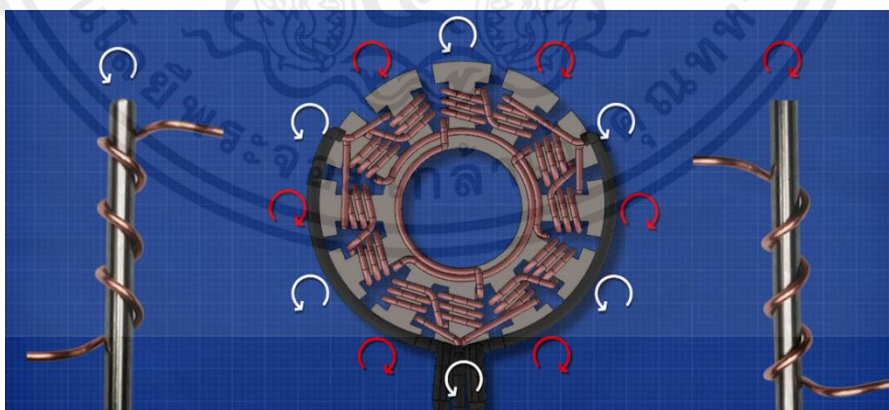


รูปที่ 2.9 มอเตอร์ A2212 brushless 1000 kv

มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor) คือประเภทหนึ่งของมอเตอร์ที่ไม่มีสิ่งกีดขวาง (brushes) ในการส่งกำลังงานไฟฟ้าไปยังตัวหมุนของมอเตอร์ ซึ่งมอเตอร์ไร้แปรงถ่านมีโครงสร้างที่ง่ายกว่ามอเตอร์ที่ใช้ brushes ซึ่งทำให้มีประสิทธิภาพที่ดีกว่า มีความทนทานที่มากขึ้น และไม่มีภาระสึกหรอของมอเตอร์ที่เกิดจากการสั่นสะเทือนหรือการหมุนที่รุนแรงของมอเตอร์ มอเตอร์ไร้แปรงถ่านมักนำมาใช้กับสิ่งที่ต้องการความสมดุล ประสิทธิภาพและความเสถียร ซึ่งในอุตสาหกรรมการผลิต หุ่นยนต์ และรถยนต์ไฟฟ้า มอเตอร์ไร้แปรงถ่านสามารถทำงานได้อย่างมีประสิทธิภาพ และมีความแม่นยำในการควบคุมทิศทางและความเร็วในการหมุน นอกจากนี้ มอเตอร์ไร้แปรงถ่านยังมีอายุการใช้งานที่นานกว่ามอเตอร์ที่ใช้สิ่งกีดขวาง ซึ่งช่วยลดค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาและการซ่อมแซมในระยะยาว การควบคุมและการจัดการของมอเตอร์ไร้แปรงถ่านมักใช้วงจรรีเลย์ทรอนิกส์ที่ซับซ้อน ซึ่งมีความสามารถในการตรวจจับตำแหน่งและความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างแม่นยำ ทำให้มอเตอร์ไร้แปรงถ่านมีประสิทธิภาพที่สูงในการทำงาน

หลักการทำงานของ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor)

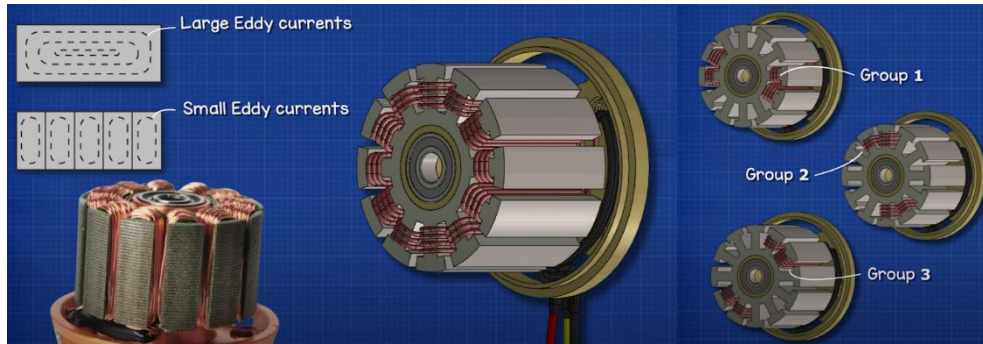
มอเตอร์จะใช้ขดลวด เพราะเมื่อเราส่งกระแสผ่านขด จะสร้างสนามแม่เหล็กไฟฟ้าและสามารถกลับทิศทางของการหมุนโดยการกลับทิศทางของกระแสหรือเปลี่ยนทิศทางของขดลวดก็ได้ จากรูปที่แสดง



รูปที่ 2.10 รูปแสดงทิศทางหมุนของขดลวด

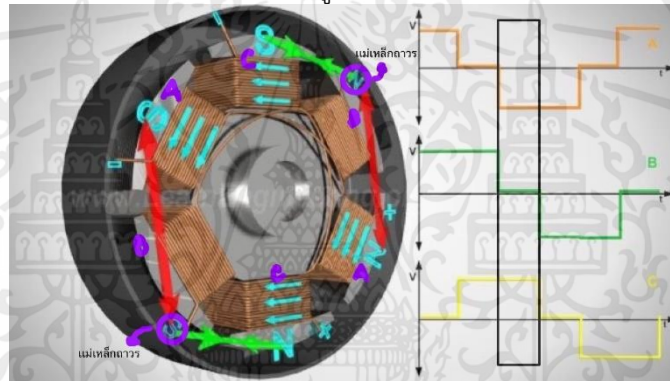
จะสังเกตเห็นว่ามีสายไฟ 3 เส้นเข้าไปในฐานของมอเตอร์ (สเตเตอร์) ในการออกแบบนี้มีฟลักซ์สองขั้ว สิ่งเหล่านี้จะมาจากแผ่นโลหะบางที่วางซ้อนกันหลาย ๆ ชั้นและเคลือบด้วยลามิเนตซึ่งแยกออกจากกันด้วยไฟฟ้าเพื่อลด Eddy current ภายในมอเตอร์ ซึ่งเป็นสาเหตุเหล่านี้เกิดจากสนามแม่เหล็กและพลังงานสิ้นเปลืองโดยการสร้างความร้อนแทนการหมุน นอกจากนี้เราจะสังเกตเห็นว่าขดลวด 12 เส้น ถูกจัดออกมาเป็นกลุ่มที่แตกต่างกัน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.11 รูปแสดงการเกิดกระแสในมอเตอร์และการจัดกลุ่มของขดลวด

ในมอเตอร์จะมีแม่เหล็กติดตั้งตามในรูป 2.12 เมื่อกระแสไหลในขดลวดที่ขั้วตรงข้ามโรเตอร์ (ชิ้นส่วนที่มีแม่เหล็กถาวรติดตั้งอยู่) และสเตเตอร์ (ชิ้นส่วนที่มีขดลวดทองแดงติดตั้งอยู่) จะดึงดูดกันและผลักกันตามกระแสที่ได้รับ จากรูปที่ 2.8 เมื่อขดลวดที่ A ได้รับกระแสจะมีขั้วเหมือนกับแม่เหล็กถาวรทำให้เกิดแรงผลักกันของแม่เหล็กถาวรกับขดลวด ส่วนขดลวดที่ B จะไม่มีกระแสไหลผ่าน และขดลวด C จะได้รับกระแสที่มีขั้วตรงข้ามกับแม่เหล็กถาวรจะทำให้เกิดแรงดูดกันระหว่างขดลวดกับแม่เหล็กถาวรตามรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 รูปแสดงทิศทางการดูดและผลักของขดลวดและแม่เหล็ก

2.2.8 Electronic Speed Controller



รูปที่ 2.13 Brushless 30A V2

Electronic Speed Controller (ESC) คืออุปกรณ์ที่ใช้ในการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า โดยส่วนใหญ่ใช้กับมอเตอร์ไฟฟ้าที่มีการทำงานด้วยกระแสไฟฟ้าทางตรง (DC) หรือมอเตอร์ไร้แปรง (Brushless Motor) เพื่อเอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ควบคุมความเร็วของมอเตอร์ให้หมุนในทิศทางและความเร็วที่ต้องการ โดยอาศัยการควบคุมสัญญาณไฟฟ้าที่ส่งเข้าไปยังมอเตอร์เพื่อปรับปรุงความเร็วของมอเตอร์ตามที่ต้องการ ESC มักถูกนำมาใช้ในหลายแอปพลิเคชันที่ต้องการควบคุมความเร็วของมอเตอร์ไฟฟ้า ไม่ว่าจะเป็นในยานยนต์บกหรือยานยนต์อากาศ ที่ใช้ในเครื่องบินไร้คนขับ (drones) หรือโดรน รถ RC (Remote Control) หรือการทำโมเดล RC ทั้งในรถยนต์, เรือ, หรือเครื่องบิน นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ในแบบอื่น ๆ ที่ต้องการควบคุมความเร็วของมอเตอร์อย่างแม่นยำ เช่น ในหุ่นยนต์, เครื่องจักรอุตสาหกรรม, หรือเครื่องจักรที่ใช้ในกระบวนการผลิต โดยมีประสิทธิภาพในการทำงานที่สูงและความแม่นยำในการควบคุมทิศทางและความเร็วของการหมุนของตัวหมุน. ในการทำงาน ESC จะรับสัญญาณจากตัวควบคุมหรือคอนโทรลเลอร์ และแปลงสัญญาณดังกล่าวเป็นคำสั่งที่ส่งไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วและทิศทางของการหมุนของมอเตอร์ไฟฟ้า การใช้ ESC ช่วยให้ผู้ใช้สามารถควบคุมและปรับเปลี่ยนความเร็วของมอเตอร์ได้อย่างมีประสิทธิภาพและมีความสามารถในการตอบสนองตามคำสั่งอย่างรวดเร็ว.

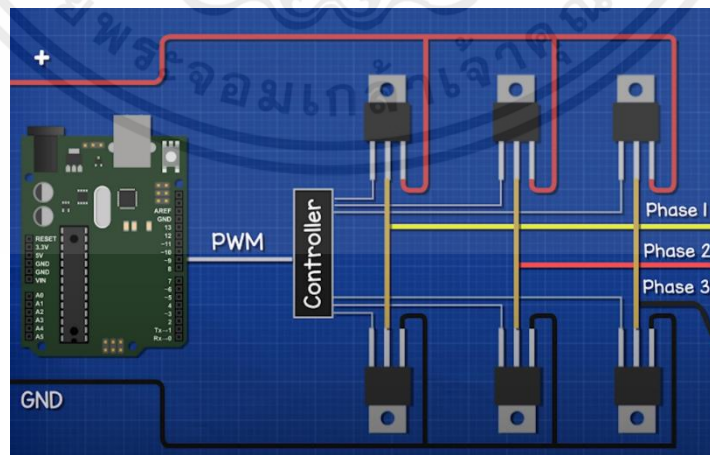
หลักการทำงานของ ESC (Electronic Speed Controller)



รูปที่ 2.14 รูปแสดงภายในของ ESC

ตัวควบคุมความเร็วจะใช้ MOSFET 6 ตัว ซึ่ง MOSFET เป็นสวิตช์อิเล็กทรอนิกส์ประเภทหนึ่ง MOSFET จะบล็อกการไหลของกระแสไฟฟ้า เว้นแต่เราจะจ่ายแรงดันไฟฟ้าให้กับขาควบคุม

ในวงจรตัวควบคุมความเร็ว MOSFET จะถูกแบ่งเป็น 3 คู่ ซึ่ง 1 คู่ สำหรับแต่ละเฟส และ MOSFET ทั้งหมดนี้จะเชื่อมต่อกันทั้งขั้วบวก และ GND ของแบตเตอรี่ ตัวควบคุมภายในจะรับสัญญาณเมอดูเลตความกว้างของ พัลส์ ซึ่งควบคุม MOSFET โดยการเปิดและปิด



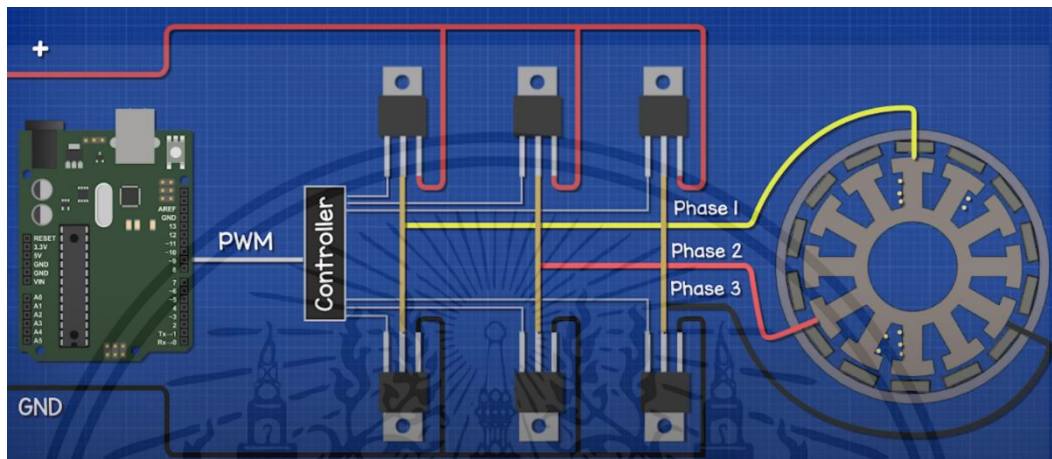
รูปที่ 2.15 รูปแสดงหลักการทำงานของ MOSFET ใน ESC

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ขั้นตอนที่ ESC (Electronic Speed Controller) ทำงาน:

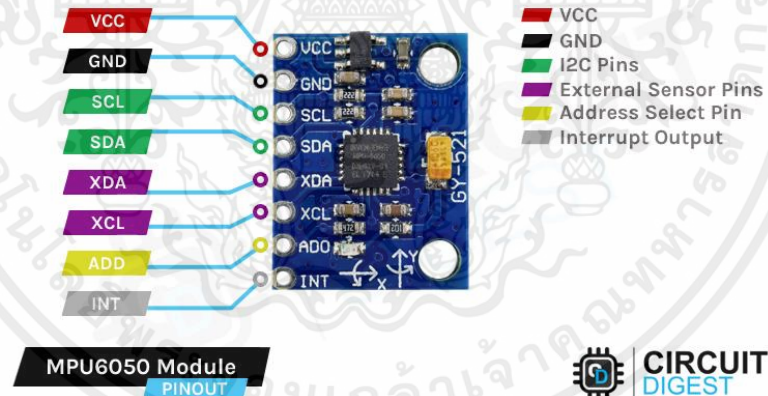
รับสัญญาณจากรีโมต: Arduino รับสัญญาณจากรีโมตผ่าน receiver เข้าที่บอร์ด Arduino และประมวลผลค่าที่ได้จาก receiver แล้วส่งให้ ESC ในรูปแบบของสัญญาณ PWM ควบคุมมอเตอร์: ESC จะควบคุมกระแสไฟฟ้าที่ส่งไปยังมอเตอร์เพื่อควบคุมความเร็วของมอเตอร์ตามสัญญาณ PWM ที่ได้รับจาก Arduino .

ส่งกระแสไปยังมอเตอร์: กระแสที่ได้รับจากการแปลงสัญญาณ PWM จะถูกส่งไปยังมอเตอร์ โดยมีการควบคุมทั้งการเปิด-ปิดและระยะเวลาที่เปิด-ปิด (Duty Cycle) จะเป็นการกำหนดความเร็วของมอเตอร์.



รูปที่ 2.16 รูปแสดงหลักการการทำงานของ ESC

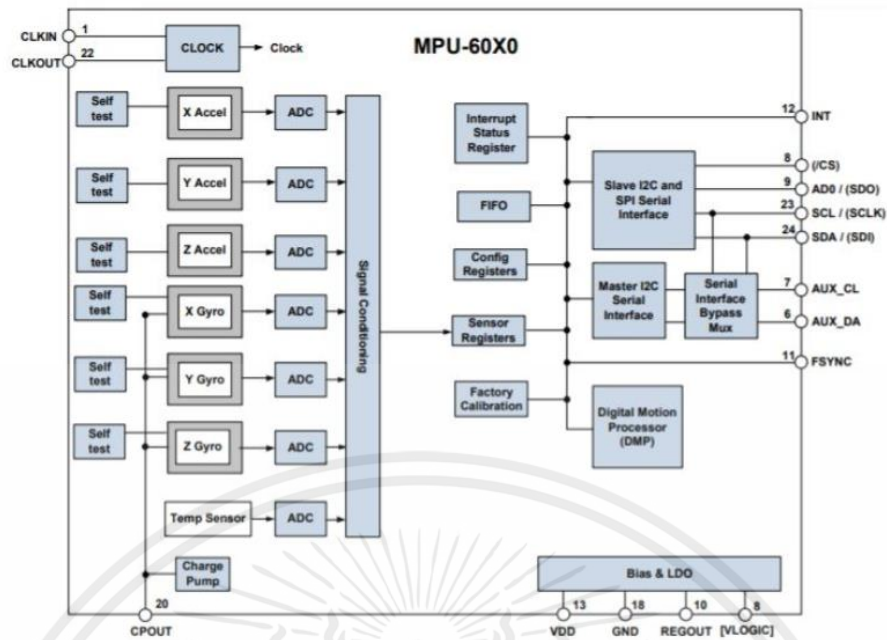
2.2.9 โมดูล GY-521(MPU6050)



รูปที่ 2.17 GY-521(MPU6050)

MPU6050 เป็นอุปกรณ์ติดตามการเคลื่อนไหวแบบ 6 แกนที่ใช้ MEMS มีไจโรสโคปแบบ 3 แกน เซ็นเซอร์วัดมาตรความเร่งแบบ 3 แกนและตัวประมวลผลการเคลื่อนไหวแบบดิจิทัล หรือ เรียกสั้น ๆ ว่า DMP (Digital motion processor). MPU6050 มาในรูปแบบโมดูลที่มี 8 พินโดยมีพินที่สำคัญและใช้งานหลักๆ อยู่ 4 พิน นั่นคือ VCC,GND,SCL,SDA ซึ่ง MPU 6050 นี้มีขนาดเล็กมากมีข้อกำหนดในการใช้พลังงานต่ำมีความแม่นยำสูงมีความสามารถในการทำซ้ำสูงทนต่อแรงกระแทกสูงมีความสามารถในการตั้งโปรแกรมประสิทธิภาพเฉพาะแอปพลิเคชันและราคาผู้บริโภคต่ำ MPU6050 สามารถเชื่อมต่อกับเซ็นเซอร์อื่น ๆ เช่น แมกนีโตมิเตอร์ และไมโครคอนโทรลเลอร์บล็อกโตอะแกรม MPU 6050

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.18 ภาพบล็อกไดอะแกรม MPU 6050

โมดูล MPU6050 ประกอบด้วยบล็อกและฟังก์ชันต่อไปนี้

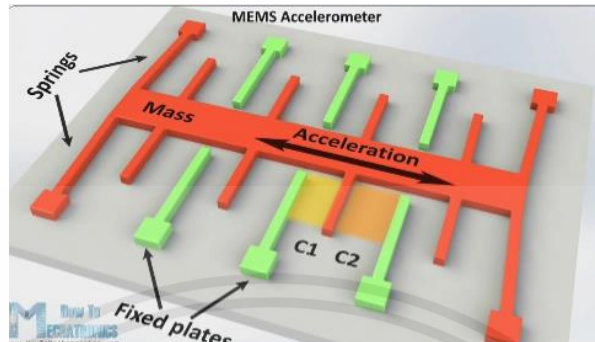
- เซ็นเซอร์ไจโรสโคปอัตรา MEMS 3 แกนพร้อม ADC 16 บิตสามตัวและการปรับสัญญาณ
- เซ็นเซอร์วัดความเร่ง MEMS 3 แกนพร้อม ADC 16 บิตสามตัวและการปรับสัญญาณ
- เอ็นจิน Digital Motion Processor บนชิป
- อินเทอร์เฟซการสื่อสารดิจิทัล I2C หลัก
- Auxillary I2C อินเทอร์เฟซสำหรับการสื่อสารกับเซ็นเซอร์ภายนอกเช่น Magnetometer
- การตอกบัตรภายใน
- ข้อมูลลงทะเบียนสำหรับจัดเก็บข้อมูลเซ็นเซอร์
- หน่วยความจำ FIFO ซึ่งช่วยในการลดการใช้พลังงาน
- การขัดจังหวะที่ผู้ใช้ตั้งโปรแกรมได้
- เซ็นเซอร์อุณหภูมิเอาต์พุตดิจิทัล
- การทดสอบตัวเองสำหรับไจโรสโคปและเครื่องวัดความเร่ง
- LDO และ Bias
- บีมชาร์จ.
- การลงทะเบียนสถานะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

