

คอปเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจสวนผลไม้  
QUADCOPTER FOR FRUIT TREE ORCHARD INSPECTION

กฤษฎา      ทัดสอน  
ชรินทร์      สังขระมย์  
ปิยะลักษณ์      คุณาวิชยานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

คอปเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจสวนผลไม้

QUADCOPTER FOR FRUIT TREE ORCHARD INSPECTION

กฤษฎา	ทัตสอน
ชินินทร์	สังขะรัมย์
ปิยะลักษณ์	คุณาวิชยานนท์

ปริญญานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต  
สาขาวิศวกรรมเกษตร  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ปีการศึกษา 2560

# QUADCOPTER FOR FRUIT TREE ORCHARD INSPECTION

KITSADA      TUDSORN  
CHANIN      SANGKHAROM  
PIYALUK      KHUNAVICHAYANON


A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENT FOR THE DEGREE OF  
BACHELOR OF ENGINEERING IN AGRICULTURAL ENGINEERING  
FACULTY OF ENGINEERING  
KING MONGKUT'S INSTITUTE OF TECHNOLOGY LADKRABANG  
ACADEMIC YEAR 2017

ปริญญาานิพนธ์ปีการศึกษา 2560  
คณะวิศวกรรมศาสตร์  
สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง  
ใบรับรองปริญญาานิพนธ์

หัวข้อปริญญาานิพนธ์ คอปเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจสวนผลไม้  
QUADCOPTER FOR FRUIT TREE ORCHARD INSPECTION

นักศึกษาผู้จัดทำ นายกฤษฎา ทัดสอน รหัสนักศึกษา 57010035  
นายชนินทร์ สังขะรัมย์ รหัสนักศึกษา 57010253  
นางสาวปิยะลักษณ์ คุณาวิชยานนท์ รหัสนักศึกษา 57010789

ปริญญา วิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต (วิศวกรรมเกษตร)  
หลักสูตร วิศวกรรมเกษตร  
ภาควิชา วิศวกรรมเกษตร  
ปีการศึกษา 2560

อาจารย์ผู้ควบคุมปริญญาานิพนธ์	ลายมือชื่อ
ดร.วสุ อุดมเพทายกุล	

หัวข้อปริญญาโท	คอมพิวเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจสวนผลไม้		
นักศึกษาผู้จัดทำ	นายฤทธิชัย	ทัตสอน	รหัสนักศึกษา 57010035
	นายชินนทร์	สังขระมย์	รหัสนักศึกษา 57010253
	นางสาวปิยะลักษณ์	คุณาวิชยานนท์	รหัสนักศึกษา 57010789
อาจารย์ที่ปรึกษา	ดร. วสุ อุดมเพทายกุล		
ปีการศึกษา	2560		

### บทคัดย่อ

จุดประสงค์ของโครงการนี้คือการพัฒนาต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจสวนผลไม้ โดยการพัฒนานี้ทำให้สามารถช่วยเกษตรกรลดระยะเวลาในการสำรวจพื้นที่ขนาดใหญ่ และเพิ่มความแม่นยำในการสำรวจได้ ซึ่งต้นแบบระบบคอมพิวเตอร์ 4 ใบพัดสามารถแบ่งการทำงานออกได้เป็น 2 แบบ ซึ่งในส่วนแรกคือระบบฮาร์ดแวร์ ประกอบด้วย คอมพิวเตอร์ 4 ใบพัดขนาดเล็กที่ควบคุมด้วยบอร์ด APM 2.6, ระบบวิทยุแบบ 915 MHz, รีโมทควบคุม T8F8 และกล้องดิจิทัลแคนนอนรุ่น A530 ช่วยในการบันทึกภาพ และในส่วนที่สองคือระบบซอฟต์แวร์ ประกอบด้วย ซอฟต์แวร์ควบคุมคอมพิวเตอร์ 4 ใบพัด คือโปรแกรม Mission Planner สำหรับตั้งค่าการบิน และซอฟต์แวร์การประมวลผลภาพใช้ OpenCV library ของภาษา Python โดยรูปภาพที่ได้รับจากคอมพิวเตอร์จะผ่านการประมวลผลภาพคือ การหาค่าสี การต่อรูปภาพ และหาสิ่งแปลกปลอม หลังจากนั้นใช้เทคนิค Stereo Vision เพื่อคำนวณหาพิกัดที่แท้จริงของสิ่งแปลกปลอม

Thesis Title	Quadcopter for Fruit Tree Orchard Inspection		
Authors	Kitsada	Tudsorn	57010035
	Chanin	Sangkharom	57010253
	Piyaluk	Khunavichayanon	57010789
Thesis Advisor	Dr. Vasu	Udompetaikul	
Year	2017		

### *Abstract*

Objective of this project is to develop a quadcopter prototype system for agricultural farm survey and inspection. Advantage of the system is that quad copters can cover larger area with less time used and limited comparing to human. The system contains two main parts: hardware and software parts. The hardware part includes a small-size quadcopter with the APM 2.6 flight controller board, 915 MHz 3DR telemetry system, T8FB Radio Link and Canon A530 digital camera. The software consists of two parts. Quadcopter software which is Mission Planner for system configuration and control interface. For image processing software, we used OpenCV library (Python interface) for development. Images acquired by the quadcopter were processed by an image processing program for color calibration, image stitching and target detection. By using stereo imaging technique, the position of the same object in two images were used to calculate actual position of the objects.

## กิตติกรรมประกาศ

การพัฒนาคอมพิวเตอร์สี่ไบต์เพื่อการสำรวจสวนผลไม้ สามารถลุล่วงไปได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับความอนุเคราะห์และคำแนะนำจากบุคคลหลายท่าน ไปจนถึงให้ความรู้ในการทำโครงการแก่คณะผู้จัดทำมาโดยตลอด คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณหลักสูตรวิศวกรรมเกษตร สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง ที่สนับสนุนเครื่องมือ สถานที่และงบประมาณในการศึกษาออกแบบพัฒนา สร้างและทดสอบต้นแบบเครื่องในปริญญาโทฉบับนี้

คณะผู้จัดทำขอขอบพระคุณ ดร.วสุ อุดมเพทายกุล อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการ ที่สนับสนุนและให้คำแนะนำแนวทาง ไปจนถึงให้ความกรุณาในการตรวจผลงานรวมถึงให้ข้อเสนอแนะในการแก้ไขข้อบกพร่องบางอย่างที่เกิดขึ้นกับผลงาน รวมถึงให้ความช่วยเหลือในเรื่องต่างๆอย่างเต็มที่จนผลงานสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ขอขอบพระคุณ อาจารย์ภัทรชัย วิชัยยะ ที่สนับสนุนคอมพิวเตอร์สี่ไบต์ส่วนตัวเพื่อให้คณะผู้จัดทำได้ฝึกควบคุมการขึ้นบินเบื้องต้น เพื่อสามารถนำไปเป็นแนวทางในการสร้างและพัฒนาตัวคอมพิวเตอร์สี่ไบต์เพื่อการสำรวจสวนผลไม้ต่อไปได้ ขอขอบพระคุณอาจารย์ประจำหลักสูตรที่ถ่ายทอดวิชาความรู้ต่างๆให้แก่คณะผู้จัดทำ และขอขอบคุณรุ่นพี่ป.โท จากห้องปฏิบัติงานอาจารย์ที่ปรึกษา ดร.วสุ อุดมเพทายกุล ที่ให้ความช่วยเหลือคำแนะนำในด้านการวิจารณ์งานอย่างเต็มที่

สุดท้ายนี้ขอขอบพระคุณ บิดา มารดาที่เลี้ยงดู อบรมสั่งสอนและให้การสนับสนุนในด้านการศึกษาอย่างเต็มที่ รวมถึงกำลังใจ และคำปรึกษาในทุกด้าน เป็นแรงผลักดันที่ทำให้คณะผู้จัดทำประสบความสำเร็จในการสร้างโครงการชิ้นนี้ออกมาได้ด้วยดี

นายกฤษฎา ทัดสอน  
นายชินนทร์ สังขระมย์  
นางสาวปิยะลักษณ์ คุณาวิชยานนท์

## สารบัญ

## หน้าที่

บทคัดย่อภาษาไทย	I
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	II
กิตติกรรมประกาศ	III
สารบัญ	IV
สารบัญตาราง	IVII
สารบัญภาพ	VIII
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	1
1.3 ขอบเขตการศึกษา	1
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน	2
บทที่ 2 หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 หลักการบินของคอปเตอร์สี่ใบพัด	4
2.1.1 การทำให้ลอยอยู่กับที่	4
2.1.2 การทำให้บินขึ้นบินลง	5
2.1.3 การเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวา	5
2.1.4 การเคลื่อนที่ไปด้านหน้า-หลัง	6
2.1.5 การหมุนตัว	6
2.2 รูปแบบเฟรมสำหรับคอปเตอร์	7
2.2.1 แบ่งตามจำนวนมอเตอร์และใบพัด	7
2.2.2 แบ่งตามลักษณะการใช้งาน	7
2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน	8
2.4 ใบพัด	8
2.5 ชุดควบคุมความเร็วรอบแบบอิเล็กทรอนิกส์	9
2.6 แบตเตอรี่ชนิด Li-Po	9
2.7 ชุดควบคุมการบิน	9
2.7.1 บอร์ดควบคุม	10
2.7.2 GPS	10

## สารบัญ(ต่อ)

## หน้าที่

2.7.3 ระบบความถี่วิทยุบังคับ	10
2.7.4 ระบบโทรมาตร	10
2.7.5 ระบบความถี่วิทยุ 2.4 GHz	11
2.7.6 Gyroscope Sensor	11
2.7.7 Accelerometer	11
2.7.8 Magnetometer	12
2.7.9 Barometer	12
2.8 กล้อง	13
2.8.1 กล้อง Compact	13
2.8.2 กล้อง DSLR (Digital Single-Lens Reflex)	13
2.8.3 กล้อง DSLR-Like	13
2.8.4 กล้อง Mirror less (ไม่มีกระจกสะท้อนภาพ)	14
2.9 การประมวลผลภาพดิจิทัล	14
2.9.1 Color Thresholding	17
2.9.2 Morphological Filtering	18
2.9.3 Color Detection	19
2.10 Stereo imaging	20
2.11 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง	21
2.11.1 OpenCV library	21
2.11.2 Python	21
2.11.3 Mission Planner	22
2.11.4 CHDK	22
บทที่ 3 วิธีและขั้นตอนการดำเนินการ	23
3.1 แนวความคิดและหลักการทำงาน	23
3.1.1 ระบบคอปเตอร์สี่ใบพัด	23
3.1.2 ระบบการประมวลผลภาพ	23
3.2 การสร้างคอปเตอร์สี่ใบพัด	24
3.2.1 การเลือกเฟรม	24
3.2.2 การวิเคราะห์แรงยกเพื่อเลือกมอเตอร์	25
3.2.3 การเลือกใบพัด	26
3.2.4 การเลือกใช้แบตเตอรี่	27
3.2.5 อุปกรณ์สำคัญอื่นๆ	28
3.3 ขั้นตอนการทดลอง	30
3.3.1 ทดลองการประมวลผลภาพโดยการใช้ภาพถ่ายอ้างอิง	30

## สารบัญ(ต่อ)

หน้าที่

3.3.2 การทดสอบการบินบันทึกภาพและการประมวลผลภาพจากภาพที่ได้	30
บทที่ 4 ผลการทดลอง	33
4.1 พัฒนาซอฟต์แวร์ 4 ใบพัดขนาดเฟรม 550 mm เพื่อถ่ายภาพสำรวจสวนผลไม้	33
4.2 ผลการทดลองการนำภาพถ่ายอ้างอิงมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ	34
4.3 ผลการทดสอบการสำรวจพื้นที่	36
บทที่ 5 สรุปผลการทดลอง	40
เอกสารอ้างอิง	41
ภาคผนวก	43
ภาคผนวก ก ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาค่าช่วงสี	44
ภาคผนวก ข ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาเป้าหมายจำลอง	47
ภาคผนวก ค ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาความสูงของเป้าหมายจำลอง	49

## สารบัญตาราง

หน้าที่

ตารางที่ 1.1	ระยะเวลาดำเนินงาน	3
ตารางที่ 4.1	ผลการทดลองการนำภาพถ่ายอ้างอิงผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ	34
ตารางที่ 4.2	ผลการทดสอบการสำรวจพื้นที่	36

## สารบัญภาพ

## หน้าที่

รูปที่ 2.1	ความเร็วและการหมุนของใบพัดขณะลอยอยู่กับที่	4
รูปที่ 2.2	ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อทำการบินขึ้น-ลง	5
รูปที่ 2.3	ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวา	5
รูปที่ 2.4	ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ไปด้านหน้า-หลัง	6
รูปที่ 2.5	ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ขณะหมุนตัว	7
รูปที่ 2.6	Gyro Sensor	11
รูปที่ 2.7	ภาพที่มีค่าระดับเทา 5 ระดับ	14
รูปที่ 2.8	ภาพที่มีค่าระดับเทา 15 ระดับ	15
รูปที่ 2.9	ภาพที่มีการปรับปรุงภาพโดยการใช้หลักการปรับปรุงภาพและฟื้นฟูภาพ	15
รูปที่ 2.10	ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ	16
รูปที่ 2.11	กระบวนการ thresholding	18
รูปที่ 2.12	กระบวนการ Morphological Filtering	18
รูปที่ 2.13	RGB color models	19
รูปที่ 2.14	HSV color models	19
รูปที่ 2.15	ตัวอย่างภาพที่ผ่านการ Color Detection	19
รูปที่ 2.16	หลักการ Stereo imaging	20
รูปที่ 3.1	ส่วนประกอบภาพรวมระบบ	23
รูปที่ 3.2	การทำงานของระบบประมวลผลภาพ	23
รูปที่ 3.3	เฟรม S500-PCB Quadcopter	24
รูปที่ 3.4	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกของมอเตอร์และกระแสไฟที่ใช้	25
รูปที่ 3.5	มอเตอร์ RS 2312-920kv	26
รูปที่ 3.6	ใบพัด	26
รูปที่ 3.7	ชุดควบคุมความเร็ว motor 30A ESC	26
รูปที่ 3.8	แบตเตอรี่ 3 cell Li-Po ขนาด 3700 mA	28
รูปที่ 3.9	OpenPilot CC3D Flight Controller Board	28
รูปที่ 3.10	ตัวรับ-ส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 915 MHZ	28
รูปที่ 3.11	วิทยุบังคับ RadioLink	29
รูปที่ 3.12	GPS Radiolink	29
รูปที่ 3.13	กล้อง canon รุ่นA530	29
รูปที่ 3.14	ภาพถ่ายมุมสูงอ้างอิงจากอินเทอร์เน็ต	30
รูปที่ 3.15	สนามทดสอบ	31
รูปที่ 3.16	พื้นที่การสำรวจสิ่งแปลกปลอม	32
รูปที่ 4.1	คอปเตอร์ 4 ใบพัดและการบินทดสอบ	33
รูปที่ 4.2	ภาพผลการทดสอบจากภาพถ่ายอ้างอิง	35
รูปที่ 4.3	ภาพถ่ายที่ได้จากการบินสำรวจพื้นที่	37

## สารบัญภาพ(ต่อ)

	หน้าที่
รูปที่ 4.4 การแยกช่วงของบริเวณที่สนใจ	38
รูปที่ 4.5 ค่าสีของตัวแปร Filter	38
รูปที่ 4.6 ภาพที่ได้จากการต่อภาพเป็นภาพรวม	38
รูปที่ 4.7 พื้นที่ทดสอบหลังผ่านกระบวนการ Color Thresholding (ช่วงสีแดง)	39
รูปที่ 4.8 พื้นที่ทดสอบหลังผ่านกระบวนการ Morphological Filtering	39
รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การทำ Color Detection	39