แผนภูมิวงจรรวม

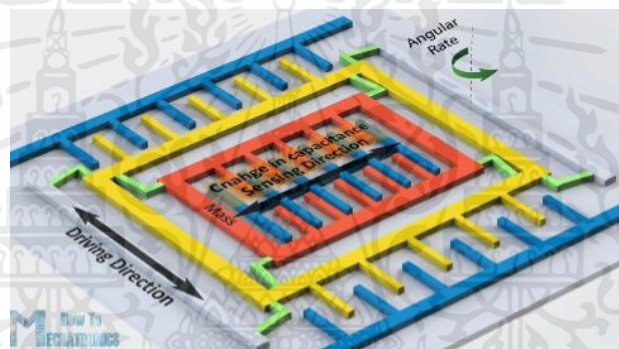
ไจโรสโคปที่มีอยู่ใน MPU6050 สามารถตรวจจับการหมุนของแกนทั้งสาม X, Y, Z เอฟเฟกต์ Coriolis ทำให้เกิดการสั่นสะเทือนเมื่อไจโรถูกหมุนเกี่ยวกับแกนใด ๆ ตัวเก็บประจุจะรับแรงสั่นสะเทือนเหล่านี้

หลักการการทำงานภายใน เซ็นเซอร์วัดความเร่ง



รูปที่ 2.19 หลักการทำงานภายใน เซ็นเซอร์วัดความเร่ง

หลักการการทำงานภายในไจโรสโคป



รูปที่ 2.20 หลักการทำงานภายในไจโรสโคป

จากนั้นสัญญาณที่ผลิตจะถูกขยาย, demodulated และกรองเพื่อสร้างแรงดันไฟฟ้าที่เป็นสัดส่วนกับอัตราเชิงมุม จากนั้นแรงดันไฟฟ้านี้จะถูกแปลงเป็นดิจิทัลโดยใช้ ADC

DMP ที่มีอยู่ใน MPU6050 จะลดการคำนวณของอัลกอริทึมการตรวจจับการเคลื่อนไหวจากโฮสต์โปรเซสเซอร์ DMP รับข้อมูลจากเซ็นเซอร์ทั้งหมดและเก็บค่าที่คำนวณไว้ในการลงทะเบียนข้อมูลหรือใน FIFO FIFO สามารถเข้าถึงได้ผ่านอินเทอร์เฟซแบบอนุกรม การใช้ ADO พินมากกว่าหนึ่งโมดูล MPU6050 สามารถเชื่อมต่อกับไมโครโปรเซสเซอร์ได้ MPU6050 สามารถใช้กับไฟล์ Arduino เนื่องจาก MPU6050 มีไลบรารีที่มีเอกสารอย่างดีพร้อมใช้งาน

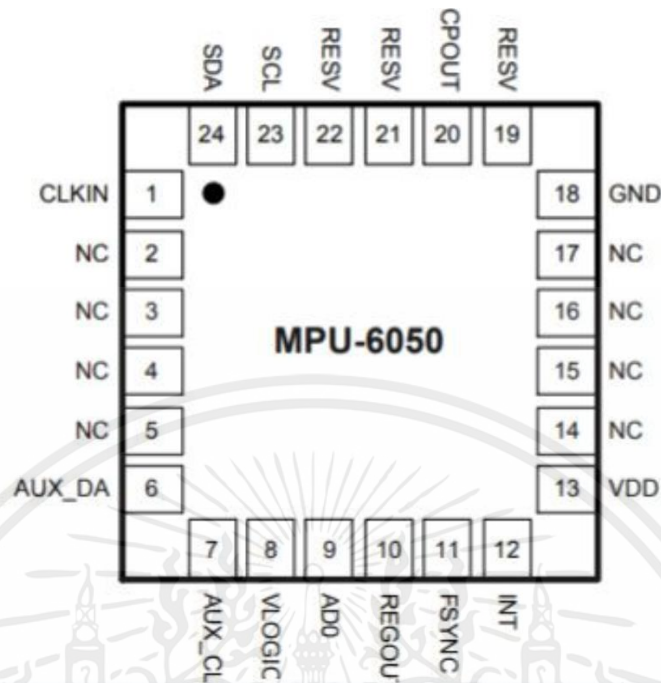
ที่ใช้ในแอปพลิเคชันสาย I2C ของ MPU6050 จะถูกดึงสูงโดยใช้ตัวต้านทาน $4.7k\Omega$

และพินอินเทอร์รัปต์ถูกดึงลงโดยใช้ตัวต้านทาน $4.7k\Omega$ เมื่อข้อมูลพร้อมใช้งานใน FIFO พินขัดจังหวะจะสูง ตอนนี้ไมโครคอนโทรลเลอร์สามารถอ่านข้อมูลโดยใช้ การสื่อสาร I2C รหัส.

ข้อมูลที่จัดทำโดยไลบรารีประกอบด้วยค่าข้อมูลต่อไปนี้ - ส่วนประกอบ Quaternion, มุมของออยเลอร์, การหันเห, ระยะห่าง, การหมุน, การเร่งความเร็วในโลกแห่งความจริง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

พินไดอะแกรม



รูปที่ 2.21 พินไดอะแกรมของ MPU 6050

MPU6050 มีให้ในแพ็คเกจขนาดเล็ก $4 \times 4 \times 0.9$ มม. โครงสร้าง MEMS ถูกปิดผนึกอย่างแน่นหนาและเชื่อมติดกันที่ระดับเวเฟอร์ MPU6050 มีให้ในแพ็คเกจ QFN 24 พิน คำอธิบายพินของโมดูลนี้แสดงไว้ด้านล่าง Pin-1-CLKIN- เป็นอินพุตนาฬิกาอ้างอิงภายนอกที่เป็นอุปกรณ์เสริม พินนี้เชื่อมต่อกับกราวด์เมื่อไม่ใช้งาน

- Pin-2, Pin-3, Pin-4, Pin-5 คือหมุด NC พินเหล่านี้ไม่ได้เชื่อมต่อภายใน
- Pin-6, AUX_DA คือพินข้อมูลอนุกรมหลักของ I2C พินนี้ใช้สำหรับเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ภายนอก
- Pin-7, AUX_CL คือนาฬิกาอนุกรม I2C หลัก พินนี้ใช้สำหรับเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ภายนอก
- Pin-8, VLOGIC คือพินแรงดันไฟฟ้า I/O ดิจิตอล
- Pin-9, AD0 คือพิน LSB ของที่อยู่ทาส I2C
- Pin-10, REGOUT คือการเชื่อมต่อตัวเก็บประจุตัวกรอง Regulator
- Pin-11, FSYNC คืออินพุตดิจิตอลการซิงโครไนซ์เฟรม พินนี้เชื่อมต่อกับกราวด์เมื่อไม่ได้ใช้งาน
- Pin-12, INT คือพินเอาต์พุตดิจิตอลขัดจังหวะ
- Pin-13, VDD คือพินแรงดันไฟฟ้าของแหล่งจ่ายไฟ
- Pin-14, Pin-15, Pin-16, Pin-17 เป็นพิน NC พินเหล่านี้ไม่ได้เชื่อมต่อภายใน
- Pin-18, GND คือกราวด์ของแหล่งจ่ายไฟ
- Pin-19 และ Pin-21 เป็นพิน RESV พินเหล่านี้สงวนไว้
- Pin-20, CPOUT คือการเชื่อมต่อตัวเก็บประจุปั๊มประจุ
- Pin-22 คือ RESV ซึ่งเป็นพินที่สงวนไว้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Pin-23, SCL คือนาฬิกาอนุกรม I2C
- Pin-24, SDA คือพินข้อมูลอนุกรม I2C

ข้อมูลจำเพาะของ MPU6050

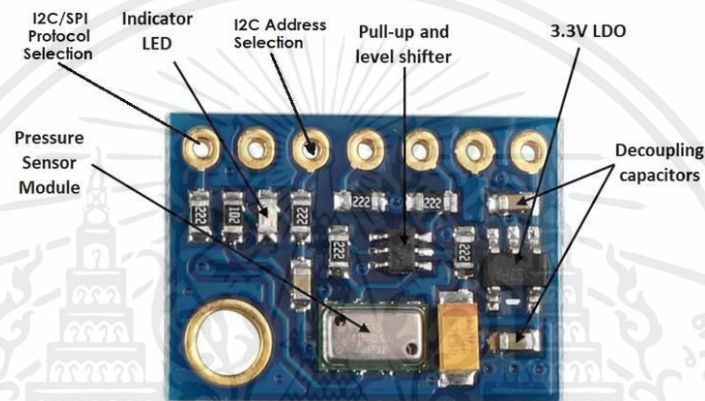
MPU6050 เป็นอุปกรณ์ติดตามการเคลื่อนไหว 6 แกนในตัวเครื่องแรกของโลก ข้อกำหนดบางประการของโมดูลนี้มีให้ด้านล่าง -

- MPU6050 มีไจโรสโคปแบบ 3 แกน, มาตรฐานความเร่ง 3 แกนและตัวประมวลผลการเคลื่อนไหวแบบดิจิทัลที่รวมอยู่ในชิปตัวเดียว
- ทำงานกับแหล่งจ่ายไฟ 3V-5V
- MPU6050 ใช้โปรโตคอล I2C สำหรับการสื่อสารและการถ่ายโอนข้อมูล
- โมดูลนี้มี ADC 16 บิตในตัวซึ่งให้ความแม่นยำสูง
- MPU6050 สามารถเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ IIC อื่น ๆ เช่น Magnetometers
- MPU6050 ยังมีเซ็นเซอร์อุณหภูมิในตัว
- บัสเซ็นเซอร์ I2C ช่วยในการรวบรวมข้อมูลโดยตรงจากเข็มทิศ 3 แกนภายนอกซึ่งใช้เพื่อให้เอาต์พุต MotionFusion 9 แกนสมบูรณ์
- สำหรับผู้ผลิต MPU6050 ไม่จำเป็นต้องมีการเลือกคุณสมบัติและการรวมอุปกรณ์แยกแยะระดับระบบ
- การใช้พอร์ต I2C สามารถเชื่อมต่อเซ็นเซอร์ที่ไม่เฉื่อยเช่นเซ็นเซอร์ความดันได้
- MPU6050 ประกอบด้วย ADC 16 บิตสามตัวสำหรับการแปลงอินพุตไจโรสโคปแบบดิจิทัลและ ADC 16 บิตสามตัวสำหรับการแปลงเอาต์พุตของมาตรวัดความเร่งแบบดิจิทัล
- มีช่วงไจโรสโคปที่ผู้ใช้ตั้งโปรแกรมได้และช่วงมาตรฐานความเร่งที่ผู้ใช้ตั้งโปรแกรมได้เพื่อการติดตามการเคลื่อนไหวที่รวดเร็วและช้าอย่างแม่นยำ
- มีบัฟเฟอร์ FIFO บนชิป 1024 ไบต์ซึ่งช่วยในการลดการใช้พลังงานของโมดูล
- ความจำเป็นในการรวมเอาต์พุตเซ็นเซอร์บ่อยๆจะลดลงด้วยความช่วยเหลือของ DMP บนชิป
- MPU6050 ยังมีออสซิลเลเตอร์บนชิปที่มีการเปลี่ยนแปลง $\pm 1\%$
- MPU6050 มีตัวกรองความถี่ต่ำสำหรับไจโรสโคปเครื่องวัดความเร่งและเซ็นเซอร์อุณหภูมิ
- พินอ้างอิง VLOGIC ใช้เพื่อตั้งค่านี้อาจจิกของอินเทอร์เฟซ I2C
- ช่วงของไจโรสโคปที่ผู้ใช้สามารถตั้งโปรแกรมได้ที่มีอยู่ใน MPU6050 คือ ± 250 , ± 500 , ± 1000 และ ± 2000 ° / วินาที
- การซิงโครไนซ์รูปภาพวิดีโอและ GPS ได้รับการสนับสนุนโดยพินซิงค์ภายนอกของไจโรสโคป
- ไจโรสโคปนี้ได้ปรับปรุงประสิทธิภาพเสถียรภาพความถี่ต่ำ
- Gyroscope ต้องการกระแส 3.6mA สำหรับการใช้งาน
- ตัวกรองความถี่ต่ำของไจโรสโคปสามารถตั้งโปรแกรมแบบดิจิทัลได้
- Accelerometer ที่มีอยู่ใน MPU6050 ทำงานบนกระแสไฟฟ้า $500\mu A$
- ช่วงเต็มสเกลที่ตั้งโปรแกรมได้ของเครื่องวัดความเร่งนี้คือ $\pm 2g$, $\pm 4g$, $\pm 8g$ และ $16g$
- accelerometer ยังสามารถตรวจจับการวางแนวการตรวจจับการแตะ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- ระหว่าง accelerometer และแกนไจโรสโคปมีความไวข้ามแกนน้อยที่สุด
- ในการสื่อสารกับรีจิสเตอร์ทั้งหมด 400kHz โหมดเร็วจะใช้ I2C
- DMP ที่มีอยู่ใน MPU6050 รองรับการประมวลผลการเคลื่อนไหว 3 มิติและอัลกอริทึมการจดจำท่าทาง
- การอ่านต่อเนื่องมีไว้สำหรับตัวประมวลผลระบบ หลังจากอ่านข้อมูลจาก FIFO ตัวประมวลผลระบบจะเข้าสู่โหมดสลีปพลังงานต่ำในขณะที่ MPU รวบรวมข้อมูลเพิ่มเติม
- คุณสมบัติเช่นการจดจำท่าทางการแพนการซูมการเลื่อนการตรวจจับการแตะและการตรวจจับเฟิงได้รับการสนับสนุนโดยการขัดจังหวะที่ตั้งโปรแกรมได้
- MPU6050 ยังมีอินพุตสัญญาณนาฬิกาภายนอกที่เป็นอุปกรณ์เสริม 32.768kHz หรือ 19.2Mhz

2.2.10 MS5611 GY-63 SPI Communication



รูปที่ 2.22 Barometric MS-5611

เซ็นเซอร์ MS-5611 คือเซ็นเซอร์ที่ใช้ในการวัดอุณหภูมิ (Temperature) และความดันบรรยากาศ (Barometric Pressure) ซึ่งเป็นข้อมูลที่มีความสำคัญในการตรวจวัดสภาวะอากาศและสภาพแวดล้อมต่าง ๆ รอบตัวเรา

1. Temperature Sensor (เซ็นเซอร์อุณหภูมิ): สามารถวัดอุณหภูมิของสภาวะที่อยู่ใกล้เซ็นเซอร์ เป็นค่าอุณหภูมิในหน่วยองศาเซลเซียส (Celsius) หรือฟาเรนไฮต์ (Fahrenheit) ขึ้นอยู่กับการตั้งค่า ที่สำคัญในการตรวจวัดอุณหภูมิในการทำนายสภาพอากาศและปรับการทำงานของอุปกรณ์ต่าง ๆ
2. Barometric Pressure Sensor (เซ็นเซอร์ความดันบรรยากาศ): วัดความดันบรรยากาศหรือความกดอากาศที่มีอยู่ตลอดเวลา ซึ่งส่งผลต่อการคาดเดาสภาพอากาศและสร้างแผนที่เนื่องจากความแตกต่างในความดันบรรยากาศ ความดันบรรยากาศสามารถแปลงเป็นความสูงทางทะเล (elevation) ได้เช่นกัน

เซ็นเซอร์ MS-5611 เป็นอุปกรณ์ที่มีประสิทธิภาพในการวัดอุณหภูมิและความดันบรรยากาศ และมักใช้ในการทำนายสภาพอากาศ, วิศวกรรมระบบควบคุม, ระบบวิเคราะห์สภาพแวดล้อม, หรือในโครงการที่ต้องการข้อมูลเกี่ยวกับสภาพอากาศและสภาพแวดล้อมทั้งองค์ประกอบเหล่านี้ใช้ในการควบคุมหรือโครงการอื่น ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.11 Battery Fullymax 2200 mah/3s/30c XT60 plug



รูปที่ 2.23 Battery Lipo 3s 2200 mah 30C

สัญลักษณ์/ความหมาย

S = Series คือการต่อแบบอนุกรม

P = parallel คือการต่อแบบขนาน

1S หมายถึง cell แบต 1 cell จะได้โวลท์ 3.7V (หรือ 4.2V เมื่อไม่มีโหลด)

2S หมายถึงมี cell แบต 2 cells ต่ออนุกรมกัน จะได้โวลท์ $3.7 \times 2 = 7.4$ V (หรือ 8.4V เมื่อไม่มีโหลด)

3S หมายถึงมี cell แบต 3 cells ต่ออนุกรมกัน จะได้โวลท์ $3.7 \times 3 = 11.1$ V (หรือ 12.6V เมื่อไม่มีโหลด)

1P หมายถึงไม่มีการขนาน cell (แบตมี cell เดียว)

2P หมายถึงขนาน cell แบต 2 cells จะได้ความจุเป็น 2 เท่า เช่นความจุแบต cell ละ 1,000mAh เมื่อขนาดจะได้ความจุรวมเป็น 2,000mAh

ถ้าไม่มีระบุสัญลักษณ์บนตัวแบต ก็ให้ดูค่าโวลท์บนตัวแบต อาทิ

7.4V = แบตก่อนนี้มี 2 cells

11.1V = แบตก่อนนี้มี 3 cells เป็นต้น

mAh (milli-Amp-hour)

คือ ค่าความจุของแบตเตอรี่ เช่น 1,000mAh (เท่ากับ 1 แอมป์) ถ้าใช้แบตเตอรี่จ่ายไฟให้มอเตอร์ 1,000 มิลลิแอมป์ แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ 1 ชั่วโมง ถ้าใช้จ่ายไฟให้มอเตอร์ 500 มิลลิแอมป์ แบตเตอรี่จะจ่ายกระแสไฟฟ้าได้ $1,000\text{mAh}/500\text{mA} = 2$ hr หรือ 2 ชั่วโมง

C Rating

หมายถึงความสามารถในการจ่ายกระแสเมื่อเทียบกับความจุ เช่น แบต 1,000mAh 15C หมายถึง ความจุแบต = 1,000mAh จ่ายกระแสได้สูงสุด = $1,000\text{mAh} \times 15\text{C} = 15,000\text{mA}$ หรือเท่ากับ 15A ซึ่งหมายถึงเราสามารถจ่ายกระแสให้มอเตอร์ที่กินกระแสไม่เกิน 15A ได้ แต่ถ้าเอาไปจ่ายกระแสมอเตอร์ที่กินกระแสเกิน 15A แบตเตอรี่จะร้อนเร็วมาก จนบวม และอาจลุกไหม้เสียหายได้

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.12 Remote Controller and Receiver



รูปที่ 2.24 Remote Controller FS-i6X

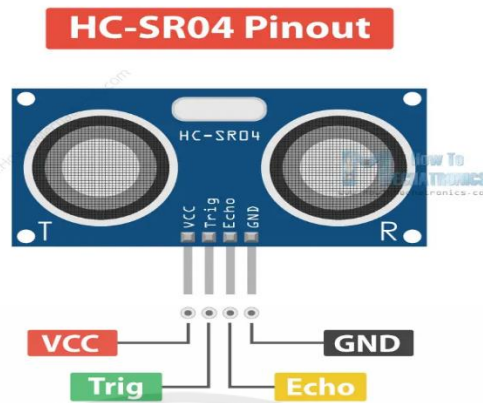


รูปที่ 2.25 Receiver FS-IA6B

FS-i6x คือรีโมทคอนโทรลที่ใช้ในการควบคุมรถบังคับระยะไกล (RC) และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีระบบสัญญาณ RF (Radio Frequency) สำหรับการสื่อสารระหว่างอุปกรณ์ที่ควบคุมและอุปกรณ์ที่ถูกควบคุม โดยทั่วไปมักใช้ในการควบคุมเครื่องบินบังคับระยะไกล, รถบังคับระยะไกล, หุ่นยนต์, และอุปกรณ์อื่น ๆ ที่มีการควบคุมไร้สาย รีโมทคอนโทรลรุ่น FS-i6x จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันไปตามรุ่น ซึ่งสามารถควบคุมหลายอุปกรณ์ได้ในระยะไกลที่ไกล และมักมีความยืดหยุ่นในการกำหนดค่าการตั้งค่าต่าง ๆ ตามความต้องการของผู้ใช้ นอกจากนี้ ยังสามารถปรับแต่งปุ่มและสวิตช์ต่าง ๆ ตามการใช้งานแต่ละประเภทด้วย รีโมทคอนโทรล FS-i6x เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับคนที่สนใจในการสร้างและควบคุมอุปกรณ์ที่ใช้เทคโนโลยี RC.