## บทที่ 1

### บทนำ

#### 1.1 ที่มาและความสำคัญ

ประเทศไทยจัดว่าเป็นประเทศเกษตรกรรม การทำการเกษตรในไทยนั้นยังคงมีบทบาทสำคัญต่อระบบเศรษฐกิจของประเทศ เพราะนอกจากจะทำให้เกิดรายได้แล้ว คนส่วนใหญ่ของประเทศยังมีอาชีพทำการเกษตร ซึ่งเกษตรกรรมในประเทศนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็นหลายด้านและหนึ่งในนั้นก็คือการทำสวนผลไม้ มีการสำรวจว่าในประเทศไทยมีการใช้พื้นที่ทำสวนผลไม้ (เช่น ลองกอง ทุเรียน ลำไย มะม่วง ฯลฯ) รวมแล้ว 34.91 ล้านไร่ ในด้านเกษตรกรรมประเทศไทยมีแนวโน้มที่จะเปลี่ยนจากการทำเกษตรกรรมแบบดั้งเดิมไปสู่เกษตรกรรมแบบสมัยใหม่ ที่จะเน้นการบริหารจัดการและการใช้เทคโนโลยีในการประยุกต์ใช้กับเกษตรกรรมเพื่อให้ได้มาซึ่งผลผลิตที่มีคุณภาพมากยิ่งขึ้น เพื่อที่จะได้ผลผลิตที่มีปริมาณและคุณภาพสอดคล้องกับความต้องการของตลาด<sup>[1]</sup> จึงต้องมีการสังเกตการณ์ผลผลิตอย่างสม่ำเสมอ เพื่อที่จะได้รับรู้และแก้ไขปัญหาความเสียหายที่เกิดขึ้นกับสวนผลไม้ได้อย่างทันที ทั้งหมดนี้จะส่งผลให้สามารถรักษาจำนวนผลผลิตไว้ได้ และไม่ก่อให้เกิดการขาดทุนจากความเสียหายที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่ โดยในการทำการสำรวจนั้นเกษตรกรจำเป็นต้องลงพื้นที่เองเพื่อทำการสำรวจ ซึ่งต้องใช้เวลานานและผู้ทำการสำรวจต้องใช้ความเชี่ยวชาญเป็นอย่างมาก

ทั้งนี้ผู้จัดทำจึงการออกแบบและสร้างคอมพิวเตอร์สไลด์เพื่อการสำรวจสวนผลไม้ขึ้นมา เพื่อให้เป็นส่วนช่วยในการสำรวจสวนผลไม้ โดยการนำภาพที่ถ่ายจากคอมพิวเตอร์มาทำการประมวลผลภาพดิจิทัล (Digital Image Processing) ซึ่งสามารถเก็บข้อมูลสวนเป็นภาพถ่ายแบบมุมสูงและนำมาวิเคราะห์ถึงความผิดปกติที่เกิดขึ้นภายในพื้นที่สวน เพื่อมาเป็นส่วนช่วยเกษตรกรในด้านการสำรวจ นำไปสู่การพัฒนาและการดูแลพื้นที่สวนผลไม้ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

#### 1.2 วัตถุประสงค์

1. พัฒนาคอมพิวเตอร์ 4 ใบพัดขนาดเฟรม 550 mm เพื่อถ่ายภาพสำรวจสวนผลไม้
2. พัฒนารูปประมวลผลภาพเพื่อจำแนกสิ่งแปลกปลอม และ ระบุตำแหน่งเป้าหมายที่ตรวจสอบได้

#### 1.3 ขอบเขตการศึกษา

ทดลองในสภาพจำลอง โดยใช้สิ่งแปลกปลอมมีสีที่แตกต่างจากสภาพแวดล้อม เป็นต้นแบบเพื่อสามารถนำไปใช้พัฒนาต่อได้

## 1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ

คอปเตอร์ 4 ใบพัดด้วยระบบไมโครคอนโทรลเลอร์เพื่อสำรวจสิ่งแปลกปลอมภายในสวนผลไม้ โดยผ่านการวิเคราะห์ภาพถ่ายจากมุมสูงด้วยการประมวลผลภาพดิจิทัล

## 1.5 ขั้นตอนการดำเนินงาน

- 1.5.1 ศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับโครงการ
- 1.5.2 ออกแบบระบบและเลือกอุปกรณ์จากทฤษฎีและการวิจัยต่างๆ
- 1.5.3 ประกอบอุปกรณ์ต่างๆและทดสอบคอปเตอร์4ใบพัด
- 1.5.4 ปรับปรุงระบบการควบคุมของคอปเตอร์4ใบพัด
- 1.5.5 ทดสอบการบินควบคุมคอปเตอร์4ใบพัด
- 1.5.6 ติดตั้งกล้องบนคอปเตอร์สี่ใบพัด
- 1.5.7 เขียนโปรแกรมประมวลผลภาพ
- 1.5.8 ทดสอบโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
- 1.5.9 ทดสอบและปรับปรุงระบบการเก็บภาพของคอปเตอร์ 4 ใบพัด
- 1.5.10 ทดสอบภาพที่ได้จากการบินทดสอบคอปเตอร์ 4 ใบพัด ผ่านโปรแกรมที่พัฒนาขึ้น
- 1.5.11 สรุปและรายงานผลการทดสอบ
- 1.5.12 เขียนปริญญาานิพนธ์

ตารางที่ 1.1 ระยะเวลาดำเนินงาน

ขั้นตอนดำเนินงาน	ปี / เดือน									
	พ.ศ.2560					พ.ศ.2561				
	ส.ค.	ก.ย.	ต.ค.	พ.ย.	ธ.ค.	ม.ค.	ก.พ.	มี.ค.	เม.ย.	พ.ค.
1. ศึกษาทฤษฎี งานวิจัยที่เกี่ยวข้องเพื่อกำหนดขอบเขต	×	×								
2. ออกแบบวงจรคอปเตอร์สี่ไบพัตเพื่อสำรวจสวนผลไม้ทั้ง		×	×							
3. สั่งซื้อ ประกอบ ทดสอบ เครื่อง			×	×	×					
4. ตรวจสอบการทำงานของคอปเตอร์สี่ไบพัตและแก้ไขปัญหา				×	×					
5. เขียนโปรแกรมประมวลผลภาพและติดตั้งกล้องบนคอปเตอร์สี่ไบพัต				×	×	×	×			
6. ตรวจสอบการทำงานของคอปเตอร์สี่ไบพัตเพื่อการสำรวจสวนผลไม้				×	×	×	×			
7. แก้ไขปัญหาหลังจากการตรวจสอบ(หากพบ)				×	×	×	×	×		
8. จัดทำรูปเล่มและพรีเซนเทชั่น								×	×	

## บทที่ 2

### หลักการและทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

#### 2.1 หลักการบินของคอปเตอร์สี่ใบพัด

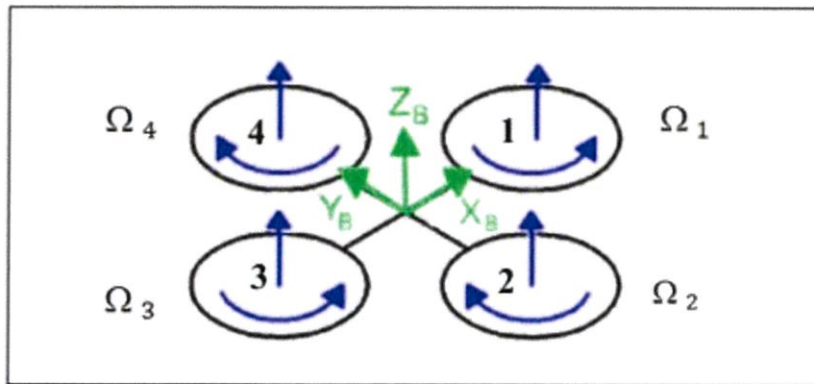
หลักการบินของอากาศยานทุกชนิดนั้นจะอยู่ในระบบแบบ 3 มิติ ซึ่งจะมีการเคลื่อนที่รอบแกนต่างๆทั้งหมด 3 แกน มีชื่อเรียกการเคลื่อนที่รอบแกนต่างๆดังนี้

- (1) Pitch เป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบแกน  $y$
- (2) Roll เป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบแกน  $x$
- (3) Yaw เป็นการเคลื่อนที่หมุนรอบแกน  $z$

นอกจากการหมุนรอบแกนใดๆแล้วยังสามารถจำแนกการเคลื่อนที่ได้ 5 รูปแบบดังนี้ (กำหนดให้ แกน  $x$  มีทิศหน้า-หลังของเครื่อง, แกน  $y$  มีทิศด้านซ้าย-ขวาของเครื่อง และแกน  $z$  มีทิศด้านบน-ล่างของเครื่อง)

##### 2.1.1 ลอยอยู่กับที่ (Hovering)

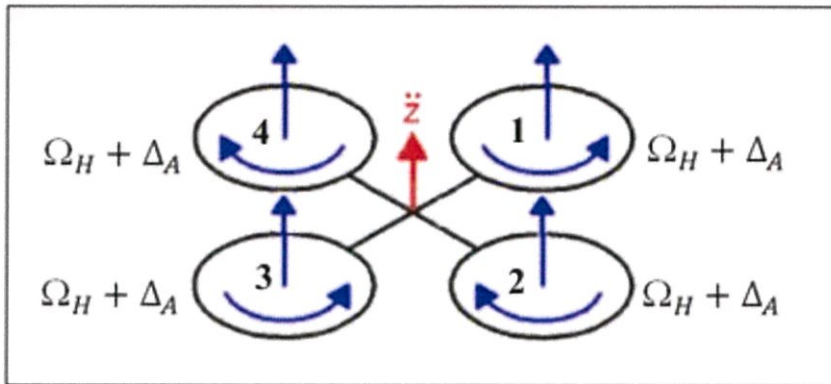
เกิดจากการควบคุมให้ความเร็วของใบพัดทั้ง 4 เท่ากัน ส่งผลให้มีการหักล้างระหว่างโมเมนต์บิดจากแต่ละด้าน และทำให้ไม่เกิดการหมุนรอบแกนใดๆเพื่อให้ลอยอยู่กับที่ได้อย่างเสถียร ซึ่งการจะทำให้อากาศยานสามารถลอยขึ้นได้นั้นจะต้องให้ความเร็วของใบพัดทั้ง 4 ใบ มีค่ามากพอที่จะสามารถสร้างแรงยกที่มากกว่าน้ำหนักของระบบทั้งหมด สำหรับความเร็วของใบพัดกำหนดให้มีสัญลักษณ์  $\Omega$  ซึ่งจากข้อกำหนดข้างต้นทำให้สรุปได้ว่า  $\Omega_1 = \Omega_2 = \Omega_3 = \Omega_4 = \Omega_H$



รูปที่ 2.1 ความเร็วและการหมุนของใบพัดขณะลอยอยู่กับที่/ที่มา ปัทมา ชุกลิน (2557)

### 2.1.2 การทำให้บินขึ้น-ลง (Throttle)

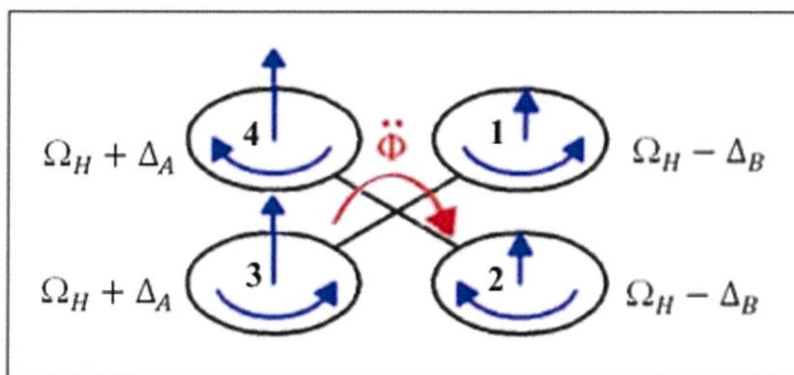
จากการที่หยุดนิ่งในอากาศได้เพราะความเร็วของทั้ง 4 ใบพัดเท่ากัน ( $\Omega_H$ ) ส่งผลทำให้มีแรงยกจากทั้ง 4 ใบพัดเท่ากัน และเมื่อเพิ่มความเร็วของใบพัดให้มีค่า  $\Omega_H + \Delta_A$  เท่ากันทั้ง 4 ใบพัด ก็ยังคงส่งผลให้โมเมนต์รอบแกน z เกิดการหักล้างเช่นเดิม แต่แรงยกที่อยู่ในทิศทางเดียวกับแกน z จะมีค่าเพิ่มขึ้น ทำให้คอปเตอร์สามารถยกตัวสูงขึ้นจากแนวเดิม และในทางกลับกันถ้าลดความเร็วของทั้ง 4 ใบพัดให้เท่ากันแล้ว คอปเตอร์ก็จะลดระดับความสูงจากแนวเดิมเช่นกัน



รูปที่ 2.2 ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อทำการบินขึ้น-ลง/ที่มา ปัทมา ชุกกลิ่น (2557)

### 2.1.3 การเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวา (Roll)

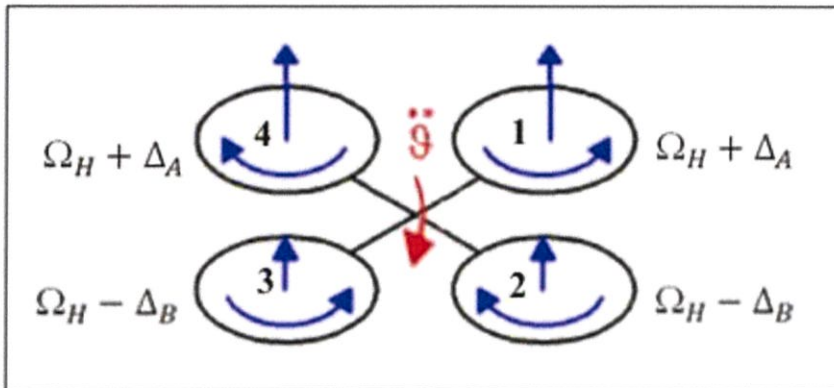
สำหรับหลักการนี้คือการทำให้แรงบิดรอบแกน x มีค่าไม่เป็นศูนย์ ทำให้เกิดการเคลื่อนที่ในแนวด้านข้าง(ซ้าย-ขวา) สามารถทำได้โดยการให้ใบพัดคู่หน้า-หลังมีความเร็วเท่าเดิม แต่ใบพัดคู่ซ้าย-ขวานั้นจะเปลี่ยนไป ซึ่งหลักการเพิ่มความเร็วของใบพัดคู่ซ้าย-ขวานั้น จะขึ้นอยู่กับแนวการเคลื่อนที่ ถ้าต้องการเคลื่อนที่ไปทิศทางไหนจะต้องลดความเร็วของใบพัดทิศทางนั้น และเพิ่มความเร็วของใบพัดในทิศทางตรงข้าม เช่นถ้าจะเคลื่อนที่ไปในทิศด้านขวาก็จะลดความเร็วที่ใบพัดขวาเป็น  $\Omega_H - \Delta_B$  และเพิ่มความเร็วที่ใบพัดซ้ายเป็น  $\Omega_H + \Delta_A$  ในขณะที่ความเร็วของใบพัดหน้า-หลังยังคงเท่าเดิมคือ  $\Omega_H$



รูปที่ 2.3 ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวา/ที่มา ปัทมา ชุกกลิ่น (2557)