FS-IA6B เป็นตัวรับสัญญาณที่ใช้ในระบบควบคุมระยะไกลสำหรับการควบคุมอุปกรณ์บินและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยีระบบสัญญาณ RF (Radio Frequency) เช่นกัน มักนำมาใช้ร่วมกับรีโมทคอนโทรลของแบรนด์ Flysky ที่มีระบบส่งสัญญาณแบบ 2.4 กิกะเฮิรตซ์ ตัวรับสัญญาณนี้มีการออกแบบให้มีขนาดเล็กและเบา โดยสามารถรับสัญญาณได้ในระยะไกลที่คุ้มค่า ทำให้เหมาะสำหรับการใช้งานในอุปกรณ์ที่มีขนาดจำกัด อย่างไรก็ตาม มีความสามารถในการรับสัญญาณที่แม่นยำและเสถียร ทำให้เป็นทางเลือกที่น่าสนใจสำหรับผู้ที่ต้องการควบคุมอุปกรณ์ไร้สายที่มีประสิทธิภาพและความน่าเชื่อถือสูง ทั้งนี้ FS-IA6B มักนำมาใช้ร่วมกับรีโมทคอนโทรลที่ใช้ในการควบคุมเครื่องบินบังคับระยะไกลและอุปกรณ์อื่น ๆ ที่ใช้เทคโนโลยี RC อย่างแพร่หลาย

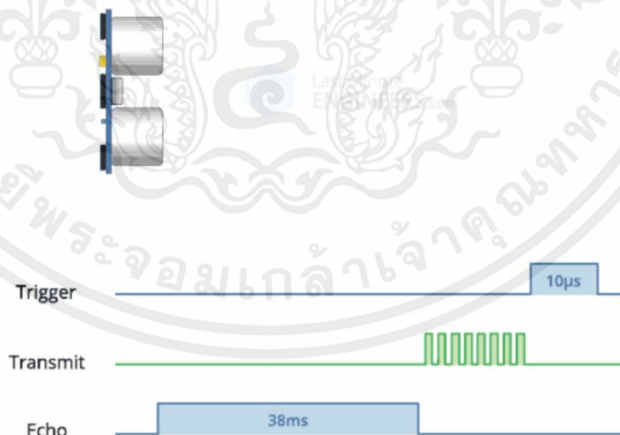
2.2.13 อัลตราโซนิก HC-SR04



รูปที่ 2.26 อัลตราโซนิก HC-SR04

เซ็นเซอร์วัดระยะอัลตราโซนิก HC-SR04 ทำงานอย่างไร

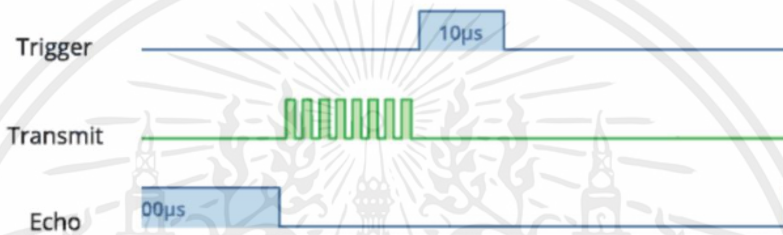
ทุกอย่างเริ่มต้นเมื่อทริกเกอร์พินถูกตั้งค่าเป็นสูงที่ $10\mu\text{s}$ ในการตอบสนอง เซ็นเซอร์จะส่งคลื่นอัลตราโซนิก 8 พัลส์ที่ 40 kHz รูปแบบ 8 พัลส์นี้ได้รับการออกแบบมาเป็นพิเศษเพื่อให้เครื่องรับสามารถแยกแยะพัลส์ที่ส่งจากสัญญาณรบกวนอัลตราโซนิกโดยรอบได้ พัลส์อัลตราโซนิกทั้งแปดนี้เดินทางผ่านอากาศออกจากตัวส่งสัญญาณ ในขณะเดียวกัน echo pin จะขึ้นสูงเพื่อเริ่มต้นสัญญาณ echo-back หากพัลส์เหล่านั้นไม่สะท้อนกลับ สัญญาณเสียงก้องจะหมดเวลาและลดลงหลังจากผ่านไป 38 มิลลิวินาที (38 มิลลิวินาที) ดังนั้นชีพจรที่ 38ms บ่งชี้ว่าไม่มีสิ่งกีดขวางภายในระยะของเซ็นเซอร์



รูปที่ 2.27 พัลส์ไม่สะท้อนกลับ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

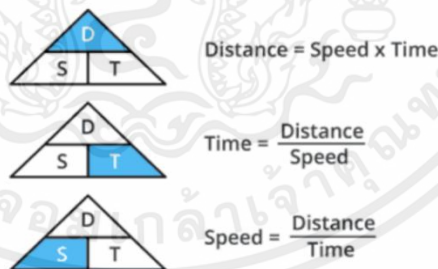
หากพัลส์เหล่านั้นสะท้อนกลับ พินเสียงก้องจะต่ำลงทันทีที่ได้รับสัญญาณ
 สิ่งนี้จะสร้างพัลส์บนพินเอคโค่ซึ่งมีความกว้างตั้งแต่ 150 μs ถึง 25 ms ขึ้นอยู่กับเวลาที่ใช้ในการรับสัญญาณ



รูปที่ 2.28 พัลส์สะท้อนกลับ

การคำนวณระยะทาง

ความกว้างของพัลส์ที่ได้รับใช้ในการคำนวณระยะห่างจากวัตถุที่สะท้อน วิธีนี้สามารถทำได้โดยใช้สมการระยะทาง-ความเร็ว-เวลาต่างๆ ที่เราเรียนในโรงเรียนมัธยมปลาย วิธีง่ายๆ ในการจำสมการคือการใส่ตัวอักษรในรูปสามเหลี่ยม



รูปที่ 2.29 การคำนวณระยะห่างจากวัตถุที่สะท้อน

ให้เรายกตัวอย่างเพื่อให้ชัดเจนยิ่งขึ้น สมมติว่าเรามีวัตถุอยู่หน้าเซ็นเซอร์ในระยะห่างที่ไม่ทราบ และเราได้รับพัลส์ความกว้าง 500μs บนพินเอคโค่ ทีนี้ลองคำนวณดูว่าวัตถุอยู่ห่างจากเซ็นเซอร์มากแค่ไหน สำหรับสิ่งนี้เราจะใช้สมการด้านล่างนี้

$$\text{ระยะทาง} = \text{ความเร็ว} \times \text{เวลา}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ที่นี่เรามีค่าของเวลา เช่น 500 μs และเรารู้ความเร็วแน่นอนว่ามันคือความเร็วของเสียง! มันคือ 340 เมตร/วินาที ในการคำนวณระยะทาง เราจำเป็นต้องแปลงความเร็วของเสียงเป็น $\text{cm}/\mu\text{s}$ มันคือ 0.034 ซม./ไมโครวินาที ด้วยข้อมูลนั้น เราก็สามารถคำนวณระยะทางได้แล้ว

$$\text{ระยะทาง} = 0.034 \text{ ซม.}/\mu\text{s} \times 500 \mu\text{s}$$

แต่เรายังไม่เสร็จ! โปรดจำไว้ว่าพัลส์เสียงสะท้อนจะระบุเวลาที่ใช้สำหรับส่งสัญญาณและสะท้อนกลับ ดังนั้นเพื่อให้ได้ระยะทาง คุณต้องหารผลลัพธ์ด้วยสอง

$$\text{ระยะทาง} = (0.034 \text{ ซม.}/\mu\text{s} \times 500 \mu\text{s}) / 2$$

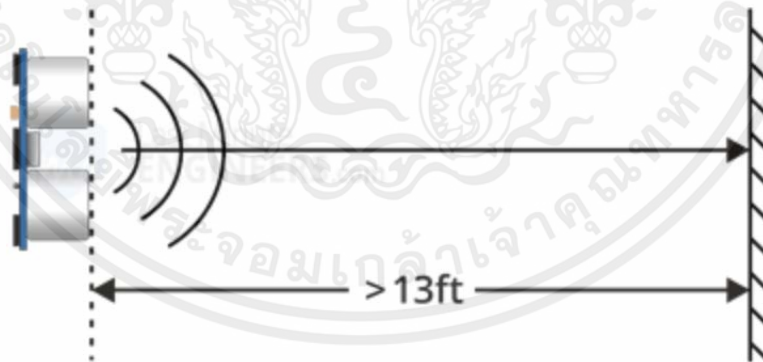
$$\text{ระยะห่าง} = 8.5 \text{ ซม}$$

ตอนนี้เรารู้แล้วว่าวัตถุอยู่ห่างจากเซนเซอร์ 8.5 ซม .

มีข้อจำกัดอะไรบ้าง?

เซนเซอร์อัลตราโซนิก HC-SR04 นั้นดีมากในแง่ของความแม่นยำและการใช้งานโดยรวม โดยเฉพาะอย่างยิ่งเมื่อเปรียบเทียบกับเซนเซอร์อัลตราโซนิกราคาประหยัดอื่นๆ นี่ไม่ได้หมายความว่าเซนเซอร์ HC-SR04 จะทำงานตลอดเวลา รูปภาพต่อไปนี้แสดงข้อจำกัดบางประการของ HC-SR04:

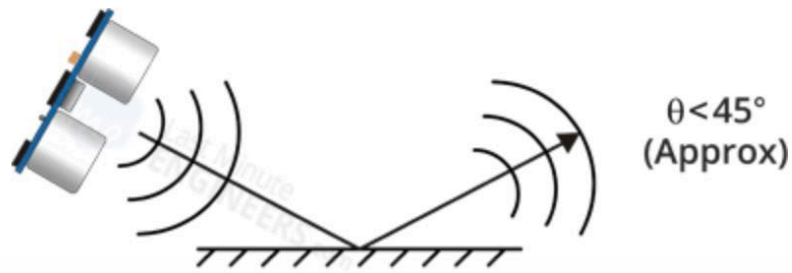
- ระยะห่างระหว่างเซนเซอร์กับวัตถุ/สิ่งกีดขวางมากกว่า 13 ฟุต



รูปที่ 2.30 การทำงานของอัลตราโซนิกระหว่างเซนเซอร์กับวัตถุ/สิ่งกีดขวาง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- วัตถุที่มีพื้นผิวสะท้อนแสงในมุมตื้น เพื่อไม่ให้เสียงสะท้อนกลับไปยังเซนเซอร์



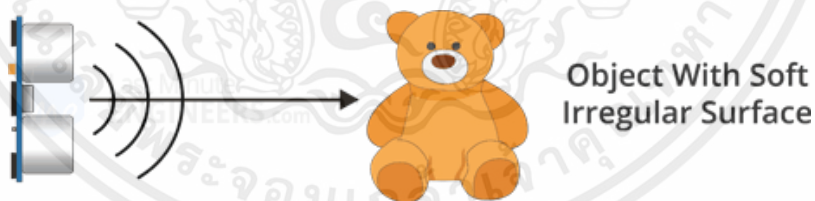
รูปที่ 2.31 การสะท้อนของอัลตราโซนิก

- วัตถุที่มีขนาดเล็กเกินไปที่จะสะท้อนเสียงกลับไปยังเซนเซอร์ได้เพียงพอ นอกจากนี้ หากเซนเซอร์ HC-SR04 ติดตั้งต่ำบนอุปกรณ์ของคุณ คุณมีแนวโน้มที่จะได้รับเสียงสะท้อนจากพื้น



รูปที่ 2.32 การตรวจจับของอัลตราโซนิกต่อสิ่งของขนาดเล็ก

- วัตถุบางชนิดที่มีพื้นผิวนุ่มและไม่สม่ำเสมอ (เช่น ตุ๊กตาสัตว์) จะดูดซับเสียงแทนที่จะสะท้อน ดังนั้นเซนเซอร์ HC-SR04 จึงอาจตรวจจับวัตถุดังกล่าวได้ยาก

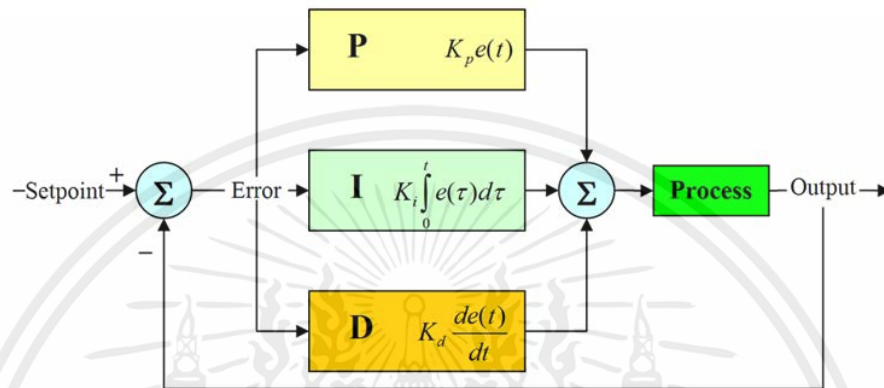


รูปที่ 2.33 การตรวจจับของอัลตราโซนิกเมื่อเจอพื้นผิวที่ดูดซับเสียง

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.14 การควบคุมมุม roll pitch และ Yaw.

ระบบควบคุมพีไอดี ระบบควบคุมแบบสัดส่วน-ปริพันธ์-อนุพันธ์ (อังกฤษ: PID controller) เป็นระบบควบคุมแบบป้อนกลับที่ใช้กันอย่างกว้างขวาง ซึ่งค่าที่นำไปใช้ในการคำนวณเป็นค่าความผิดพลาดที่หามาจากความแตกต่างของตัวแปรในกระบวนการและค่าที่ต้องการ ตัวควบคุมจะพยายามลดค่าผิดพลาดให้เหลือน้อยที่สุดด้วยการปรับค่าสัญญาณขาเข้าของกระบวนการ ค่าตัวแปรของ PID ที่ใช้จะปรับเปลี่ยนตามธรรมชาติของระบบ



รูปที่ 2.34 แผนภาพบล็อกของการควบคุมแบบพีไอดี

โดยคำนวณค่าผลต่าง

$$e(t) = r(t) - y(t)$$

สัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$u_p = k_p \times e(t)$$

ปริพันธ์ เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

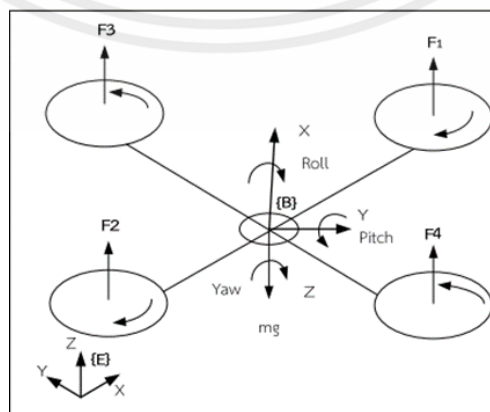
$$u_I = k_I \times \int_0^t e(t) dt$$

อนุพันธ์ เทอมอนุพันธ์จะเป็นไปตามสมการ

$$u_D = k_D \times \frac{d}{dt} e(t)$$

จะได้กฎการควบคุมพีไอดี คือ

$$u = u_p + u_I + u_D$$



รูปที่ 2.35 ระบบเครื่องบิน 4 ใบพัด

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.15 สมการระบบ

จากภาพที่ 2.38 สามารถวิเคราะห์เป็นสมการการเคลื่อนที่ ดังนี้

$$\begin{aligned} m\ddot{x} &= u_z(\cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\psi) - k_x\dot{x} \\ m\ddot{y} &= u_z(\cos\phi\sin\theta\cos\psi - \sin\phi\cos\psi) - k_y\dot{y} \\ m\ddot{z} &= u_z(\cos\phi\sin\theta) - mg - k_z\dot{z} \\ J_x\ddot{\theta} &= u_\theta + (J_y - J_z)\dot{\phi}\dot{\psi} - J_T\dot{\phi}\dot{\Omega} - k_\theta\dot{\theta} \\ J_y\ddot{\phi} &= u_\phi + (J_z - J_x)\dot{\phi}\dot{\psi} - J_T\dot{\theta}\dot{\Omega} - k_\phi\dot{\phi} \\ J_z\ddot{\psi} &= u_\psi + (J_x - J_y)\dot{\theta}\dot{\phi} - k_\psi\dot{\psi} \end{aligned}$$

โดยสามารถหาความเร็วเชิงมุม จาก inertial frame (Euler rates) เปลี่ยนไป body-fixed frame

$$\begin{bmatrix} p \\ q \\ r \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & -\sin\theta \\ 0 & \cos\phi & \cos\theta\sin\phi \\ 0 & -\sin\phi & \cos\theta\cos\phi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{\phi} \\ \dot{\theta} \\ \dot{\psi} \end{bmatrix}$$

โดยมีเมทริกซ์โรเตชัน rotation matrix และ direction cosine matrix (DCM) และ Euler angles

$$\begin{bmatrix} a_{xE} \\ a_{yE} \\ a_{zE} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta\cos\psi & \sin\phi\sin\theta\cos\psi - \cos\phi\sin\psi & \cos\phi\sin\theta\cos\psi + \sin\phi\sin\psi \\ \cos\theta\sin\psi & \sin\phi\sin\theta\sin\psi + \cos\phi\cos\psi & \cos\phi\sin\theta\sin\psi - \sin\phi\cos\psi \\ -\sin\theta & \sin\phi\cos\theta & \cos\phi\cos\theta \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_{xB} \\ a_{yB} \\ a_{zB} \end{bmatrix}$$

Quaternions_and_spatial_rotation

$$Q = \begin{bmatrix} 1-2y^2-2z^2 & 2xy-2zw & 2xz+2yw \\ 2xy+2zw & 1-2x^2-2z^2 & 2yz-2xw \\ 2xz-2yw & 2yz+2xw & 1-2x^2-2y^2 \end{bmatrix}$$

ในสมการมีผลของ Drag terms และ gyroscopic และ Coriolis-centripetal effects

สมการมอเตอร์ เนื่องจากเครื่องบินใช้มอเตอร์บัสเลส (brushless motor) และสปีดคอนโทรลเลอร์ (Electronic speed controller) ในการสั่งมอเตอร์หมุนที่ความเร็วรอบต่าง ๆ โดยที่ค่า มีค่าอยู่ระหว่าง 1000 – 1900 ms เป็นค่าที่ใช้ควบคุมความเร็วมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว พิจารณาจะได้

$$u_{PWM} = (u_m1 + u_m2 + u_m3 + u_m4 - 4000)$$

สมการมอเตอร์หมุนเป็นความเร็วพิจารณาเป็นสมการไดนามิกส์ จะได้

$$\dot{\theta}_m = \frac{u_{PWM} - k_f\theta}{J_m}$$

พิจารณาค่าเป็นเชิงเส้น ต้องมีอัตราขยายมาคูณเพื่อเปลี่ยนหน่วย PWM เป็นค่าแรงนิวตัน จะได้

$$u_z = k_{mF}u_{PWM}$$

จะได้สมการมอเตอร์ทั้ง 4 ตัว ดังนี้

$$\begin{bmatrix} \text{motor_FrontL} \\ \text{motor_FrontR} \\ \text{motor_BackL} \\ \text{motor_BackR} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0.7071 & 0.7071 & -0.5 \\ 1 & -0.7071 & 0.7071 & 0.5 \\ 1 & 0.7071 & -0.7071 & 0.5 \\ 1 & -0.7071 & -0.7071 & -0.5 \end{bmatrix} \times \begin{bmatrix} u_{Altitude} \\ u_{roll} \\ u_{pitch} \\ u_{yaw} \end{bmatrix}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

การควบคุมมุม roll pitch และ Yaw โดยใช้กฎการควบคุม พี-พีไอดี (P-PID) จะแยกชุดควบคุมทีละแกน Roll โดยดูจากแผนภาพบล็อก Block Diagrams of Control System โดยทำการจำลองบนโปรแกรม Simulink Matlab R2010a โดยคำนวณค่าผลต่าง

$$e(t) = CH_AIL - roll$$

$$e_2(t) = e(t) * Kp_levelRoll - GyroXf$$

สัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ

$$u_p = k_p \times e_2(t)$$

ปริพันธ์ เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$u_I = k_I \times \int_0^t e_2(t)$$

อนุพันธ์ เทอมอนุพันธ์เป็นไปตามสมการ

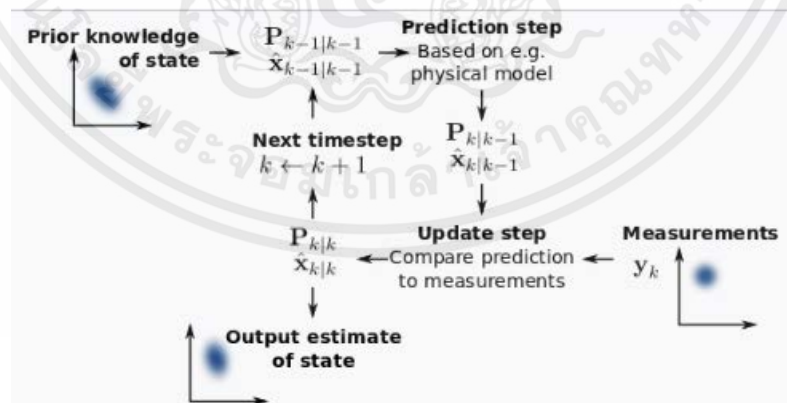
$$u_D = k_D \times \frac{d}{dx} e_2(t)$$

จะได้กฎการควบคุมพีไอดี คือ

$$u.roll = u_p + u_I + u_D$$

2.2.16 Kalman filter

ตัวกรองคาลมาน (Kalman Filter) เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นการประมาณค่าของสมการกำลังสองเชิงเส้นเป็นขั้นตอนวิธีแบบเวียนบังเกิดในการประมาณตัวแปรสถานะของระบบพลวัต โดยการประมาณตัวแปรสถานะของระบบพลวัตนี้อาจจะประยุกต์ใช้ในกรณีที่ต้องการประมาณตัวแปรสถานะที่ถูก สัญญาณรบกวนหรือเกิดจากข้อจำกัดในการตรวจวัดตัวแปรสถานะนั้นๆ หรือในบางกรณีก็ใช้ร่วมกับข้อมูลของตัวแปรสถานะที่ได้รับมาจากเซ็นเซอร์ซึ่งทำให้ข้อมูลของตัวแปรสถานะมีความแม่นยำมากขึ้นกว่าการเลือกใช้ข้อมูลจากเซ็นเซอร์เพียงอย่างเดียว