### 2.1.4 การเคลื่อนที่ไปด้านหน้า-หลัง (Pitch)

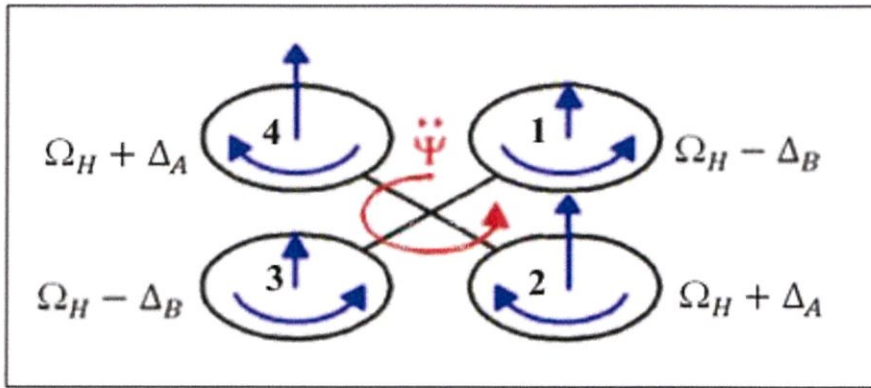
คล้ายคลึงกับการเคลื่อนที่ไปทางซ้าย-ขวา (Roll) โดยจะเปลี่ยนจากการบิดรอบแกน  $x$  เป็นแกน  $y$  ส่งผลให้ความเร็วของใบพัดซ้าย-ขวามีความเร็วเท่าเดิม แต่ใบพัดหน้า-หลังมีความเร็วใบพัดเปลี่ยนไป หลักการในการเพิ่มความเร็วของใบพัดยังคงเดิมขึ้นกับลักษณะการเคลื่อนที่ คือถ้าต้องการให้เคลื่อนที่ไปทางไหนก็จะลดความเร็วในทิศทางนั้นและเพิ่มความเร็วของทิศทางตรงข้าม เช่นถ้าต้องการให้เคลื่อนที่ไปข้างหน้าก็จะลดความเร็วของใบพัดหน้าเป็น  $\Omega_H - \Delta_B$  และเพิ่มความเร็วของใบพัดหลังเป็น  $\Omega_H + \Delta_A$  ในขณะที่ความเร็วของใบพัดซ้าย-ขวาเท่าเดิมคือ  $\Omega_H$  จากการเคลื่อนที่แบบนี้ส่งผลให้คอปเตอร์มีลักษณะก้มลง ส่งผลให้แรงยกจากใบพัดทำมุมกับแนวดิ่ง สามารถแตกแนวแรงได้ 2 แรงคือแนวดิ่งและแนวระดับ ซึ่งแนวระดับนี้เองจะเป็นตัวขับเคลื่อนคอปเตอร์ให้ไปด้านหน้า เรียกแรงนี้ว่า “แรงผลัก (Thrust)”



รูปที่ 2.4 ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ไปด้านหน้า-หลัง/ที่มา ปัทมา ชุกกลิน (2557)

### 2.1.5 การหมุนตัว (Yaw)

เป็นการให้คอปเตอร์หมุนรอบตัวเองซึ่งเป็นการหมุนรอบแกน  $z$  โดยให้ความเร็วใบพัดคู่ใดคู่หนึ่ง(ซ้าย-ขวา หรือ หน้า-หลัง) มีความเร็วที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่อีกคู่มีค่าเท่าเดิมหรือต่ำกว่า ซึ่งในแต่ละคู่จะมีความเร็วใบพัดที่เท่ากัน เช่นถ้าต้องการทวนเข็มนาฬิกาจะให้ความเร็วใบพัดคู่หน้า-หลังมีความเร็วลดลงเป็น  $\Omega_H - \Delta_B$  ทั้ง 2 ใบ ในขณะที่ใบพัดคู่ซ้าย-ขวามีความเร็วเพิ่มขึ้นเป็น  $\Omega_H + \Delta_A$  ส่งผลให้แรงบิดด้านซ้าย-ขวามีค่ามากกว่าแรงบิดของด้านหน้า-หลัง มีผลทำให้คอปเตอร์เกิดการหมุนรอบตัวเองในทิศทวนเข็มนาฬิกา (ปัทมา ชุกกลิน, 2557)



รูปที่ 2.5 ความเร็วและการหมุนของใบพัดเมื่อเคลื่อนที่ขณะหมุนตัว/ที่มา ปัทมา ชุกกลิน (2557)

## 2.2 รูปแบบเฟรมสำหรับคอปเตอร์

เฟรมที่ใช้สำหรับคอปเตอร์นั้นมีหลากหลายรูปแบบ ซึ่งแต่ละแบบนี้มีจุดประสงค์สำหรับการบินแตกต่างกันออกไป การแบ่งประเภทของเฟรมนั้น (Oscar, 2013) สามารถแบ่งได้ 2 รูปแบบคือ

### 2.2.1 แบ่งตามจำนวนมอเตอร์และใบพัด

(1) Tricopter เหมาะสำหรับการบินที่ต้องการความราบเรียบ มีการตอบสนองการเปลี่ยนทิศที่รวดเร็ว

(2) Quadcopter เป็นรูปแบบที่พบได้มากที่สุด เพราะง่ายต่อการติดตั้งระบบและมีความสมดุลสูง

(3) Hexacopter มีกำลังมากกว่าแบบ quadcopter เพราะมี 6 ใบพัด และตอบสนองต่อการเปลี่ยนทิศดีกว่า

(4) Octocopter มีกำลังมากที่สุดและมีความแม่นยำสูง เหมาะกับงานที่ต้องใช้แรงยกมากๆ

### 2.2.2 แบ่งตามการใช้งาน

(1) Aerial cinematography มีขนาดใหญ่ที่สุดเพื่อให้โครงแข็งแรงพอที่จะรองรับกล้องได้ เหมาะสำหรับการใช้งานที่ต้องใช้ กล้องที่มีความละเอียดค่อนข้างสูงในการบิน

(2) Sport มีน้ำหนักเบาและมีความแข็งแรงสูง ทำให้ตอบสนองต่อการควบคุมได้ดี

(3) Mini มีขนาดเล็กมาก มีคุณสมบัติที่ทนต่อการเสียหายและแตกหักได้ดี

(4) Sport FPV มีพื้นที่สำหรับการติดตั้งบอร์ดและเซนเซอร์ต่างๆมากแม้จะมีขนาดเล็ก รวมถึงสามารถติดกล้องขนาดเล็กได้

(5) Mini FPV มีการควบคุมที่ตอบสนองรวดเร็ว ทนทานต่อการเสียหาย สามารถติดตั้งกล้องขนาดเล็กได้

### 2.3 มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงแบบไร้แปรงถ่าน (Brushless DC, BLDC)

มอเตอร์ไฟฟ้ากระแสตรงไร้แปรงถ่าน (Brushless DC, BLDC) เป็นมอเตอร์ที่ออกแบบให้ขดลวด (stator) อยู่หนึ่งและมีแม่เหล็กถาวรหมุนได้ แล้วใช้วิธีการสลับทิศทางกระแสจ่ายให้ขดลวดด้วยวงจรไฟฟ้าแทนการใช้แปรงถ่าน เมื่อเทียบกับการใช้พลังงานไฟฟ้าเท่าๆกันแล้วนั้น มอเตอร์แบบ BLDC จะให้พลังงานเชิงกลและแรงบิดสูงกว่ามอเตอร์แบบ DC และ มอเตอร์ AC แบบเหนี่ยวนำ แต่ข้อเสียของมอเตอร์แบบ BLDC คือความยุ่งยากในการต่อวงจรจ่ายไฟ เพราะจะต้องมีตัวควบคุมความเร็วเพื่อการจ่ายไฟเข้าสู่มอเตอร์ (วีระชัย มาลยเวช, 2558)

นอกจากต้องคำนึงถึงแรงยกที่มอเตอร์สามารถสร้างได้แล้วยังต้องคำนึงถึงค่า KV ซึ่งเป็นค่าความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ใน 1 นาที ต่อ 1 โวลต์ มีหน่วยเป็น rpm/volt ในการเลือกใช้มอเตอร์สำหรับคอปเตอร์นั้น จะพิจารณาถึงขนาดของใบพัดเป็นหลัก เพราะยิ่งค่า KV มีค่ามากจะทำให้เกิดการหมุนของมอเตอร์ที่เร็วส่งผลให้ใบพัดหมุนเร็วขึ้น และจะมีการเสียดสีของอากาศเพิ่มมากขึ้น เพื่อป้องกันความร้อนจากการเสียดสีของอากาศสำหรับใบพัด ค่า KV จึงควรมีขนาดที่เหมาะสมกับขนาดของใบพัด (ปีทมา ชุกกลิ่น, 2557)

### 2.4 ใบพัด

ใบพัดคือตัวสร้างแรงยกโดยอาศัยการหมุนและเคลื่อนที่ของอากาศ เมื่อใบพัดมีการหมุนอย่างรวดเร็วจะทำให้อากาศเกิดการเคลื่อนที่ ซึ่งปัจจัยที่มีผลต่อการสร้างแรงยกคือ ความยาว และระยะพิชต์ของใบพัด โดยเมื่อความเร็วรอบของมอเตอร์คงที่การเพิ่มความยาวหรือระยะพิชต์ของใบพัดจะทำให้สามารถสร้างแรงยกได้มากขึ้น ในขณะที่เดียวกันก็ต้องใช้กำลังขับที่มากขึ้นเช่นกัน สำหรับคอปเตอร์ 4 ใบพัดจะมีมอเตอร์ที่หมุนทวนเข็มนาฬิกา 2 อัน และมอเตอร์ที่หมุนตามเข็มนาฬิกา 2 อัน เวลาเลือกใบพัดจึงต้องเลือกแบบให้ตรงกับทิศการหมุนของมอเตอร์ การอ่านขนาดของมอเตอร์มี 2 แบบคือ แบบ L×P×B และแบบ LLPP×B (เมื่อ L=ความยาว, P=ระยะพิชต์, B=จำนวนใบพัด, สัญลักษณ์ R คือ ใบพัดแบบตามเข็มนาฬิกา และ C คือ ใบพัดแบบทวนเข็มนาฬิกา)

สิ่งสำคัญสำหรับการเลือกใช้งานคือความเหมาะสมของใบพัดกับตัวมอเตอร์ เพราะใบพัดที่มีขนาดเดียวกันเมื่อนำไปใช้กับมอเตอร์ต่างชนิดจะส่งผลให้ได้แรงลัพท์ที่แตกต่างกัน รวมถึงต้องคำนึงว่าในการบินจริงนั้นจะใช้แรงยกที่มากกว่าการทดสอบประมาณ 5-10% จึงต้องคิดเผื่อในด้านนี้ด้วย ในส่วนของความเร็วใบพัดสูงสุดทางทฤษฎีนั้นสามารถคำนวณได้จากสมการ (Oscar, 2013)

$$\text{ความเร็วใบพัดสูงสุดทางทฤษฎี} = \text{RPM} \times \text{Pitch} \times 60 \quad (2.1)$$

## 2.5 ชุดควบคุมความเร็วรอบแบบอิเล็กทรอนิกส์ (Electronic Speed Controller, ESC)

ชุดควบคุมความเร็วแบบอิเล็กทรอนิกส์หรือ ESC เป็นตัวควบคุมความเร็วรอบของมอเตอร์ ทำให้สามารถปรับความเร็วรอบของมอเตอร์ได้ โดยจะได้รับกระแสไฟจากแบตเตอรี่เพื่อจ่ายไฟให้กับมอเตอร์ไฟฟ้าและเครื่องรับสัญญาณ ซึ่งเครื่องรับสัญญาณนี้เองเป็นตัวรับคำสั่งจากเครื่องส่งสัญญาณเพื่อจ่ายกระแสไฟฟ้ามากหรือน้อยให้มอเตอร์สามารถเร่งหรือเบรคได้ตามต้องการ อีกทั้งเมื่อกระแสไฟเข้าสู่มอเตอร์มากเกินไปชุดควบคุมความเร็วจะทำหน้าที่ตัดกระแสไฟที่จ่ายไปยังมอเตอร์ เพราะหากไม่ตัดกระแสที่เข้าสู่มอเตอร์อาจทำให้ขณะใช้งานกระแสไฟจากแบตเตอรี่หมดจนเครื่องรับสัญญาณไม่สามารถทำงานได้ จะส่งผลให้คอปเตอร์เกิดความเสียหายจากการตกขณะบิน สำหรับการเลือกใช้ชุดควบคุมความเร็วจะเลือกชุดควบคุมที่สามารถทนต่อกระแสไฟสูงสุดของแบตเตอรี่ที่จ่ายให้กับมอเตอร์ได้ (Oscar, 2013)

## 2.6 แบตเตอรี่ชนิด Li-Po

เป็นแบตเตอรี่ชนิดใหม่และทันสมัยที่สุดปัจจุบันแบตเตอรี่ชนิดนี้เป็นที่นิยมใช้สำหรับอากาศยานบังคับ เพราะมีข้อได้เปรียบกว่าทั้ง 2 แบบข้างต้นหลายอย่าง เช่น สามารถเก็บไฟฟ้าได้มากกว่าแบบ Ni-Cd ถึง 350% มีน้ำหนักเบา และอัตราของแรงดันไฟฟ้าที่ลดลงเองโดยไม่ได้ใช้งาน (Self-Discharge) มีค่าประมาณ 5% ในขณะที่แบตเตอรี่แบบ Ni-Mh มีอัตราการลดลงเองที่ 30% และของ Ni-Cd อยู่ที่ 20% แต่ก็มีข้อเสียเช่นกันคือ มีราคาที่สูง การดูแลรักษาแบตเตอรี่มีความยุ่งยากเนื่องจากสารประกอบในแบตเตอรี่สามารถเกิดการระเบิดได้จึงต้องมีความระมัดระวังเป็นพิเศษ

โดยทั่วไปแบตเตอรี่ Li-Po แต่ละเซลล์จะให้แรงดันที่ 3.7 V สำหรับการใช้งานจริงนั้นห้ามใช้จนแรงดันต่ำกว่า 3 V เพราะจะทำให้แบตเตอรี่เกิดความเสียหายได้จากความร้อน ในการใช้งานกับคอปเตอร์นั้นจะนำมาต่ออนุกรมกันประมาณ 1-4 เซลล์ และความพิเศษของแบตเตอรี่ชนิดนี้คือค่าอัตราการคายประจุ หรือ C-rating (C=ความจุจำเพาะ) เป็นค่าที่บอกถึงการคายประจุสูงสุดของแบตเตอรี่ในช่วงระยะเวลาใดๆ สำหรับการเลือกแบตเตอรี่ชนิดนี้ควรเลือกซื้อแบตเตอรี่ที่มีค่า C สูงๆ เนื่องจากการทำงานในบางครั้งอาจมีการใช้กระแสไฟสูงสุดในช่วงระยะหนึ่ง เช่น การขึ้นบินของคอปเตอร์ที่ต้องการกำลังจากมอเตอร์เยอะ ส่งผลให้ถ้ามีค่า C น้อยจะทำให้บางอุปกรณ์เกิดความเสียหายเพราะได้รับกระแสไฟที่ไม่เพียงพอได้ แต่ก็ต้องเพิ่มความระมัดระวังขึ้นเช่นกันเพราะกระแสไฟที่ได้รับขณะการคายสูงสุดนั้นมีค่าสูงมาก ถ้าไม่ระมัดระวังอาจทำให้วงจรต่างๆเกิดการลัดวงจรได้ (ปีทมา ชุกลิน, 2557)

## 2.7 ชุดควบคุมการบิน (Flight Controller)

ชุดควบคุมการบินถือว่าเป็นส่วนหลักของอากาศยานไร้คนขับประเภทต่างๆ ซึ่งทำหน้าที่คอยสั่งการควบคุมการบินให้เป็นไปตามที่ต้องการ ทั้งจากการรับคำสั่งจากการส่งสัญญาณระยะไกล และการรักษาเสถียรภาพในการบิน โดยชุดควบคุมการบินได้รับข้อมูลจากสัญญาณที่เซนเซอร์ต่างๆส่งมาแล้วทำการประมวลผลเพื่อควบคุมการบิน (นพวิจน์ แซ่ทอง และสุรสิทธิ์ ว่องวรธนะกุล, 2556)