รูปที่ 2.36 Kalman filter

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.17 การควบคุมความสูง (Altitude Hold)

สามารถวิเคราะห์เป็นสมการการเคลื่อนที่ระบบความสูง ดังนี้

$$\ddot{z} = -g - \frac{k_z}{m} \dot{z} + \frac{\cos\phi \cos\theta}{m} u_z$$

โดยที่ z คือ ระดับความสูงของเครื่องบิน (m)

g คือ ค่าแรงดึงดูดของโลก 9.80665 (Gravity) (m/s²)

m คือ ค่ามวลของโดรน (kg)

u_z คือ ค่าสัญญาณควบคุม (N)

กำหนดสมการสถานะ

$$z_1 = z(t) \text{ และ } z_2 = \dot{z}(t) \text{ และ } z_3 = \ddot{z}(t) = \ddot{z} = -g - \frac{k_z}{m} \dot{z} + \frac{\cos\phi \cos\theta}{m} u_z$$

$$\ddot{z} = -\frac{k_z}{m} \dot{z} + \frac{1}{m} \frac{d}{dt} (\cos\phi \cos\theta \times u_z)$$

จะได้สมการสถานะ state-space equations โดยที่ $\cos\phi \cos\theta \approx 1$

$$\dot{z}_1 = z_2$$

$$\dot{z}_2 = z_3 = -g - \frac{k_z}{m} z_2 + \frac{1}{m} u_z$$

$$\dot{z}_3 = -\frac{k_z}{m} z_3 + \frac{1}{m} \dot{u}_z$$

เพื่อนำสมการไปเขียนโปรแกรม ทำตัวสังเกตสถานะ Kalman Filter ใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ ของระบบในการประมาณสถานะของระบบล่วงหน้า จะสังเกตได้ว่าผลที่ได้จาก Kalman Filter มีค่า ใกล้เคียงกับค่า เซนเซอร์ที่วัดสถานะมากกว่า ตัวสังเกตกาลมาน Kalman Filter คือสูตรทางคณิตศาสตร์ใช้สำหรับหาค่าประมาณที่ดีที่สุด ของสถานะของระบบโดยนำข้อมูลเกี่ยวกับความไม่แน่นอน เช่น ความไม่แน่นอนของกลศาสตร์ของ ระบบ (System Dynamics), ความคลาดเคลื่อนของเซนเซอร์ (Measurement Noise) มา ประกอบการพิจารณาบนพื้นฐานของความน่าจะเป็นในลักษณะที่เกื้อกูลกันอยู่ที่ดีที่สุด การใช้ Kalman Filter จากสมการระบบ

$$\dot{x} = Ax + Bu + Gw$$

$$y = Cx + Du + Hw + v$$

โดยที่ x คือสมการสถานะของระบบ , y คือเอาต์พุตของระบบ, w และ v คือ Zero-Mean Gaussian White Noise ซึ่งหมายความว่า w และ v เป็นตัวแปรสุ่มแบบ Gaussian มีค่าเฉลี่ยเป็น ศูนย์

$$w_k \approx N(0, Q_k)$$

$$v_k \approx N(0, R_k)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

สมการของตัวกรองคาลมาน จะแสดงและแบ่งการทำงานได้เป็นส่วนต่างๆ ดังนี้โดยเริ่มจาก สมการ ระบบ ซึ่งจะนำไปสู่สมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ตามทฤษฎีของตัวกรองคาลมานซึ่งสามารถแสดงได้ดังนี้คือ

1. การปรับปรุงเวลา (Time Update) ประกอบไปด้วยสมการ

Project the state ahead

$$\hat{x}_{k+1} = A_k \hat{x}_k + B_k u_k$$

Project the error covariance ahead

$$P_{k+1}^- = A_k P_k A_k^T + Q_k$$

2. การปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ประกอบไปด้วยสมการ โดยที่ K_k คือ Kalman gain สามารถคำนวณได้จากสมการ Algebraic Riccati equation ดังต่อไปนี้

Compute the Kalman gain

$$K_k = P_k^- H_k^T (H_k P_k^- H_k^T + R_k)^{-1}$$

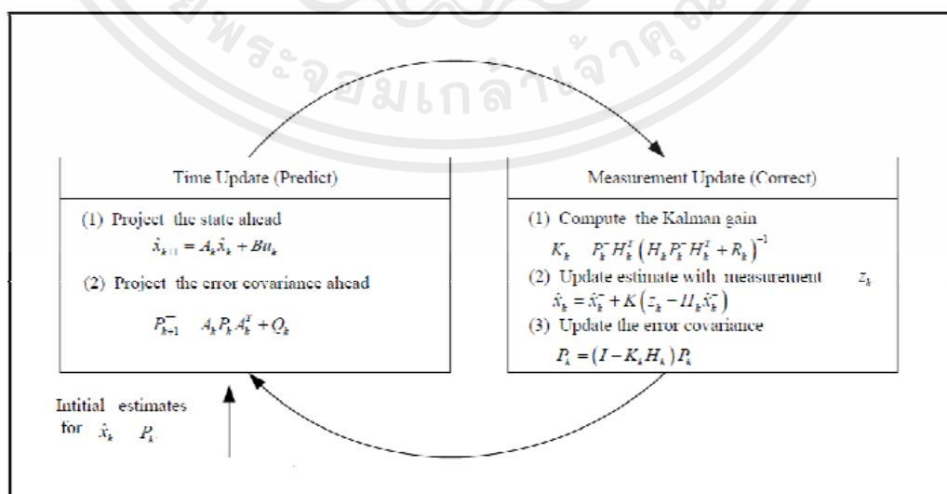
Update estimate with measurement Z_k

$$\hat{x}_k = \hat{x}_k^- + K (z_k - H_k \hat{x}_k^-)$$

Update the error covariance

$$P_k = (I - K_k H_k) P_k^-$$

วงจรการทำงานของสมการตัวกรองคาลมาน คือสมการการปรับปรุงเวลา (Time Update) และ สมการการปรับปรุงการวัด (Measurement Update) ดังในภาพที่ 2.37



รูปที่ 2.37 แสดงวงจรการทำงานของตัวกรองคาลมาน

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยสมการตัวสังเกตสถานะ state-space equations

$$\begin{aligned}\dot{\hat{z}}_1 &= \hat{z}_2 \\ \dot{\hat{z}}_2 &= \hat{z}_3 \\ \dot{\hat{z}}_3 &= -\frac{k_z}{m}\hat{z}_3 + \frac{1}{m}u_z\end{aligned}$$

ปรับปรุงการวัดค่าเซนเซอร์ความสูงบาโร และเซนเซอร์ความสูงอัลตราโซนิก ด้วย Kalman gain

$$\begin{aligned}\hat{z}_{1-} &= \hat{z}_1 + (\text{Altitude_Baro_ult} - \hat{z}_1)k_{11} \\ \hat{z}_{2-} &= \hat{z}_2 + (\text{Vz_Baro_ult} - \hat{z}_2)k_{22} \\ \hat{z}_{3-} &= \hat{z}_3 + (\text{accrZ_Earth} - \hat{z}_3)k_{33}\end{aligned}$$

โดยกฎการควบคุมพีไอดี

โดยคำนวณค่าผลต่าง

$$\begin{aligned}e(t) &= \text{Altitude_Hold} - z1_hat \\ \dot{e}(t) &= \text{Velocity_THR} - z2_hat\end{aligned}$$

สัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ:

$$u_P = k_P \times e(t)$$

ปริพันธ์เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$u_I = k_i \times \int_0^t e(t)$$

อนุพันธ์เทอมอนุพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$u_D = k_d \times \frac{d}{dt}e(t) = k_d \times \dot{e}(t)$$

จะได้กฎการควบคุมพีไอดีคือ

$$u_{\text{Altitude}} = u_P + u_I + u_D$$

โดยสั่งงานที่ ESC ค่า 1000-1950 us

การเขียนโปรแกรมควบคุมตำแหน่งเบื้องต้นด้วยระบบ GPS

จากสมการระบบ สามารถวิเคราะห์เป็นสมการการเคลื่อนที่ดังนี้

$$m\ddot{x} = u_x - k_{cx}\dot{x}$$

$$m\ddot{y} = u_y - k_{cy}\dot{y}$$

โดยที่ u คือแรงยกจากมอเตอร์หน่วยนิวตัน (N)

$$u_x = u_z (\cos\phi \sin\theta \cos\psi + \sin\phi \sin\psi)$$

$$u_y = u_z (\cos\phi \sin\theta \cos\psi - \sin\phi \cos\psi)$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

กำหนดสมการสถานะ

$$x_1 = x(t) \text{ และ } x_2 = \dot{x}(t) \text{ และ } x_3 = \ddot{x}(t) = \ddot{x} = -\frac{k_{cX}}{m}\dot{x} + \frac{1}{m}u_X$$

$$\ddot{x} = -\frac{k_{cX}}{m}x_3 + \frac{1}{m}\frac{d}{dt}(u_X) = -\frac{k_{cX}}{m}x_3 + \frac{1}{m}\dot{u}_X$$

จะได้สมการสถานะ state-space equations โดยที่

$$\dot{x}_1 = x_2$$

$$\dot{x}_2 = x_3 = -\frac{k_{cX}}{m}x_2 + \frac{1}{m}u_X$$

$$\dot{x}_3 = -\frac{k_{cX}}{m}x_3 + \frac{1}{m}\dot{u}_X$$

สมการแกน Y

$$\dot{y}_1 = y_2$$

$$\dot{y}_2 = y_3 = -\frac{k_{cY}}{m}y_2 + \frac{1}{m}u_Y$$

$$\dot{y}_3 = -\frac{k_{cY}}{m}y_3 + \frac{1}{m}\dot{u}_Y$$

เพื่อนำสมการไปเขียนโปรแกรม ทำตัวสังเกตสถานะ Kalman Filter

โดยสมการตัวสังเกตสถานะ state-space equations

$$\dot{\hat{x}}_1 = \hat{x}_2$$

$$\dot{\hat{x}}_2 = \hat{x}_3$$

$$\dot{\hat{x}}_3 = -\frac{k_{cX}}{m}\hat{x}_3 + \frac{1}{m}\dot{u}_X$$

ปรับปรุงการวัดค่าเซนเซอร์ด้วย Kalman gain

$$\hat{x}_{1_} = \hat{x}_1 + (\text{GPS_xlat} * \text{cm_per_deg_lat} - \hat{x}_1)k_{21}$$

$$\hat{x}_{2_} = \hat{x}_2 + (\text{GPS_vxnorth} - \hat{x}_2)k_{22}$$

$$\hat{x}_{3_} = \hat{x}_3 + (\text{accrX_Earth} * 100 - \hat{x}_3)k_{23}$$

จากนั้นไปควบคุมตำแหน่งด้วยพีไอดี (PID) ในโค้ด Control_PositionHold()

โดยคำนวณค่าผลต่างระยะทาง

$$e_X(t) = \text{target_LAT} - x1_hat$$

$$e_Y(t) = \text{target_LON} - y1_hat$$

คำนวณค่า setpoint ความเร็ว

$$\text{target_speedLAT} = e_X \times Kp_speed$$

$$\text{target_speedLON} = e_Y \times Kp_speed$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

คำนวณค่าผลต่างความเร็ว

$$\dot{e}_X(t) = \text{target_speedLAT} - x2_hat$$

$$\dot{e}_Y(t) = \text{target_speedLON} - y2_hat$$

สัดส่วน เทอมของสัดส่วนจะเป็นไปตามสมการ:

$$u_{XP} = k_{Kp_gps} \times e_X(t)$$

$$u_{YP} = k_{Kp_gps} \times e_Y(t)$$

ปริพันธ์เทอมปริพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$u_{XI} = k_{Ki_gps} \times \int_0^t \dot{e}_X(t) dt$$

$$u_{YI} = k_{Ki_gps} \times \int_0^t \dot{e}_Y(t) dt$$

อนุพันธ์เทอมอนุพันธ์จะเป็นไปตามสมการ:

$$u_{XD} = k_{Kd_gps} \times \frac{d}{dt} e_X(t) = k_{Kd_gps} \times \dot{e}_X(t)$$

$$u_{YD} = k_{Kd_gps} \times \frac{d}{dt} e_Y(t) = k_{Kd_gps} \times \dot{e}_Y(t)$$

จะได้กฎการควบคุมพีไอดี คือ

$$\text{Control_XEf} = u_{XP} + u_{XI} + u_{XD}$$

$$\text{Control_YEf} = u_{YP} + u_{YI} + u_{YD}$$

จากนั้นนำกฎการควบคุมไปคำนวณค่ามุม กับเวกเตอร์แกน z คือค่าคันเร่ง THR โดยส่งงานที่ ESC ค่า 1000-1950 us

$$\text{uroll_design} = \sin^{-1} \left[\frac{(\text{Control_YEf} * m_quad)}{u\text{Altitude}} \right]$$

$$\text{upitch_design} = \sin^{-1} \left[\frac{(\text{Control_XEf} * m_quad)}{u\text{Altitude}} \right]$$

ซึ่งค่ามุมที่ได้คือค่ามุมแกนโลก Earth Frame จะต้องย้ายแกนไปควบคุมที่ตัวเครื่องบิน คือ Body Frame โดยการไปคูณ Rotation matrix ตามสมการ

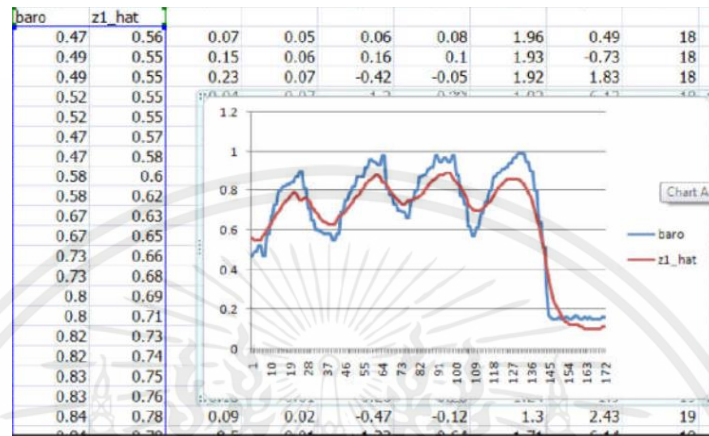
$$\begin{bmatrix} \text{roll_design} \\ \text{pitch_design} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \cos\theta \cos\psi & \sin\phi \sin\theta \cos\psi - \cos\phi \sin\psi \\ \cos\theta \sin\psi & \sin\phi \sin\theta \sin\psi + \cos\phi \cos\psi \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \text{uroll_design} \\ \text{upitch_design} \end{bmatrix}$$

โดยนำค่ามุม Roll_design กับ Pitch_design ไปใส่สมการค่าผลต่างในการควบคุม มุม Roll กับ Pitch ในสมการ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

2.2.18 การปรับจูนเกน Gain

1. การปรับจูนของสมการ Observer_kalman_filter จะต้องทำการปรับค่าเซนเซอร์บาร์ ตัวแปร Altitude_Baro_ult มาเปรียบเทียบกับกราฟกับ สมการ kalman คือตัวแปร z1_hat ดังแสดงในกราฟ โดยสังเกตขนาดสัญญาณรบกวน และการสั่น ของค่าเซนเซอร์



รูปที่ 2.38 กราฟขนาดสัญญาณรบกวน และการสั่น ของค่าเซนเซอร์

```

//u = accZ_Earth;//accZ_Earth applyDeadband = 0.1 m/s^2 //u = a*z2_hat)/a = Accp
z3_acc = z3_hat + (u_xdot - c_quad*z3_hat)*G_Dt;//1.52, 1.03, z3_hat = Acceleration, m/s^2
z2_hat2 = z2_hat + z3_acc*G_Dt;//z2_hat = velocity // m/s
z1_hat2 = z1_hat + z2_hat2*G_Dt;//z1_hat = Altitude // m
//z1_hat = constrain(z1_hat, 0, 100);//0 - 100 m
//Update the posterior() state estimate //Update estimate with measurement zk
float ee1 = (Altitude_Baro_ult - z1_hat2);
float ee2 = (Vr_Baro_ult - z2_hat2);
float ee3 = (accZ_Earth - z3_acc);
//k1 = 0.0081102, k2 = 0.00151202, k3 = 0.088824
z3_hat = z3_acc + 0.088824*ee3;//0.019824, 0.12824, 0.12824, 0.12824
//k3 = 0.00124, k2 = 0.00151202, k1 = 0.0081102
z2_hat = z2_hat2 + 0.00151202*ee2;//0.00151202, 0.0075202, 0.006052
//k2 = 0.0081102, k1 = 0.00151202, k3 = 0.088824
z1_hat = z1_hat2 + 0.0081102*ee1;
//k1 = 0.0081102, k2 = 0.00151202, k3 = 0.088824

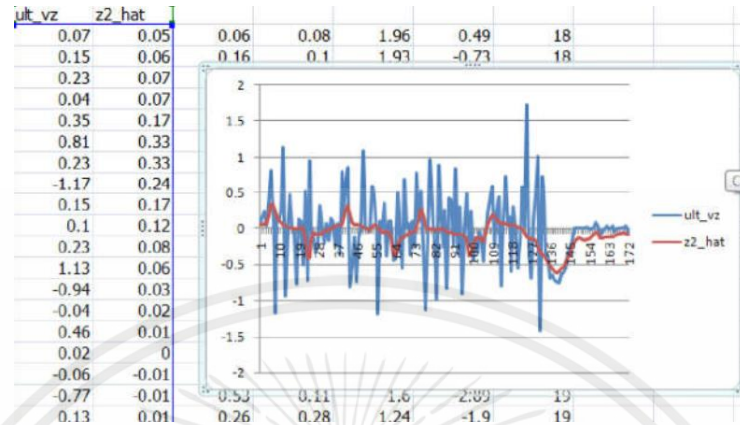
```

รูปที่ 2.39 . การปรับจูนของสมการ kalman filter

โดยทำการแก้ค่าเกนสมการ หน้า Kalman_ObserverTin.h ตามรูป จะมีสมการสถานะ z1_hat คือค่าประมาณความสูง หน่วยเป็นเมตร และตัวแปร z2_hat คือค่าประมาณความเร็ว หน่วย เมตรต่อวินาทีและค่า z3_hat คือค่าประมาณความเร่ง โดยค่าที่ใช้ได้อยู่ที่ค่า k1 = 0.0081102 และ ค่า k2 = 0.00151202 และค่า k3 = 0.088824 ถ้าค่าเกนมากเกินไป ค่า z1_hat ก็จะเป็นค่าเดียวกับค่าเซนเซอร์บาร์ แต่ค่าเกนน้อยเกินไปจะทำให้ค่า z1_hat ซ้ำกว่าค่าเซนเซอร์บาร์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้拿去ใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยทำการเก็บข้อมูลความเร็วเซนเซอร์จากการตีค่าอัลตราโซนิก คือตัวแปร vz_sona ปรี้นเทียบกับค่าประมาณความเร็วตัวแปร z2_hat จะเห็นได้จากกราฟ จะมีสัญญาณรบกวนจากเซนเซอร์ เยอะมากเมื่อผ่านสมการ z2_hat ค่าเกณฑ์ $k2 = 0.00151202$ จะเป็นตัวทำให้ค่าเร็วหรือช้ากับขนาด สัญญาณรบกวนดังแสดงในกราฟ



รูปที่ 2.40 กราฟสัญญาณรบกวน

2. การจูนเกณฑ์สมการ Low pass filter สมการ Low pass filter อ้างอิงที่มาจาก จะทำการตัดสัญญาณรบกวนค่าความเร่งจะมีค่าความถี่สูง ค่าตัวแปรความเร่งแกน x,y,z ทั้ง 3 แกน คือค่าตัวแปร AccX, AccY, AccZ โดยทำการปรี้นเก็บค่าข้อมูลเทียบกับค่าสมการ AccXf, AccYf, AccZf ตามภาพ

```

//Serial.print(b_counter);Serial.print("\t");
//Serial.print(GPS_hz);Serial.print("\t");

//Serial.print(DCM00);Serial.print("\t");
//Serial.print(DCM01);Serial.print("\t");
//Serial.print(DCM02);Serial.print("\t");

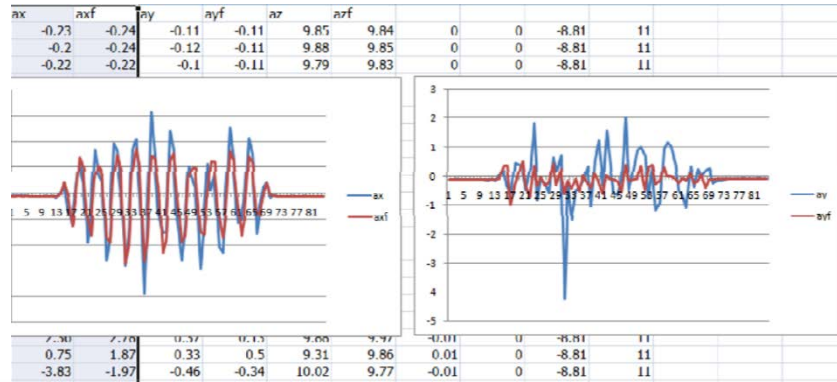
Serial.print(AccX);Serial.print("\t");
Serial.print(AccXF);Serial.print("\t");
//Serial.print(AccXF2);Serial.print("\t");
Serial.print(AccY);Serial.print("\t");
Serial.print(AccYF);Serial.print("\t");
Serial.print(AccZ);Serial.print("\t");
Serial.print(AccZF);Serial.print("\t");
//Serial.print(AccZF2,3);Serial.print("\t");
//Serial.print(AccZF3,3);Serial.print("\t");
//Serial.print(accX_Earth);Serial.print("\t");
//Serial.print(accY_Earth);Serial.print("\t");
//Serial.print(accZ_Earth);Serial.print("\t");