### 2.7.1 บอร์ดควบคุม

เป็นอุปกรณ์ควบคุมและจ่ายไฟให้อุปกรณ์ระบบต่างๆที่อยู่บนคอมพิวเตอร์

### 2.7.2 GPS

GPS คือระบบระบุตำแหน่งบนพื้นโลก ย่อมาจากคำว่า Global Positioning System ซึ่งระบบ GPS ประกอบไปด้วย 3 ส่วนหลัก คือ 1. ส่วนอวกาศ NAVSTAR (Navigation Satellite Timing and Ranging GPS) มีดาวเทียม 28 ดวง ใช้งานจริง 24 ดวง อีก 4 ดวงเป็นตัวสำรอง บริหารงานโดย Department of Defense มีรัศมีวงโคจรจากพื้นโลก 20,162.81 กม. หรือ 12,600 ไมล์ ดาวเทียมแต่ละดวงใช้เวลาในการโคจรรอบโลก 12 ชั่วโมง 2. ส่วนควบคุม ประกอบด้วยสถานีภาคพื้นดิน สถานีใหญ่อยู่ที่ Falcon Air Force Base ประเทศ อเมริกา และศูนย์ควบคุมย่อยอีก 5 จุด กระจายไปยังภูมิภาคต่าง ๆ ทั่วโลก 3. ส่วนผู้ใช้งาน ผู้ใช้งานต้องมีเครื่องรับสัญญาณที่สามารถรับคลื่นและแปรรหัสจากดาวเทียมเพื่อนำมาประมวลผลให้เหมาะสมกับการใช้งานในรูปแบบต่างๆ (สิริกร ศรีมณี, 2560)

### 2.7.3 ระบบความถี่วิทยุบังคับ (Radio Control (RC))

ระบบของการควบคุมระยะไกลโดยใช้สัญญาณวิทยุ เป็นการรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ ซึ่งประกอบด้วย 3 ส่วนประกอบ คือ เครื่องส่งสัญญาณวิทยุ(Transmitter), คลื่นวิทยุ(Radio wave) และเครื่องรับสัญญาณวิทยุ(Receiver) โดยทำงานด้วยอาศัยหลักการ การเร่งประจุไฟฟ้าให้เคลื่อนที่กลับไปกลับมา ด้วยทฤษฎีแม่เหล็กไฟฟ้า การเคลื่อนที่เป็นจังหวะจากการเร่งประจุไฟฟ้านี้จะทำให้เกิดการปลดปล่อยพลังงานออกมาเป็นจังหวะ เกิดเป็นสัญญาณวิทยุ ในการควบคุมคอมพิวเตอร์สี่ใบพัด สัญญาณวิทยุควบคุมจำเป็นต้องมีจำนวนช่องสัญญาณไม่น้อยกว่า 4 ช่องสัญญาณ เพื่อรับและส่งสัญญาณควบคุมพื้นฐาน ได้แก่ Pitch, Elevation, Yaw และ Roll จำเป็นต้องมีค่ามากขึ้นหากต้องการใช้รับ-ส่งสัญญาณอื่นๆอีก (Coleman Benson, 2558)

### 2.7.4 ระบบโทรมาตร (Telemetry System)

ระบบของวิทยุที่ใช้ควบคุมของเล่นประเภทบังคับจากระยะไกลปัจจุบันเริ่มซับซ้อนขึ้น แทนที่เครื่องส่งจะใช้ส่งสัญญาณที่บังคับโดยผู้ควบคุมไปให้เครื่องรับหรือรีซีฟเวอร์อย่างเดียวเหมือนแต่ก่อน เครื่องส่งสัญญาณวิทยุก็สามารถรับสัญญาณที่ส่งมาจากที่อื่นได้เพราะว่าเป็นวิทยุที่มีทั้งภาคส่งและรับอยู่ในตัวเดียวกัน แน่แน่นอนว่าสัญญาณที่ถูกส่งมาจากที่อื่นที่ว่าก็คือ มาจากรีซีฟเวอร์ที่ถูกออกแบบให้มีภาคส่งและรับอยู่ในตัวเดียวกันเช่นกันและระบบเดียวกัน ระบบที่ว่านี้เรียกว่า ระบบโทรมาตร โดยมีจุดประสงค์เพื่อต้องการให้ผู้ควบคุมสามารถดูหรือมอนิเตอร์ข้อมูลต่างๆบนเครื่องเล่นบังคับของเราจากระยะไกลได้ เช่น แรงดันไฟของแบตเตอรี่, อุณหภูมิภายในและนอกของเครื่องเล่น, ตำแหน่งหรือพิกัดจาก GPS, ความแรงของสัญญาณที่รับได้, ความสูงขณะนั้น, ระยะห่างระหว่างผู้ควบคุมกับสิ่งที่ถูกควบคุม, ความเอียง ฯลฯ ส่วนภาคพื้นดินอาจใช้ข้อมูลที่มาทำอย่างอื่นเช่น antenna tracking (ระบบหมุนเสาอากาศตามเครื่องบิน)

### 2.7.5 ความถี่วิทยุ 2.4 GHz

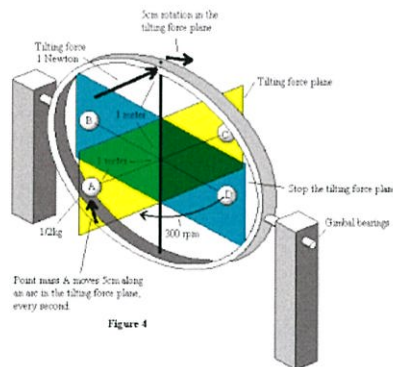
ความถี่ซึ่งเป็นนิยมมากที่สุดสำหรับการควบคุมอากาศยานไร้คนขับขนาดเล็กคือ 2.4 GHz เนื่องจาก (นิรนาม, 2560)

(1) คลื่นช่วง 2.4-2.5 GHz เป็นช่วงที่ทุกคนสามารถใช้ภายใต้กำลังส่งที่กฎหมายไทยกำหนด

(2) เป็นคลื่นที่มีความกว้างของความถี่คลื่น (Bandwidth) กว้าง ทำให้เราสามารถใช้งานคลื่นความถี่ร่วมกันได้โดยไม่เกิดการรบกวนกันของสัญญาณ และทนทานต่อการรบกวนจากสัญญาณแทรกอื่น ๆ ได้ดี

### 2.7.6 Gyroscope Sensor

Sensor Gyro จะทำหน้าที่วัดความเร็วเชิงมุม ก็คือโอเมก้าในวิชา การทำงานของ Gyroscope นั้น จะเป็นไปตามกฎของนิวตันคือ มวลจะเคลื่อนที่เป็นเส้นตรงด้วยความเร็วคงที่ ถ้าไม่มีแรงภายนอกมากระทำ เมื่อตัวใจโรหมุนไป 90 องศา จุดบนจะหมุนเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา และยังคงเคลื่อนที่ไปทางซ้าย เช่นเดียวกับจุดล่าง เมื่อหมุนขึ้นมา 90 องศา มันยังคงเคลื่อนที่ไปทางขวา ทำให้ล้อเกิดการหมุนควง ขณะที่จุดบนและจุดล่างเปลี่ยนตำแหน่งไป 90 องศา การเคลื่อนที่ในครั้งแรก จะถูกยกเลิกไป ไม่เกิดการพลิกของล้อ ดังนั้นแกนหมุนของใจโรจะเหมือนกับห้อยอยู่กับที่ตลอดเวลา ดังนั้นเมื่อเอาคุณสมบัติแบบนี้ไปสร้างอุปกรณ์วัดระดับเราก็จะสามารถรู้ได้เลยว่าอุปกรณ์ที่ติดตั้ง Gyro มันเอียงไปจากเดิมเท่าไร ซึ่งเมื่อโรเตอร์หมุนแล้ว มันก็จะคงตำแหน่งอยู่แบบนั้น กรอบที่เป็นแหวนซึ่งอยู่ล้อมรอบเมื่อเราได้ติดตั้งตัววัดระยะ วัดการหมุนก็สามารถเช็คมุมที่เปลี่ยนไปได้ (นิรนาม, 2560)