```

รูปที่ 2.41 การจูนเกณฑ์สมการ Low pass filter

โดยทำการนำค่าที่ได้ไปเขียนกราฟ เพื่อดูขนาดสัญญาณรบกวนที่เกิดขึ้น โดยใช้มือจับตัวเครื่องบินเคลื่อนที่ให้เกิดการสั่นสะเทือน ดังกราฟ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 2.42 กราฟขนาดสัญญาณรบกวน หลัง Low pass filter

จากนั้นทำการปรับเกนสมการ Low pass filter ค่าเกน 0.12101 ถ้าหากค่ามากจะส่งผลให้ค่าความเร่งมีสัญญาณรบกวนเยอะ แต่ถ้าค่าน้อยไปจะทำให้ค่าความเร่ง น้อยกว่าค่าเป็นจริงมาก และส่งผลในเรื่องเวลาการหน่วย Time constant โดยสามารถคำนวณจากสมการ $f_c = \text{cutoff frequency}$

$$f_c = \frac{1}{2\pi\tau} = \frac{1}{2\pi RC} \quad \text{ค่าเกน คือ } \alpha = \frac{dt}{RC + dt}$$

```

GyroYf = (GyroY + GyroY2)/2.0;
GyroZf = (GyroZ + GyroZ2)/2.0;
//AccXf = (AccX + AccX2)/2.0;
//AccYf = (AccY + AccY2)/2.0;
//AccZf = (AccZ + AccZ2)/2.0;
//AccXc = AccX;AccYc = AccY;AccZc = AccZ;//acc D1d1
GyroX2 = GyroX;GyroY2 = GyroY;GyroZ2 = GyroZ;//gyro D1d1
//Low pass filter
AccXf = AccXf + (AccX - AccXf)*0.12101;//0.240121 0.121 //low pass filter ,smoothing factor alpha = dt / (RC + dt)
AccYf = AccYf + (AccY - AccYf)*0.12101;//0.240121 0.121
AccZf = AccZf + (AccZ - AccZf)*0.12101;//0.240121 0.121
//Observer kalman filter
Observer_kalman_filter();
//PID Control
Control_PIDRate();
    
```

รูปที่ 2.43 ปรับค่าเกน

3. การจูนเกนสมการควบคุมมุม roll, pitch, yaw

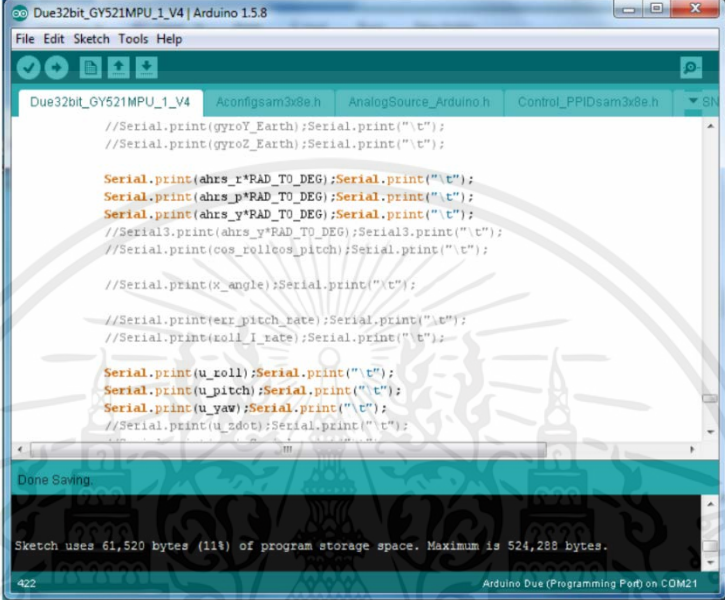
โดยการแทนค่า PID แล้วสังเกตพฤติกรรมของโดรน โดย กำหนดค่า I และ D ให้เป็น 0 แล้วเริ่มเพิ่มค่า P ไปเรื่อย ๆ โดยค่า P ถ้าน้อยเกินไปจะทำให้โดรนส่ายอย่างช้า ๆ แต่ถ้า P มากเกินไปจะทำให้โดรน สั่นทั้งลำพอได้ค่า P ที่ต้องการแล้ว ก็ไปเริ่มเพิ่มค่าของ I ถ้าค่า I มีค่าน้อยเกินไปเวลาบินกลางอากาศก็จะให้โดรนเอียงไปตามลมแต่ถ้าค่า มากเกินไปเวลาโดรนปรับสมดุลให้กลับมาที่เดิมเกิดการเอียงกลับมาตำแหน่งสมดุลมากเกินไปพอได้ค่า I ที่ต้องการ แล้วก็เริ่มเพิ่มค่า D ค่า D จะส่งผลต่อการควบคุมการเลี้ยวของโดรนถ้าค่า D มากเกินไปเวลาเลี้ยวก็อาจทำให้โดรน พลิกได้ถ้าน้อยเกินไปก็อาจทำให้โดรนตอบสนองตอนเลี้ยวช้า

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

$Kp_rateRoll = 1.92$ $Kp_ratePitch = 1.92$ $Kp_rateYaw = 2.75$

$Ki_rateRoll = 0.12$ $Ki_ratePitch = 0.12$ $Ki_rateYaw = 1.25$

$Kd_rateRoll = 0.045$ $Kd_ratePitch = 0.045$ $Kd_rateYaw = 0.065$



```

//Serial.print(gyroY_Earth);Serial.print("\t");
//Serial.print(gyroZ_Earth);Serial.print("\t");

Serial.print(ahrs_r*RAD_TO_DEG);Serial.print("\t");
Serial.print(ahrs_p*RAD_TO_DEG);Serial.print("\t");
Serial.print(ahrs_y*RAD_TO_DEG);Serial.print("\t");
//Serial3.print(ahrs_y*RAD_TO_DEG);Serial3.print("\t");
//Serial.print(cos_roll*cos_pitch);Serial.print("\t");

//Serial.print(x_angle);Serial.print("\t");

//Serial.print(eqr_pitch_rate);Serial.print("\t");
//Serial.print(roll_I_rate);Serial.print("\t");

Serial.print(u_roll);Serial.print("\t");
Serial.print(u_pitch);Serial.print("\t");
Serial.print(u_yaw);Serial.print("\t");
//Serial.print(u_zdot);Serial.print("\t");

```

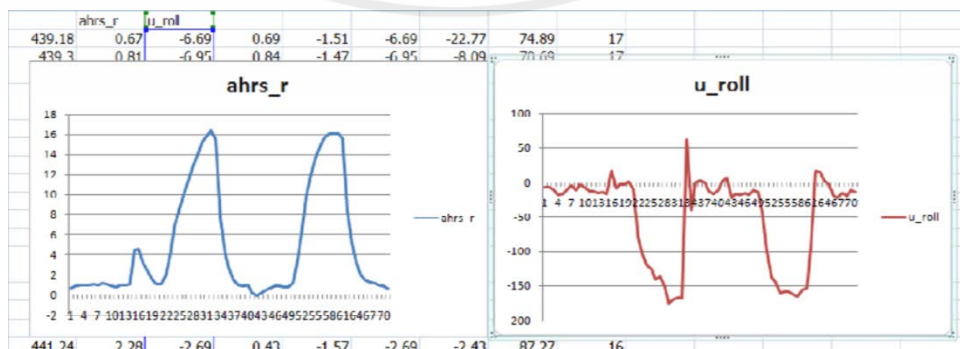
Done Saving.

Sketch uses 61,520 bytes (11%) of program storage space. Maximum is 524,288 bytes.

422 Arduino Due (Programming Port) on COM21

รูปที่ 2.44 การจูนเกนสมการควบคุมมุม roll, pitch, yaw

ทำการรบกวนระบบในมุม Roll ที่ควบคุมเป็นฟังก์ชัน step response จากนั้นเขียนกราฟแสดงในรูป เมื่อรบกวนระบบไปที่มุม 16 องศา กฎการควบคุมพีไอดี ทำการคำนวณผลค่า u_roll ติดลบ 150 ทำให้ไปเร่งมอเตอร์อีกด้านขึ้นเพื่อควบคุมระบบกลับมาที่มุม 0 องศา ถ้าหากเพิ่มค่าเกน k_p มากจะทำให้ระบบกลับสู่ 0 เร็วขึ้น แต่จะส่งผลให้เกิดการสั่น แต่ถ้าเกน k_p น้อยก็จะทำให้ระบบกลับมาที่มุม 0 ช้า ส่วนค่า k_d หากเพิ่มค่ามากกว่า $Kd_rateRoll = 0.045$ ระบบจะหน่วงเข้ามา แต่ถ้าเพิ่มมากไประบบจะสั่นแฉ่งเนื่องจากสัญญาณรบกวนจากการดิฟเฟอเรนเชียล ส่วนค่า k_i จะทำให้ค่าผลต่างเป็นศูนย์ แต่ถ้าเพิ่ม k_i มากไปก็จะเกิดอาการการพุ่งเกินได้ (Overshoot)



รูปที่ 2.45 กราฟจูนเกนควบคุมมุม roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทำลักษณะเดียวกันกับแกน Pitch กับแกน Yaw



รูปที่ 2.46 กราฟแกนสมการควบคุมมุม yaw



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 3

หลักการงานและออกแบบ

3.1 อุปกรณ์ที่ใช้

3.1.1 Micro controller Arduino Due-32 bit

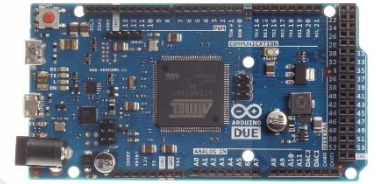
Microcontroller AT91SAM3X8E

Operating Voltage 3.3V

Flash Memory 512 KB

SRAM 96 KB (two banks: 64KB and 32KB)

Clock Speed 84 MHz



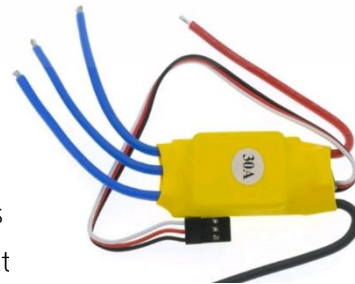
3.1.2 มอเตอร์ A2212 brushless 1000 kv

- Mode: Wester A2212
- KV: 1000
- Max Efficiency: 80%
- Max Efficiency Current: 4-10A (>75%)
- Current Capacity: 12A/60s
- No Load Current @ 10V: 0.5A
- No. Of Cells: 2-3 Li-Poly
- Motor Dimensions: Φ 27.5 x 30mm
- Shaft Diameter: Φ 3.17mm
- Weight: 47g



3.1.3 Electronic Speed Controller

- MODEL: STANDARD 30A BLDC ESC ELECTRONIC SPEED CONTROLLER
- Color: Yellow or Red
- CURRENT: 30A
- BEC: 3A
- Li-Poly: 2-3
- Ni-Mh/Ni-CD: 4-10 Ni-Mh
- CONSTANT CURRENT: 30A Max 40A<10s
- Li-Poly 2-3 CELLS; Ni-MH 4-10 CELLS Aut
- Break On/Off
- Auto Low BATTERY Slow down at 3.0V/cell Lipo, cut-off at 2.9V/cell lipo
- APPLICATION: Multitrotors, Rc Airplanes, etc.



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

- Module Size:
- Length: 45mm
- Width: 24mm
- Height: 9mm
- Weight: 23gm

3.1.4 โมดูล GY-521(MPU6050)

Use the chip: MPU-6050

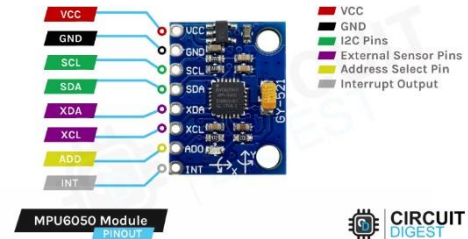
Power supply: 3V-5v.

Communication modes: standard IIC communication protocol.

Chip built-in 16 bit AD converter, 16 bits of data output

Gyroscope range: + 250 500 1000 2000 ° / s

Acceleration range: $\pm 2 \pm 4 \pm 8 \pm 16$ g



3.1.5 MS5611 GY-63 SPI Communication

Name: MS5611 module (atmospheric pressure module)

Built-in 24bit AD converter chip

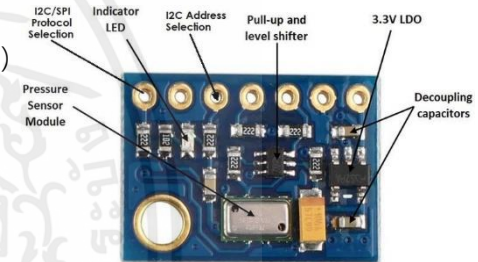
High quality Immersion Gold PCB

Operating range: 10 to 1200 mbar

Power supply: 3V-5V (internal low dropout regulator)

Communication: Standard IIC / SPI communications protocol

altitude resolution of 10 cm



3.1.6 Remote Controller and Receiver

FS-i6X Specifications:

Item: FS-i6X RC Transmitter

Channel: 6-10 (Default 6)

Model Type: Fixed-Wing/Glider/Helicopter

RF Range: 2.408-2.475GHz

RF Power: < 20dBm

RF Channel: 135

Bandwidth: 500KHz

2.4GHz System: AFHDS 2A / AFDHS

Modulation Type: GFSK

Stick Resolution 4096

Low Voltage Warning: < 4.2V

DSC port: PS/2 Port PPM



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

Chargeable: No

Antenna Length: 26mm (Dual Antenna)

Weight: 392g

Power: 6V DC 1.5AA*4

Display: LCD 128x64 Lattice, VA 73x39mm, LCD with white backlight

Size: 174x89x190mm

Color: Black

Certificate: CE0678, FCC ID: N4ZFLYSKYI6X

3.1.7 อัลตราโซนิก HC-SR04

- Use voltage: DC5V
- quiescent current: less than 2mA
- Level output: 5V high
- Level output: bottom 0V
- Induction angle: no more than 15 degrees
- Detection distance: 2cm-450cm
- High precision: up to 0.3cm wiring, VCC, trig , echo (receiver), GND



3.1.8 โมดูล RGB LED Wrobot Full Color RGB LED Module

- Item Type: RGB SMD LED Board Module
- Material: ABS
- Size: Approx. 25 x 15 x 5mm / 0.98 x 0.59 x 0.2in
- Working Voltage: 5V
- LED Drive Mode: Common cathode drive



3.1.9 ใบพัด 10x4.5 นิ้ว

- Propeller 10x4.5 Black (CW/CCW) (4pcs)
- Prop Hole Size: 4.75mm
- Prop-Adaptor Hole Size 3.0mm, 3.17mm, 4.0mm
- Weight of 1 prop: 8g approximately
- 1 x ABS Plastic Prop CW (clockwise)
- 1 x ABS Plastic Prop CCW (counter – clockwise)
- 2 x Prop Adaptor Rings
- NYLON, ABS , Carbon



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.1.10 Drone frame

Color: Red + White +Black

Shaft distance: 17.7in/450mm

Assembled Size(LxWxH): 361mm x 361mm x 191mm

Material: fiberglass center board + plastic arm, tripod

Color: red+white+black

Weight: about 282g



3.1.11 สายชาร์จแบตเตอรี่ lipo

แรงดันไฟฟ้าขาเข้า: AC 100V-240V

กระแสไฟคงเหลือ: 850mA

กระแสไฟชาร์จสูงสุด: 3*800mA

จอแสดงผล: 3x ไฟ LED ส่องสี

ปลั๊กไฟ: US Plug

จอแสดงผล: LED สีเขียว & สีแดง

วัสดุตัวเรือน: ABS

ขนาด: 90 x 55 x 35 มม./3.5 x 2.2 x 1.4 นิ้ว

สีหลัก: ดำ, ตามภาพที่แสดง



3.1.12 Programmable and Documents

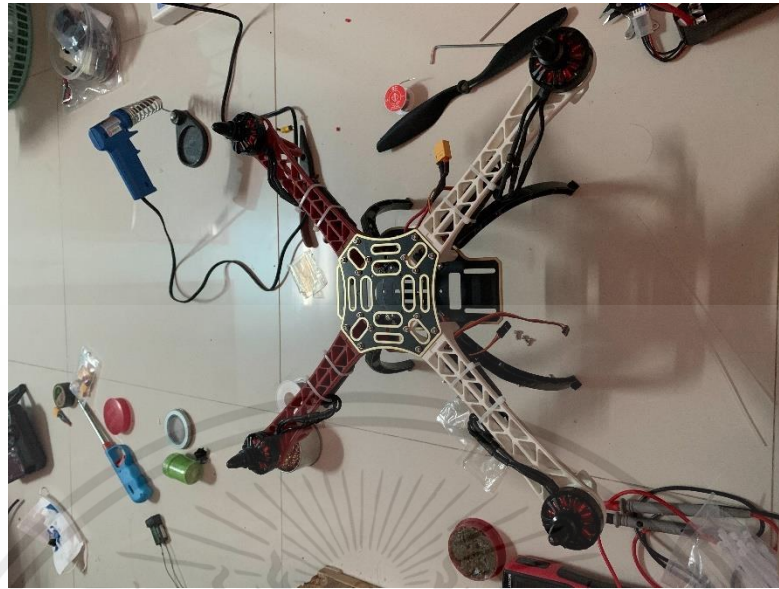
The open-source Arduino Software (IDE)

Arduino ide 1.5.8



เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.3 ทำการประกอบมอเตอร์



รูปที่ 3.3 การประกอบมอเตอร์

MOTOR PERFORMANCE DATA

MODEL	KV (rpm/V)	Voltage (V)	Prop	Load Current (A)	Pull (g)	Power (W)	Efficiency (g/W)	Lipo Cell	Weight (g) Approx
A2212	930	11.1	1060	9.8	660	109	6.1	2-4S	52
	1000		1047	15.6	885	173	5.1		
	1400		9050	19.0	910	210	4.3		
	1800		8060	20.8	805	231	3.5	2-3S	
	2200		6030	21.5	732	239	3.1		
	2450		6X3	25.2	815	280	2.9		

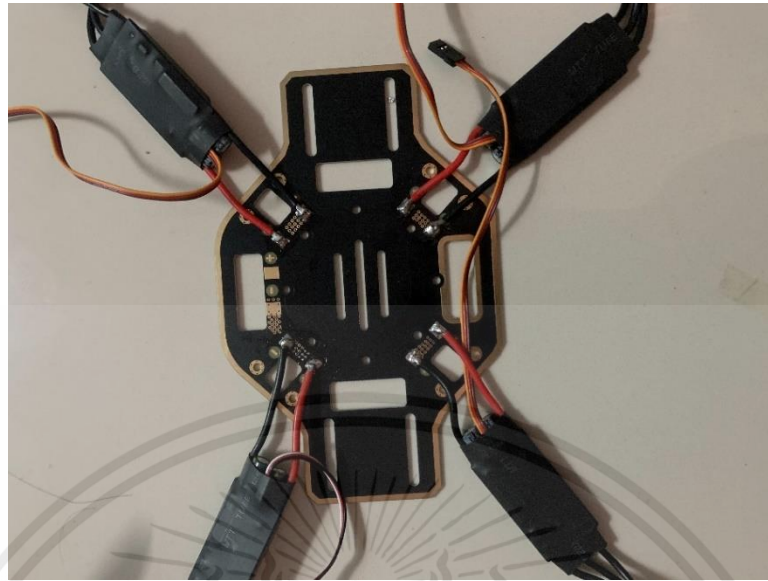
รูปที่ 3.4 ค่าประสิทธิภาพมอเตอร์ A2212

วิธีคำนวณขนาดมอเตอร์ จะมีเรื่องแรงดันไฟฟ้าที่ใช้ 3s จะมีแรงดัน 11.1 โวลต์ โดยมีค่า 1000 kv สามารถคำนวณเป็นความเร็วรอบสูงสุด = 11.1 โวลต์ x 1000 kv = 11100 รอบต่อนาที จากตาราง เป็นผลทดสอบจากโรงงานผู้ผลิตมอเตอร์ ใช้ใบพัด 10 นิ้ว มุมใบ 3.8 เร่งรอบ 100% จะได้แรงยก (thrust) เท่ากับ 885 กรัม ใช้ค่าคำนวณ 50-60 % จะได้ 442.5 กรัม เนื่องจากเครื่องบินใช้ 4 ใบพัด จะได้แรงยกทั้งหมด = 442.5x4 = 1770 กรัม (มวลเฟรม+มวลมอเตอร์ 4 ตัว + มวลแบตเตอรี่+มวลสายไฟและเซนเซอร์ + อื่นๆ) ซึ่งน้ำหนักโดรนพร้อมบินอยู่ที่ 1050 กรัม จึงเหลือมวลที่สามารถแบกยกของเพิ่มได้ = 1540-1050 ประมาณ 490 กรัม

โดยจะกินกระแสไฟฟ้าประมาณ 4A มี 4 ใบพัด = 4x4= 16 แอมแปร์ ซึ่งเราใช้แบตเตอรี่ 2200 mah จะคำนวณเวลาประมาณที่ใช้ในการบิน ได้ (2.2A x 60 นาที) / 16A = 8.2 นาที

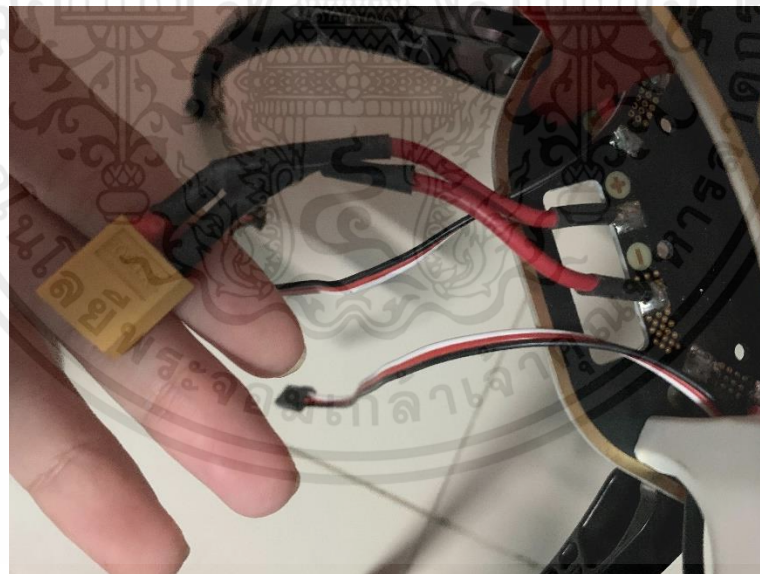
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.4 ทำการประกอบสปีดคอนโทรลเลอร์ (ESC)



รูปที่ 3.5 ประกอบสปีดคอนโทรลเลอร์

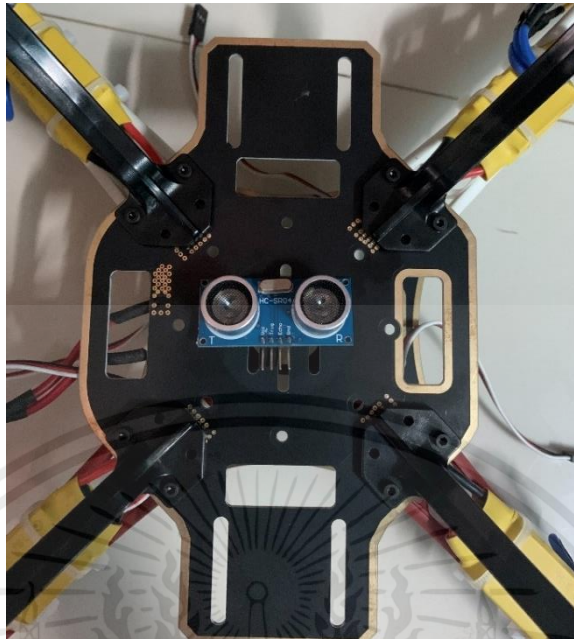
3.2.5 ทำการเดินสายไฟ 11.1 โวลต์ให้กับ ESC



รูปที่ 3.6 สายไฟ 11.1 โวลต์ให้กับ ESC

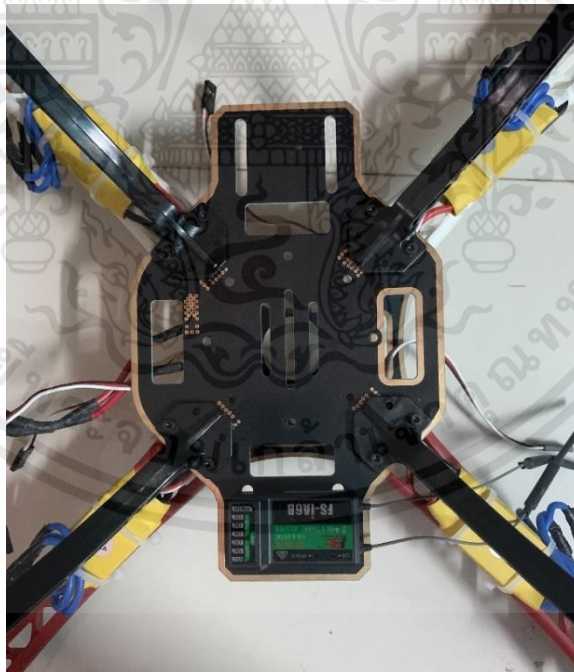
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.6 ติดตั้งเซนเซอร์ อัลตราโซนิก SR-04 ด้านล่าง และหลอดไฟ LED ด้านบน



รูปที่ 3.7 เซนเซอร์ อัลตราโซนิก sr-04

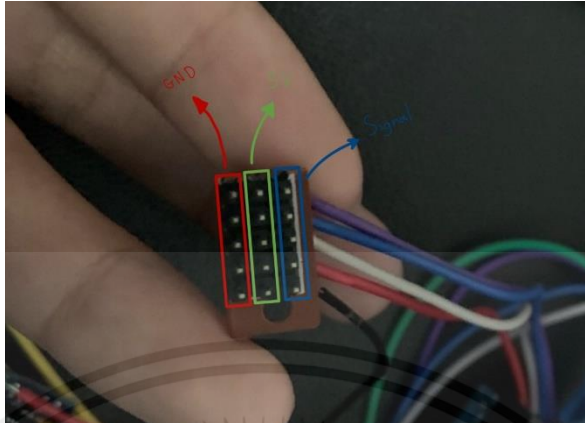
3.2.7 ติดตั้งรีซีปรีโมท FS-IA6B



รูปที่ 3.8 รีซีปรีโมท FS-IA6B

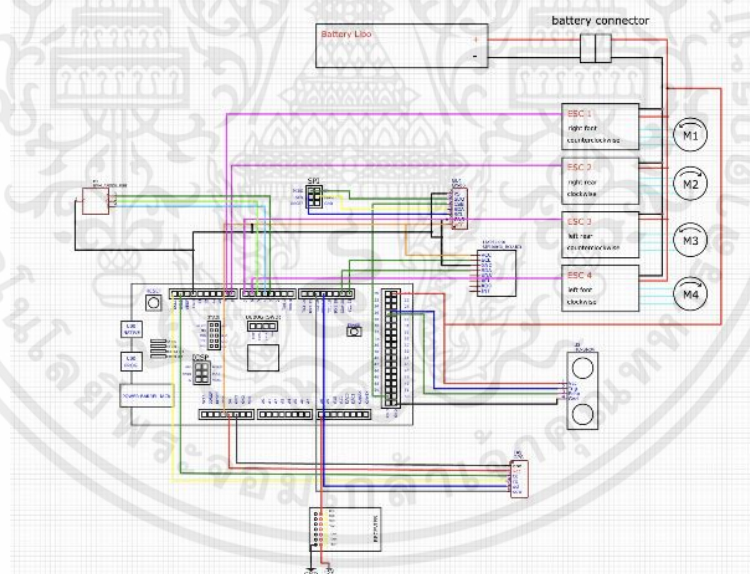
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.8 ตัดแผ่นปริ้น บัดกรีขั้วก้างปลา 8 แถว แถวสีดำ คือกราว แถวสีแดงกลางคือไฟบวก 5 โวลต์ และริมสีฟ้ากับเหลือง คือสัญญาณ pwm ESC กับ สัญญาณรีโมท



รูปที่ 3.9 บัดกรีขั้วก้างปลา 8 แถว

3.2.9 เดินสายไฟเซนเซอร์เข้าบอร์ดไมโครคอนโทรลเลอร์ ตามไดอะแกรมการต่อ



รูปที่ 3.10 ไดอะแกรมการต่อ

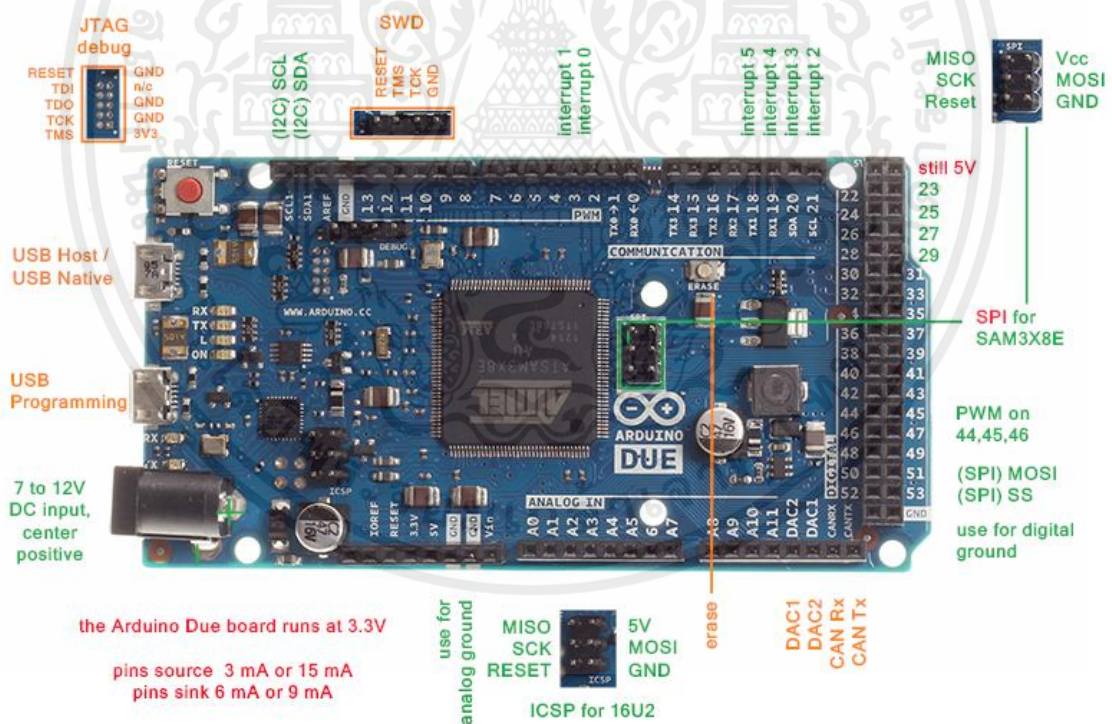
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.10 ติดตั้งรีซีฟริโมท ช่อง PPM ต่อสายไฟเข้าขา A8 ของ Arduino



รูปที่ 3.11 ติดตั้งรีซีฟริโมท

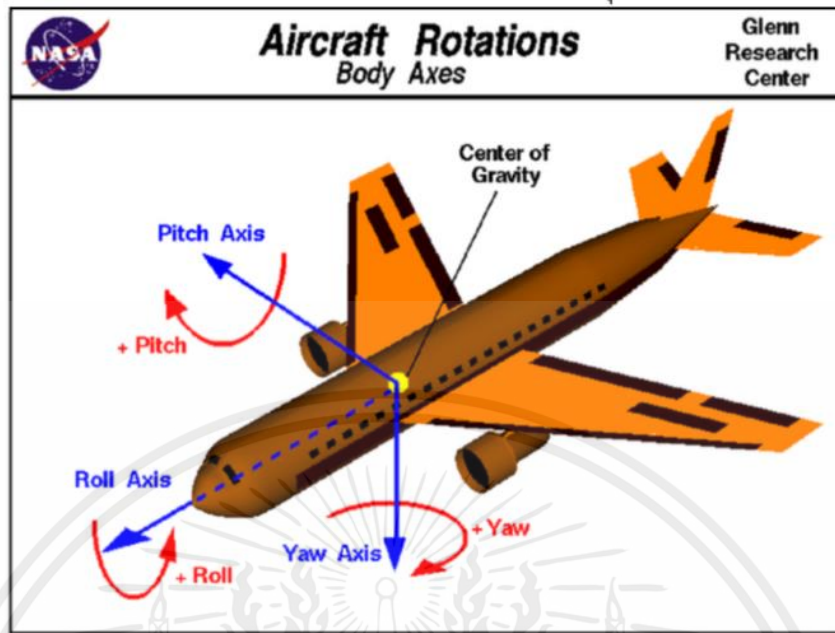
3.2.11 ทำการอัปเดตโปรแกรม Due32bit_GY521MPU_1_V1 โดยการเสียบสาย usb เข้า Programming Port



รูปที่ 3.12 อัปเดตโปรแกรมเข้า Port

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.2.13 ตรวจสอบทิศทางการเซนเซอร์ ค่าความเร่ง และความเร็วเชิงมุม และเข็มทิศ



รูปที่ 3.15 แสดงทิศทางการหมุนแกนเครื่องบิน

ปรี้นค่า accelRaw[XAXIS]; accelRaw[YAXIS]; accelRaw[ZAXIS];
 GyroXf*RAD_TO_DEG; GyroYf*RAD_TO_DEG; GyroZf*RAD_TO_DEG;
 MagXf, MagYf, MagZf

เพื่อตรวจสอบทิศทางการเซนเซอร์ตามภาพเป็นค่า + และ - และหาค่าสูงสุดต่ำสุด เพื่อไปใส่ค่า
 คาริเบทเซนเซอร์ที่ไฟล์ Aconfigsam3x8e.h

3.3 การตั้งค่าน์โมท FS-16X

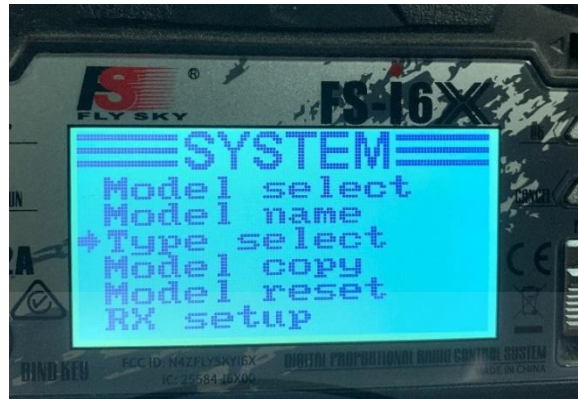
3.3.1 กดปุ่ม ok ค้างเพื่อเข้าโหมด setting จากนั้นกดเข้าไป เมนู system



รูปที่ 3.16 ตั้งค่าน์โมท FS-16X

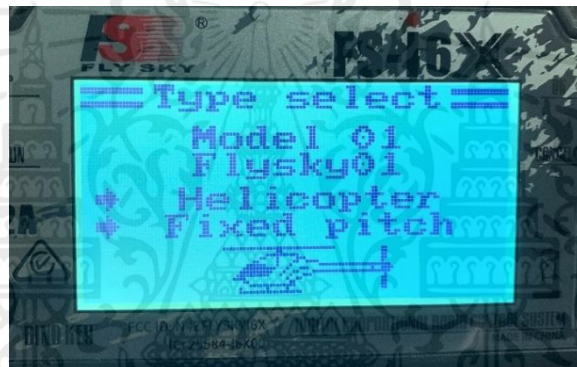
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
 ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.2 เลือก type select



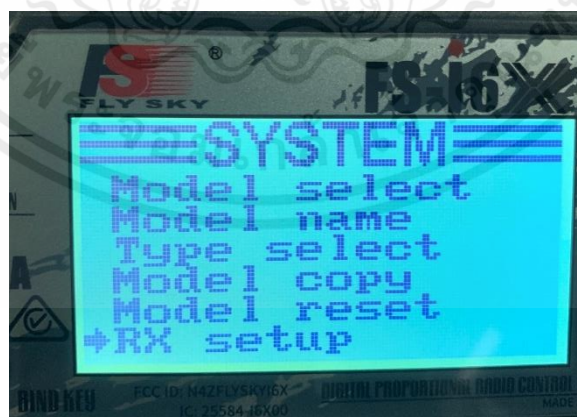
รูปที่ 3.17 เลือก type select

3.3.3 ทำการเลือกโหมด helicopter fixed pitch



รูปที่ 3.18 ทำการเลือกโหมด helicopter fixed pitch

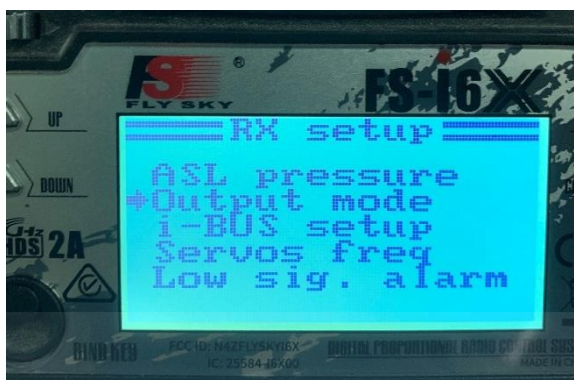
3.3.4 เลือก rx setup



รูปที่ 3.19 เลือก rx setup

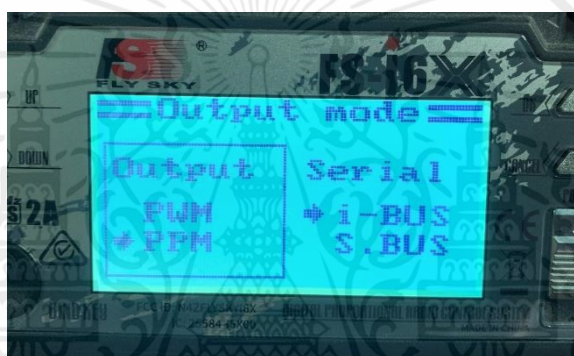
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.5 เลือก output mode



รูปที่ 3.20 เลือก output mode

3.3.6 เลือก output เป็นแบบ PPM กับ serial I BUS



รูปที่ 3.21 เลือก output เป็นแบบ PPM กับ serial I BUS

3.3.7 เลือก function setup



รูปที่ 3.22 function setup

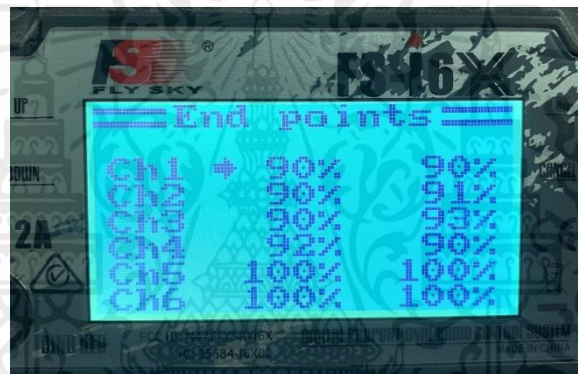
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

3.3.8 เลือก end points



รูปที่ 3.23 เลือก end points

3.3.9 ทำการตั้งค่า end point เป็นค่าตามภาพด้านล่าง



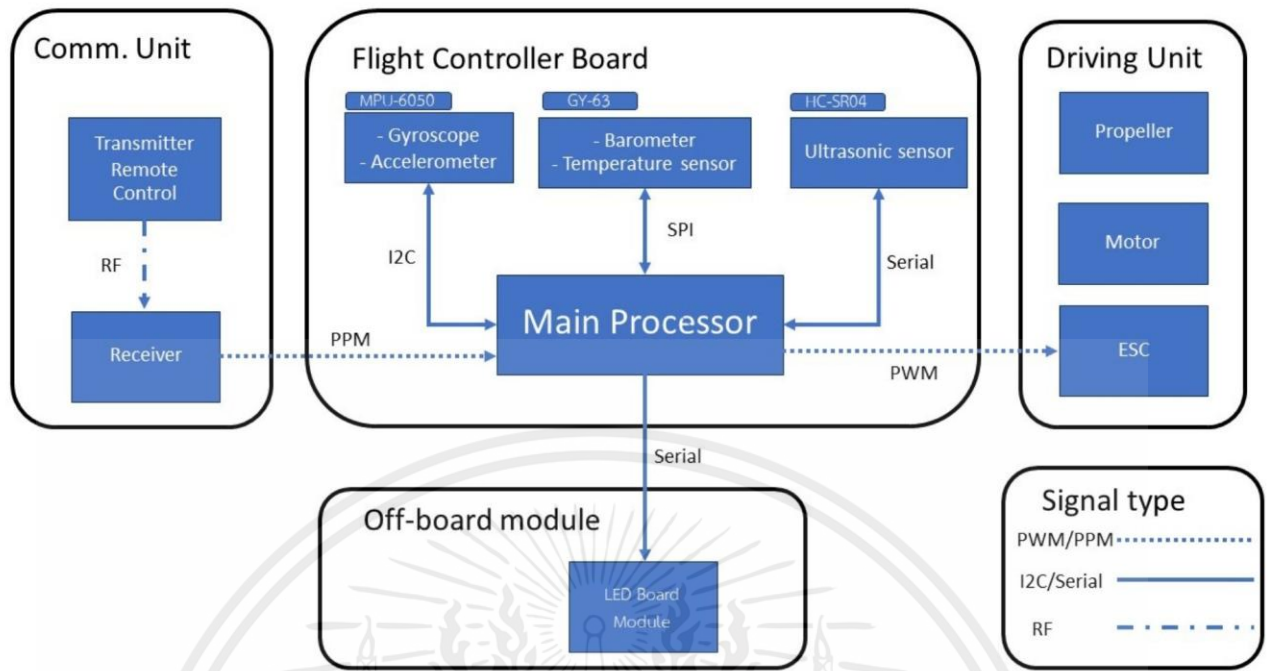
รูปที่ 3.24 การตั้งค่า end point

- การเก็บแบตเตอรี่ หากไม่ได้ใช้งานแบตเตอรี่ประมาณ 3 วัน จะต้องคายแรงดันไฟฟ้าให้เหลือ 3.7 ถึง 3.8 โวลต์ต่อเซลล์ แรงดันไฟฟ้า 50% ของแบตเตอรี่ โดยใช้เครื่องชาร์จเข้าโปรแกรม LiPo STORAGE เลือกกระแส 2 แอมแปร์ คือค่าสูงสุดที่เครื่องชาร์จทำงาน แต่แนะนำให้ใช้น้อยกว่านี้ประมาณ 1 แอมแปร์ เพราะจะทำให้เครื่องชาร์จร้อน และแรงดัน

11.1 โวลต์ตามขนาดแบตเตอรี่

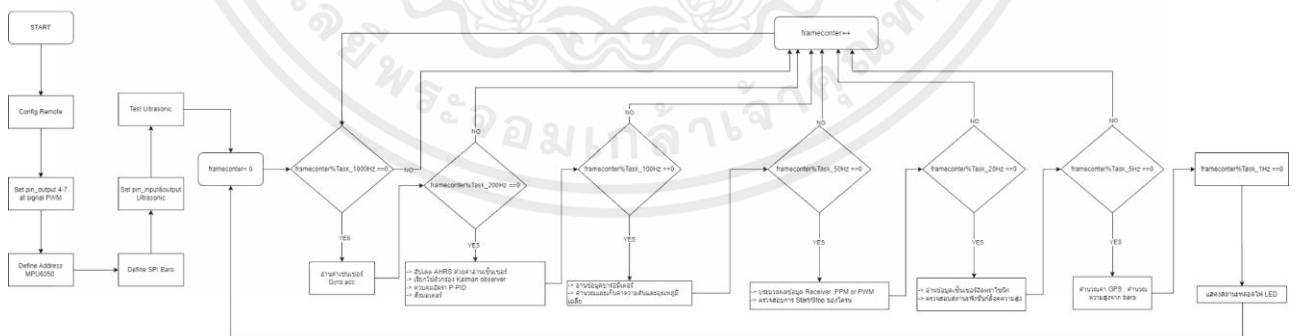
คำแนะนำ ปกติแล้วอายุการใช้งานแบตเตอรี่จะนำกลับมาชาร์จใหม่ได้ประมาณ 100 ครั้ง แบตเตอรี่จะเริ่มเสื่อมสภาพ คือเกิดการบวม และจะไม่สามารถจ่ายกระแสไฟฟ้ามาก ๆ ได้ เช่น ปกติเคยบินจากแบตเตอรี่เต็มจะใช้เวลาประมาณ 8 นาที แบตเตอรี่จะลดลงมาที่แรงดัน 3.6 โวลต์ แต่เมื่อจำนวนครั้งการใช้งานเพิ่มขึ้นมากกว่า 100 ครั้ง เวลาที่ใช้ในการบินจะลดลงประมาณ 3 นาที หรือเวลาน้อยกว่านั้น แบตเตอรี่หมด ตัวเตือนแรงดันแบตเตอรี่มีเสียงแจ้งเตือน แสดงว่าแบตเตอรี่เสื่อมสภาพหมดอายุ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้



รูปที่ 3.25 Block Diagram

Code Diagram



รูปที่ 3.26 Code Diagram

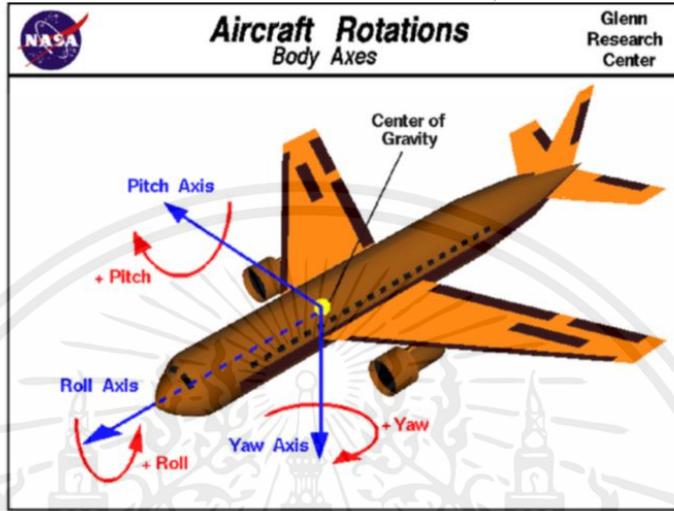
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 4

ผลการทดลอง

4.1 วัดผลการทำงานของ mpu6050

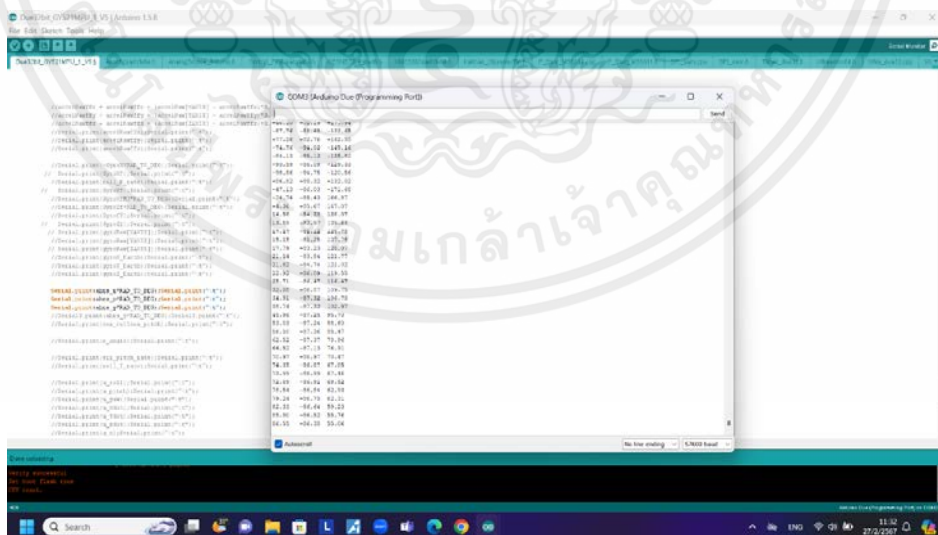
วัดผลการทำงานของ mpu6050 ว่าทำงานปกติหรือไม่โดยการหมุน mpu 6050 ไปตามทิศทางแกน X,Y,Z โดยอ้างอิงจากรูปด้านล่าง



รูปที่ 4.1 Aircraft Rotation Body Axes

ค่าที่อ่านจาก Serial Monitor เรียงได้ดังนี้ 1.Pitch 2.Roll 3.Yaw ซึ่งจะนำค่าไป

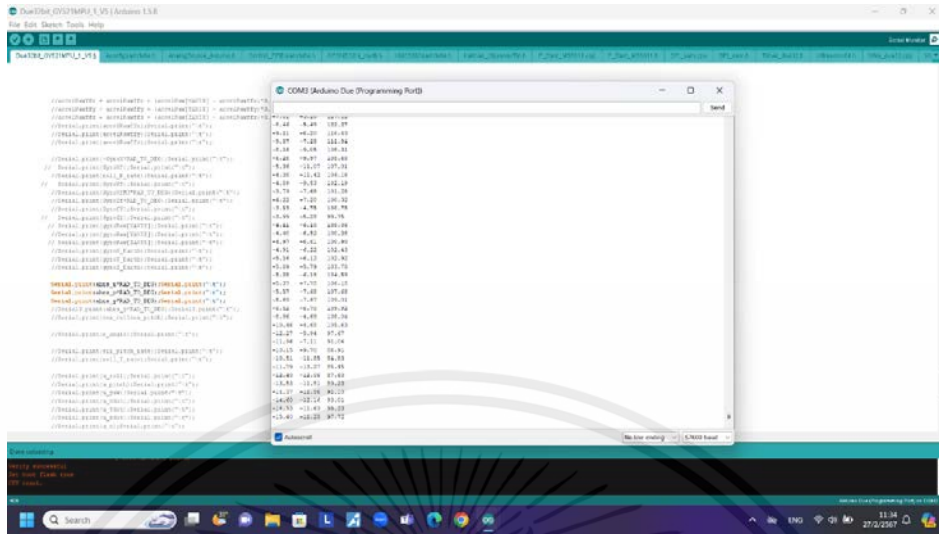
ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง + Roll



รูปที่ 4.2 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง + Roll

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง – Yaw

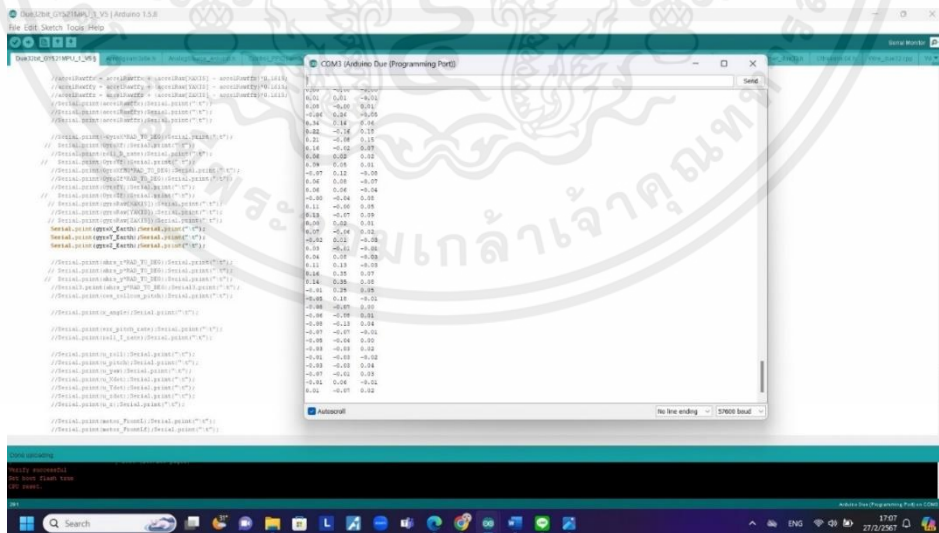


รูปที่ 4.7 ค่าเซ็นเซอร์เมื่อหมุนไปตามทิศทาง – Yaw

ค่าที่ได้จากการทดสอบมีผลเปลี่ยนแปลงไปตามทิศจริงที่ทำการทดสอบทำให้ผลการทดสอบนี้นำไป Calibration

ค่าเซ็นเซอร์ Gyro calibration

ค่าที่ได้จะมี 3 ค่า คือ 1.Pitch 2.Roll 3.Yaw ซึ่งนำค่าจากก่อนหน้านี้ไปปรับแต่งให้ได้ค่าใกล้เคียง 0 ตลอดเวลาซึ่งจะนำไปใช้ในการทรงตัวในอากาศค่าที่ได้มีค่า 0 ± 0.35 ซึ่งถือว่าใกล้เคียงใช้ได้ในการบินทดสอบ



รูปที่ 4.8 ค่าเซ็นเซอร์ Gyro calibration

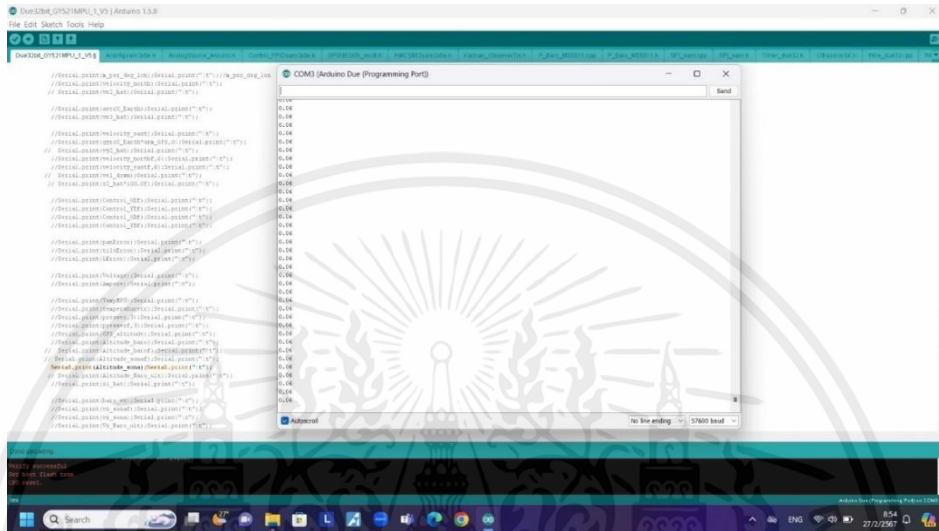
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดลอกเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ทดสอบค่า Ultrasonics

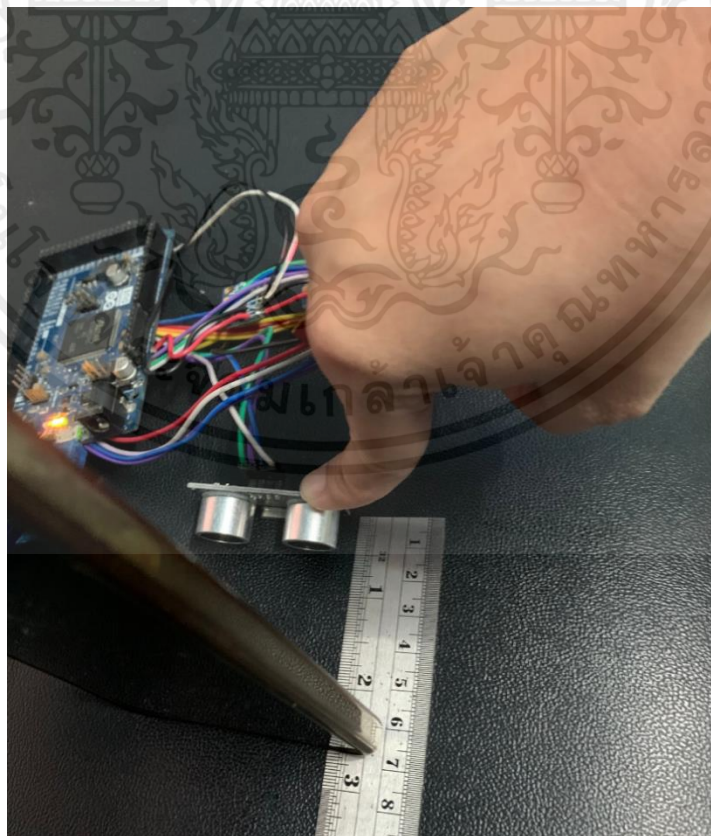
การทดสอบค่า Ultrasonics เพื่อนำค่าที่ได้ไปใช้การบิณคือ การเปลี่ยนโหมดการทำงานโดยวัดระยะจากพื้น โดยค่าที่ได้จากการทดสอบจะมีข้างล่างต่อไปนี้

ค่า Ultrasonics เมื่อวัดถูถูกวางที่ตำแหน่ง 0.06 เมตร

- ค่าที่แสดงผลออกทางค่า Serial Monitor จะค่า 0.06 ซึ่งผลออกมาตรงตามการทดลอง



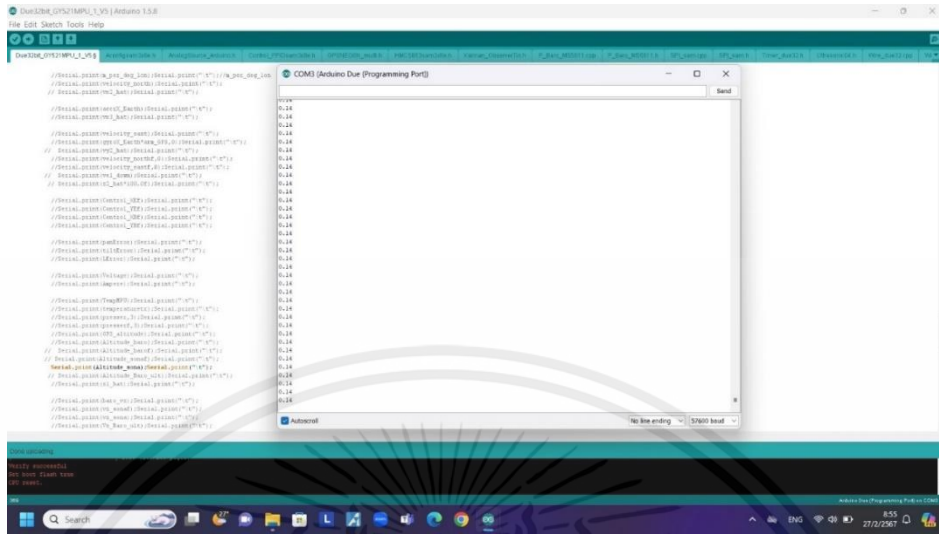
รูปที่ 4.9 ค่า Ultra sonics เมื่อวัดถูถูกวางที่ตำแหน่ง 0.06 เมตร



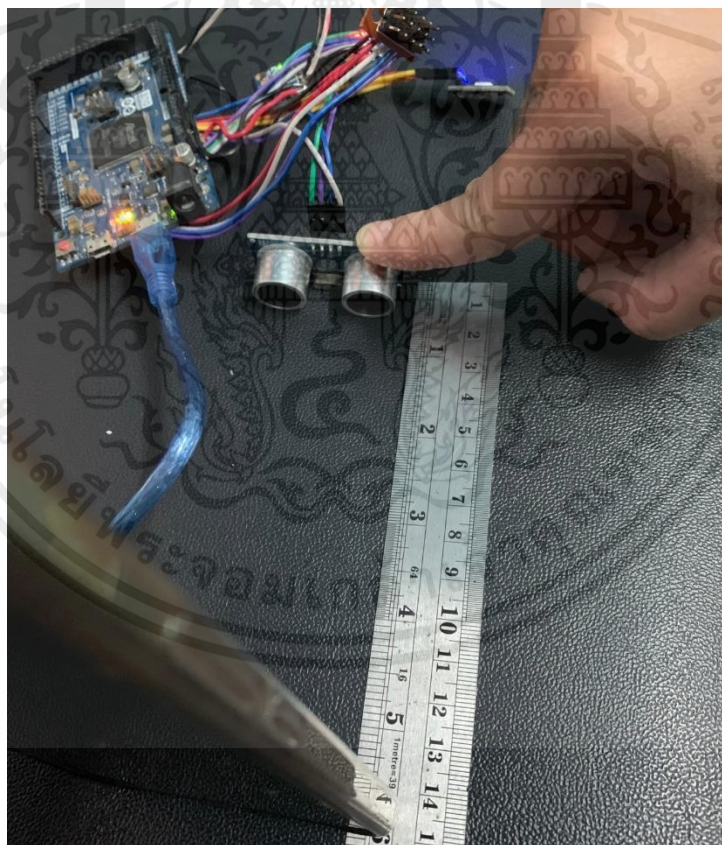
รูปที่ 4.10 วัดถูถูกวางที่ตำแหน่ง 0.06 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า Ultrasonics เมื่อวัดวัตถุวางที่ตำแหน่ง 0.14 เมตร
ค่าที่แสดงผลออกทางค่า Serial Monitor จะค่า 0.14 ซึ่งผลออกมาตรงตามการทดลอง



รูปที่ 4.11 ค่า Ultra sonics เมื่อวัดวัตถุวางที่ตำแหน่ง 0.14 เมตร

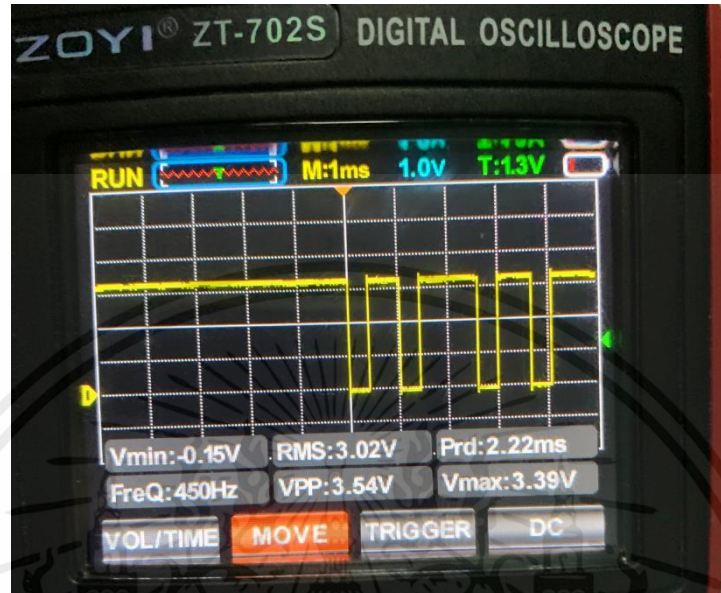


รูปที่ 4.12 วัดวัตถุวางที่ตำแหน่ง 0.14 เมตร

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้คัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

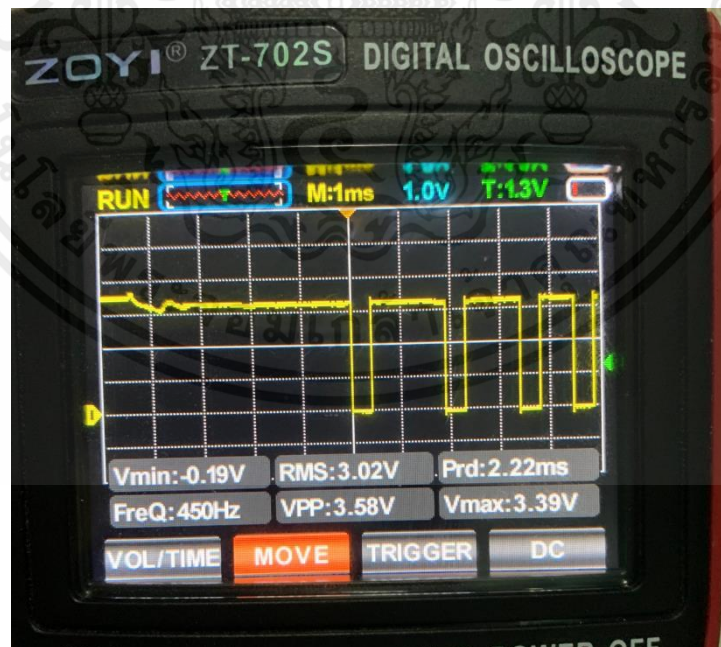
4.2 อ่านค่า PPM จาก receiver โดยอ้างอิงจากรูปด้านล่าง

อ่านค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Min ประมาณ 1000 ms



รูปที่ 4.15 ค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Min ประมาณ 1000 ms

อ่านค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Max ประมาณ 2000 ms



รูปที่ 4.16 ค่าสัญญาณ PPM จาก receiver ค่า Max ประมาณ 2000 ms

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

4.3 อ่านค่า remote โดยอ้างอิงจากรูปด้านล่าง

ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้ายจะมีค่าประมาณ 800 ms



รูปที่ 4.17 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย

$$V_{\max} = 3.65 \text{ V}$$

ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้ายจะมีค่าประมาณ 900 ms



รูปที่ 4.18 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหน้าตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย

$$V_{\max} = 3.56 \text{ V}$$

ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้ายจะมีค่าประมาณ 900 ms



รูปที่ 4.19 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งขวาด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย

$$V_{\max} = 3.35 \text{ V}$$

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

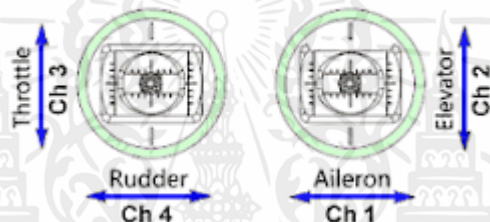
ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้ายจะมีค่าประมาณ 750 ms



รูปที่ 4.20 ค่า pwm ของมอเตอร์ฝั่งซ้ายด้านหลังตอนบังคับโดรนให้เลี้ยวซ้าย

$V_{max} = 3.31 \text{ V}$

Mode 2



รูปที่ 4.21 การส่งสัญญาณของจอยสติ๊ก

ค่าจากรีโมตที่วัดออกมาดูผ่าน Serial Monitor

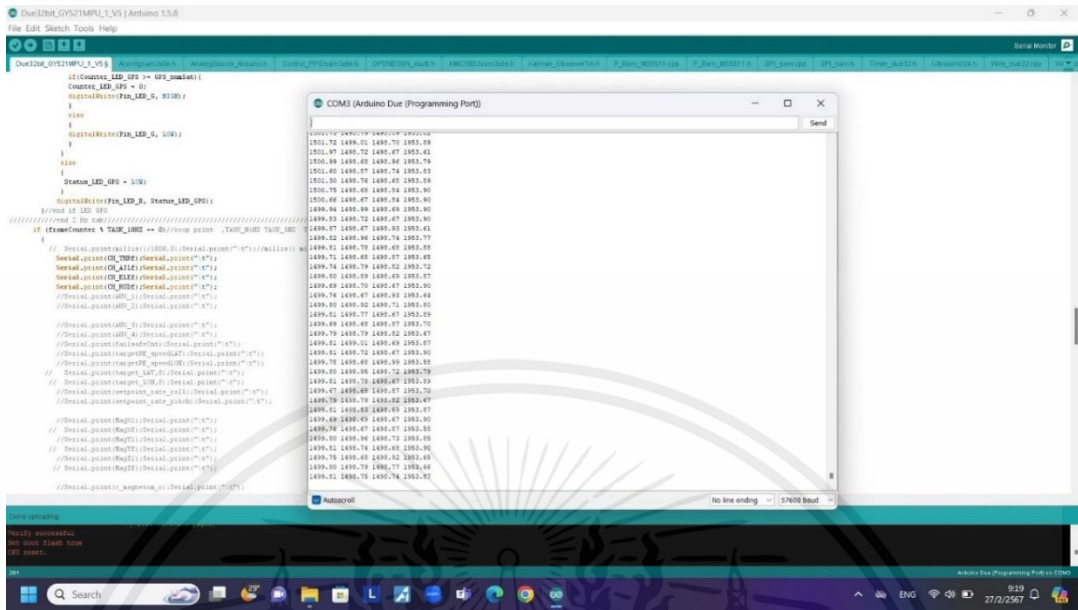
มี 4 ค่าที่ส่งออกมาในเวลาเดียวกันได้แก่ ค่าที่ 1.throttle 2.Aileron 3. Elevator 4.Rudder ในการทดลองนี้จะทดสอบว่าค่าที่ออกมาได้ตามที่กำหนดไว้ในโปรแกรมไหม ซึ่งเราจะกำหนดค่า Max-Min ไว้ที่ 1950-1050 ค่าที่ได้มีดังนี้

ค่า Throttle	Max	ที่ได้จะมีค่า 1950 ± 0.5	ค่า Throttle	Min	ที่ได้จะมีค่า 1050 ± 0.3
ค่า Elevator	Max	ที่ได้จะมีค่า 1950 ± 2.75	ค่า Elevator	Min	ที่ได้จะมีค่า 1050 ± 1.5
ค่า Ailaron	Max	ที่ได้จะมีค่า 1950 ± 4	ค่า Ailaron	Min	ที่ได้จะมีค่า 1050 ± 2.5

สามารถดูการทดสอบได้ตามรูปที่ 4.22 – 4.29

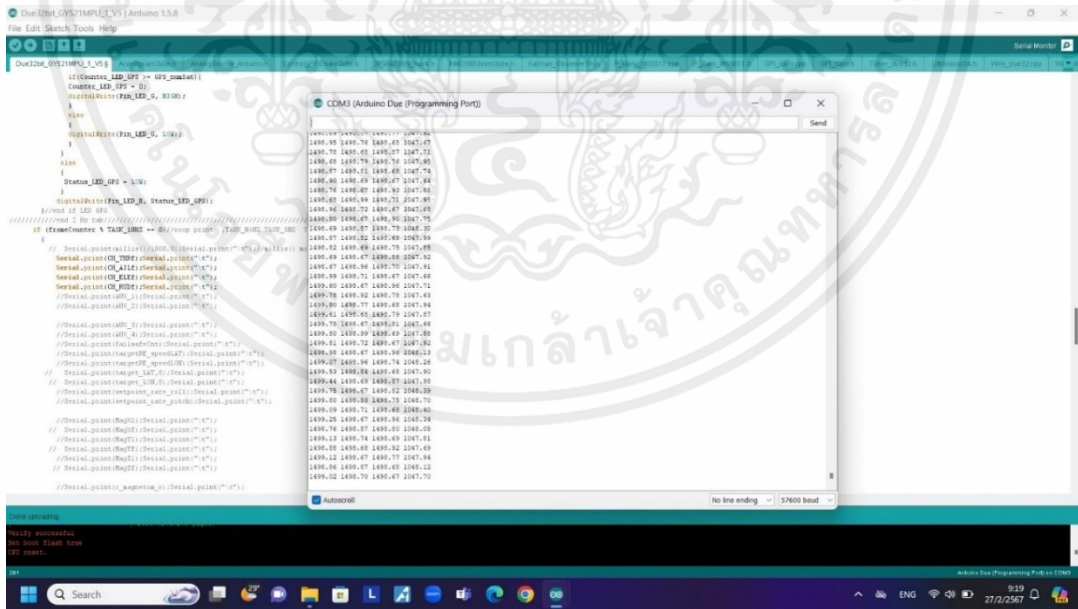
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้าไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า rudder max



รูปที่ 4.24 ค่า rudder max

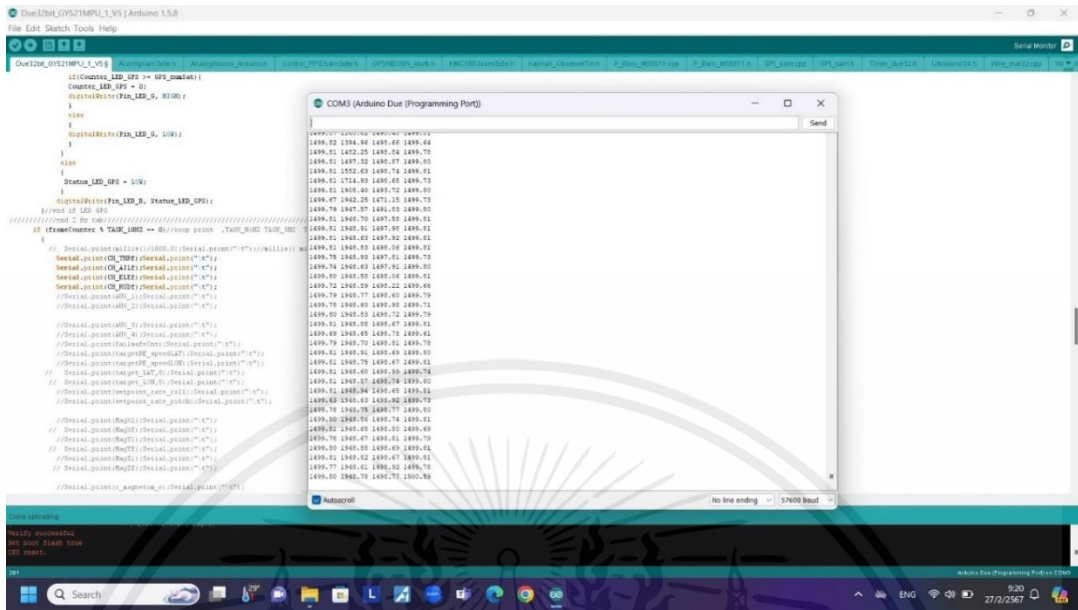
ค่า rudder min



รูปที่ 4.25 ค่า rudder min

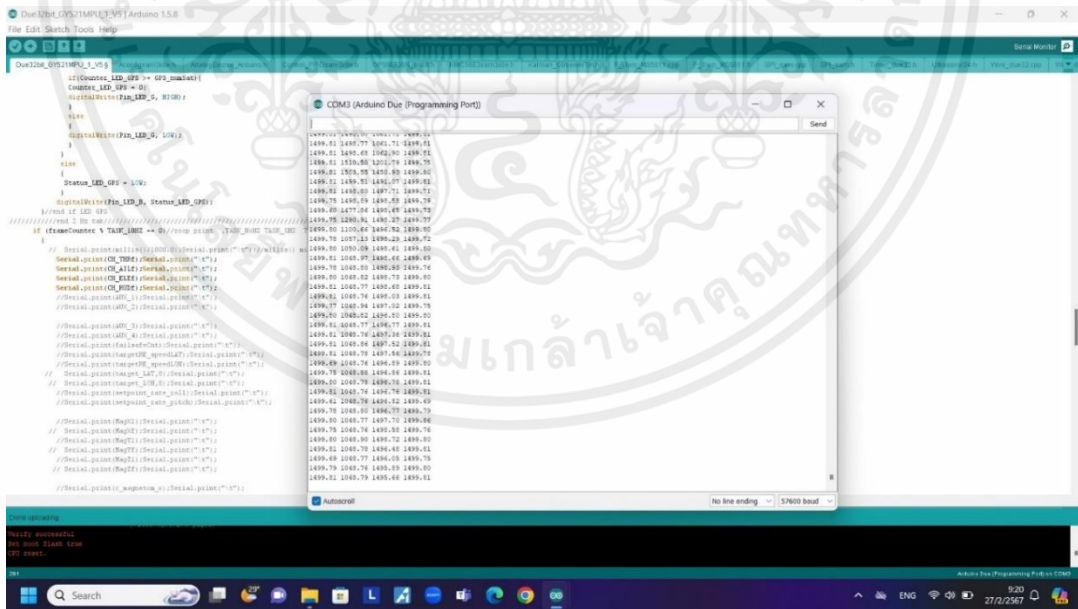
เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

ค่า aileron max



รูปที่ 4.28 ค่า aileron max

ค่า aileron min

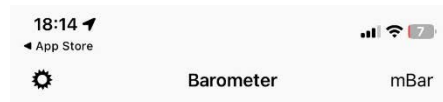


รูปที่ 4.29 ค่า aileron min

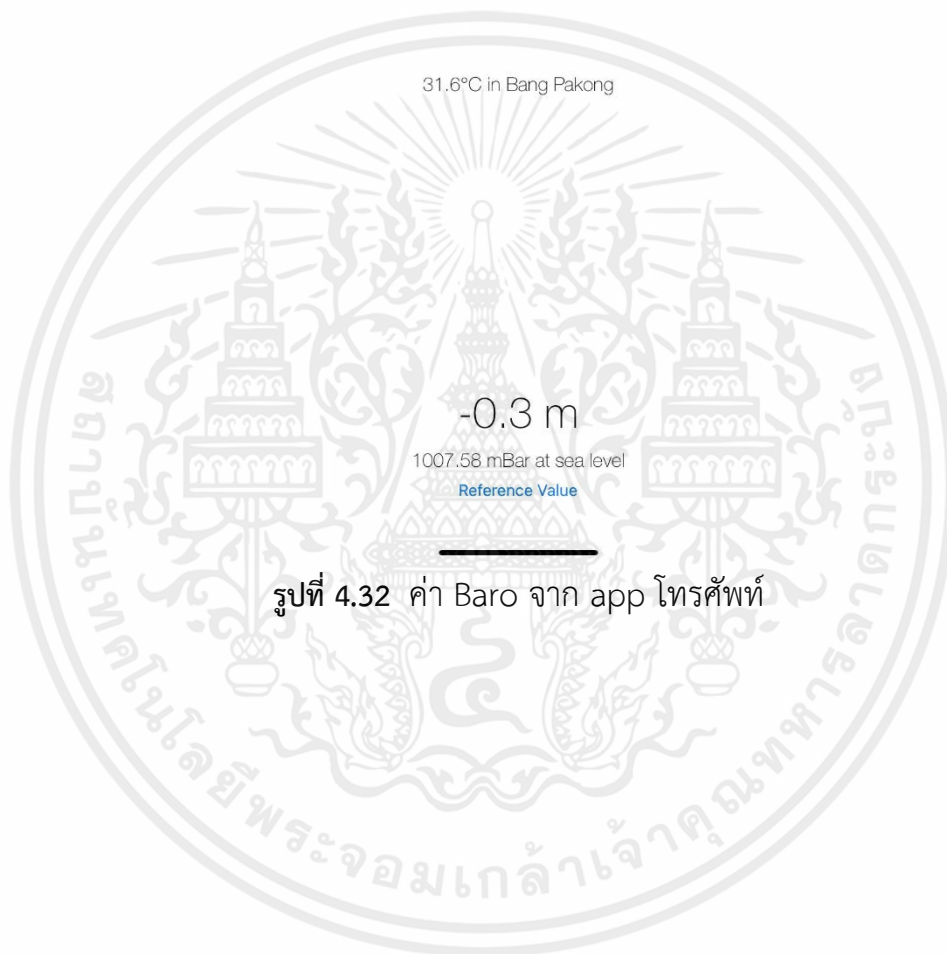
ค่าที่ได้มีความใกล้เคียงค่าที่ต้องการหากต้องการสามารถปรับได้ที่รีโมตในการรับ-ส่งสัญญาณ

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ดัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

โดยเปรียบเทียบค่าจาก app โทรศัพท์



1007.62 mBar



รูปที่ 4.32 ค่า Baro จาก app โทรศัพท์

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า ไม่ว่าจะกรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้

บทที่ 5

สรุปผลการทดลอง

5.1 สรุปผลการทดลอง

โดรนในช่วงบินขึ้นจากพื้นจะต้องใช้คันเร่งฝั่งขวาที่ใช้เลี้ยงโดรนซ้าย-ขวาช่วยในช่วงที่โดรนบินขึ้น โดรนสามารถบินได้นิ่งบนอากาศแต่คันเร่งฝั่งซ้ายที่ใช้ควบคุมความสูงของโดรนจะมีความหน่วงของสัญญาณเล็กน้อย ทำให้พอเร่งคันเร่งแล้วมอเตอร์จะทำงานช้ากว่าคำสั่งจากรีโมตแต่ ถ้าเป็นการควบคุมทิศทางของโดรนในการเลี้ยงซ้ายเลี้ยงขวาหรือเดินหน้าถอยหลังจะไม่มีอาการหน่วงของสัญญาณเลย แต่ปัญหาที่พบคือการลงจอดโดรนอย่างนุ่มนวลบนพื้นต้องอาศัยประสบการณ์ควบคุมโดรนในการควบคุมให้โดรนลงจอดอย่างนุ่มนวลแต่เนื่องด้วยประสบการณ์ในการบินโดรนยังน้อยจึงทำให้เวลาควบคุมโดรนให้ลงจอดเกิดการเทกกับพื้นนี้เองด้วยสัญญาณจากรีโมตในการควบคุมความสูงของโดรนมีความหน่วง ระยะเวลาของโดรนเวลาบินจริงโดยประมาณจากที่ทดสอบจะอยู่ที่ประมาณ 6-7 นาทีเนื่องด้วยความจุของแบตเตอรี่ที่ใช้คือ 2200 mAh และการทำงานของโดรนในโหมดลือกความสูงก็ทำงานได้ดี

5.2 วิจัยรณผลการทดลอง

อุปกรณ์ต่าง ๆ ที่สั่งมาจากประเทศจีนต้องใช้ดวงในการซื้อเป็นอย่างมากเพราะในบางครั้งที่ซื้อมาอาจจะใช้งานไม่ได้ประสิทธิภาพตามที่ต้องการหรืออาจใช้งานไม่ได้เลยเนื่องด้วยหลายปัจจัยเช่นการขนส่ง หรืออาจจะเสียมาจากโรงงานมาเลยก็ได้เนื่องด้วยของมีราคาถูกกว่าซื้อในประเทศไทยเป็นอย่างมากในบางชิ้นส่วนที่ใช้ในโปรเจกต์ระยะเวลาในการส่งของก็นานไม่ต่ำกว่า 1 สัปดาห์ เช่นเซอร์บอร์ดตัวก็มีประสิทธิภาพน้อยกว่าที่ตั้งเป้าหมายไว้เลยต้องมีกระบวนการในการปรับค่าเซ็นต์เซอร์ด้วยวิธีการทางคณิตศาสตร์ค่าใช้จ่ายในการประกอบโดรนทั้งหมดโดยประมาณจะตกอยู่ที่ 4090 บาทซึ่งราคาก็ยังถือว่าแพงกว่าโดรนสำเร็จ

เอกสารอ้างอิง

- [1] สื่อภูมิสารสนเทศ เข้าถึงได้จาก <http://learn.gistda.or.th/>
- [2] Project YMFC-AL - The Arduino auto-level quadcopter เข้าถึงได้จาก <http://www.brokking.net/>
- [3] Carbon Aeronautics เข้าถึงได้จาก <https://github.com/CarbonAeronautics>
- [4] การออกแบบโดรน เข้าถึงได้จาก <https://tryengineering.org/>
- [5] Aduе-32 bit <https://store-usa.arduino.cc/products/arduino-due>
- [8] หลักการทำงานของ มอเตอร์ไร้แปรงถ่าน (Brushless Motor)
<https://www.adlerdrive.com/content/4410/brushed-and-brushless-motor>
- [9] Electronic Speed Controller (ESC)
<https://dronemanya.com/th/post/tawkhwbkhumkhwaamerwkhuae-air>
<http://thaisonicdelivery.blogspot.com/2015/04/esc-motor-prop-battery.html?m=1>
- [10] โมดูล GY-521(MPU6050) <https://xtcomp.co.za/image/catalog/GY-521.pdf>
- [11] หลักการทำงานในใจโรสโคป <https://th.fmuser.net/content/?20896.html>
- [12] MS5611 GY-63 SPI Communication <https://www.te.com/commerce/DocumentDelivery>
- [13] อัลตราโซนิก HC-SR04
https://docs.google.com/document/d/18zTOh1EzOZErx_Utlpe0_BtMqXFMBVTS80jO6rIKhnO/preview?hgd=1
- [14] Kalman filter https://en.m.wikipedia.org/wiki/Kalman_filter

ภาคผนวก

เอกสารนี้เป็นเอกสารที่สงวนไว้สำหรับการใช้งานเพื่อการศึกษาเท่านั้น ไม่อนุญาตให้นำไปใช้ประโยชน์ด้านการค้า
ไม่ว่ากรณีใดๆ ทั้งสิ้น อีกทั้งห้ามมิให้ตัดแปลงเนื้อหาและต้องอ้างอิงถึงเจ้าของเอกสารทุกครั้งที่มีการนำไปใช้