รูปที่ 2.6 Gyro Sensor/ที่มา นิรนาม (2560)

### 2.7.7 Accelerometer

Accelerometer คือ เครื่องตัววัดความเร่งของการเคลื่อนที่ของวัตถุโครงสร้างของ accelerometer จะประกอบด้วยสปริงและลูกตุ้มน้ำหนัก เมื่อมีการเคลื่อนที่ด้วยความเร่งลูกตุ้มน้ำหนักจะถูกกดไปอีกฝั่งตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ สปริงก็ทำหน้าที่ดึงกลับเข้าที่อีกครั้งเมื่อหยุดการเคลื่อนที่ การเคลื่อนที่ด้วยความเร็วคงที่คือความเร่งเท่ากับศูนย์ ค่าที่วัดได้ก็จะไม่เปลี่ยนแปลงส่วนตัวเซ็นเซอร์ภายใน ที่จะใช้ในการตรวจวัดความเร่งของลูกตุ้มที่อยู่ในระบบนั้นมีหลายชนิด เช่น เพียโซอิ

เล็กทรอนิกส์, สเตรนเกจ, ชนิดใช้แสงตรวจวัด, วัดแรงเฉือน เป็นต้น (Biomedical Engineering, 2554)

### 2.7.8 Magnetometer

เป็นเครื่องมือที่ใช้ในการวัดแรงและทิศทางของสนามแม่เหล็ก หรือจะเรียกได้ว่า ”เข็มทิศ” เข็มทิศอิเล็กทรอนิกส์มักใช้เซ็นเซอร์ตรวจจับสนามแม่เหล็ก วางในแนวราบเพื่อให้สัมพันธ์กับสนามแม่เหล็กของโลก ทำให้รู้ถึงทิศทางความเข้มของสนามแม่เหล็ก(ทิศเหนือ)อยู่เสมอขึ้นอยู่กับการวางแนวของเครื่อง เช่น ฟังก์ชันเข็มทิศในโทรศัพท์และแท็บเล็ตใช้งานได้โดยเซ็นเซอร์ที่เรียกว่า magnetometer ซึ่งใช้ในการวัดความแรงและทิศทางของสนามแม่เหล็ก ด้วยการวิเคราะห์สนามแม่เหล็กของโลกเซ็นเซอร์จะช่วยให้โทรศัพท์สามารถกำหนดทิศทางได้อย่างถูกต้องแม่นยำ เนื่องจากความหนาแน่นของฟลักซ์แม่เหล็กในอากาศเป็นสัดส่วนโดยตรงกับความแรงของสนามแม่เหล็ก magnetometer สามารถตรวจจับความผันผวนในสนามของโลกได้

ซึ่งอัตราส่วนระหว่างความหนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (B) ต่อความเข้มสนามแม่เหล็ก (H) เรียกว่า “ความซึมซาบได้ของสุญญากาศ” (Permeability of free space) หรือเรียกอีกชื่อหนึ่งว่า “ค่าคงที่ของแม่เหล็ก” (Magnetic constant) เขียนแทนด้วยสัญลักษณ์  $\mu_0$  มีค่าเท่ากับ  $\pi \times 10^{-7}$  เฮนรี/เมตร (H/m) ดังนั้นในตัวกลางที่เป็นสุญญากาศ อากาศ หรือในวัสดุที่ไม่ใช่สารแม่เหล็ก ค่าคงที่ของแม่เหล็กคือ (มนตรี เงามเดช, 2560)

$$\mu_0 = \frac{B}{H} = 4\pi \times 10^{-7} \quad (2.2)$$

โดยกำหนดให้

- $\mu_0$  = ค่าคงที่ของแม่เหล็ก (H/m)
- B = หนาแน่นของเส้นแรงแม่เหล็ก (T)
- H = ความเข้มสนามแม่เหล็ก (A/m)

### 2.7.9 Barometer

บารอมิเตอร์ เป็นเครื่องมือตรวจวัดความดันบรรยากาศ มีการใช้บารอมิเตอร์เซ็นเซอร์ไว้สำหรับการตรวจวัดความกดอากาศ สามารถให้ข้อมูลความสูงจากระดับน้ำทะเลได้ ซึ่งนับว่าเป็นข้อมูลที่มีประโยชน์มากสำหรับบางแอปพลิเคชัน โดยเฉพาะแอปพลิเคชันสำหรับการออกกำลังกายต่างๆ เช่นในการออกกำลังกายด้วยการวิ่ง การเดิน หรือการปั่นจักรยาน หากทำในระดับความสูงที่ต่างกันก็จะมีอัตราการเผาผลาญแคลอรีที่ต่างกันไปด้วยนั่นเอง นอกจากนี้ยังมีการนำมาใช้ประโยชน์ในการช่วยควบคุมความสูงและรักษาระดับการบิน และสิ่งที่มีผลต่อความแม่นยำคืออุณหภูมิและความกดอากาศ

การวัดค่าความกดดันที่เกิดจากแรงดันเครื่องวัดความดันบรรยากาศแบบดิจิตอลทำงานคล้ายกับบารอมิเตอร์ชนิดที่ไม่ใช่ของเหลวเพียงแต่ชิ้นส่วนเชิงกลถูกแทนที่ด้วยตัวแปลงสัญญาณความดันที่เรียบง่ายและการวัดระดับความสูงนั้นจะใช้ข้อมูลจาก GPS (เนื่องจากความดันบรรยากาศมีความเกี่ยวข้อง

โดยตรงกับระดับความสูง) สามารถแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความดันบรรยากาศและระดับความสูงได้ ดังนี้ (Matt Klein, 2560)

$$h = (760 - P) \times 11 \quad (2.3)$$

โดยกำหนดให้

$h$  = ความสูงจากระดับน้ำทะเล ณ จุดที่ต้องการวัด

$P$  = ความดันบรรยากาศ ณ จุดที่ต้องการวัดความสูงจากระดับน้ำทะเล

(ระดับปรอทในบารอมิเตอร์ลดลง 1 มิลลิเมตรทุกๆ ระยะความสูง 11 เมตรจากระดับน้ำทะเล)

## 2.8 กล้อง

คืออุปกรณ์ที่เก็บหรือบันทึกภาพโดยทั่วไปแล้วกล้องจะแบ่งออกเป็น 4 ประเภทได้แก่

### 2.8.1 กล้อง Compact จะแบ่งย่อยเป็น 2 แบบ

แบบแรก (ทั่วไป) ซึ่งมีขนาดเล็กกะทัดรัด ไม่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ ใช้งานง่ายส่วนใหญ่ จะมีโหมดสำเร็จรูปมาให้ เป็นอัตโนมัติทั้งหมด เช่น Nikon CoolPix A100 ,Canon Ixus190, Fujifilm FinePix XP-120

แบบสอง (ไฮเอนด์) จะมีเซ็นเซอร์ขนาดใหญ่กว่า จะได้คุณภาพของไฟล์ภาพที่ดีกว่าคอมแพคต์ด้วยกัน และดีกว่ามือถือ เพราะเซ็นเซอร์มีขนาด 1 นิ้ว ซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเซ็นเซอร์คอมแพคทั่วไปหลายเท่าตัว เช่น Canon PowerShot G7X Mark II, Sony Cybershot RX100 Mark IV และยังมีฟังก์ชันปรับตั้งค่ากล้องได้

### 2.8.2 กล้อง DSLR (Digital Single-Lens Reflex)

เป็นกล้องดิจิทัลสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว สามารถถอดเปลี่ยนเลนส์ได้ มองผ่านเลนส์ มีกระจกสะท้อนภาพ มีช่องมองภาพแบบออพติคัล ได้ตรงตามทีเห็นและก็ยังสามารถมองที่จอ LCD โดยเป็นการมองเห็นจากสถานการณ์จริง หลักๆ DSLR จะมีเซ็นเซอร์อยู่ 2 ขนาด คือ full frame และ APS-C Fullframe จะมีขนาดเซ็นเซอร์ใหญ่มาจากฟอร์แมตฟิล์ม 35 มิลลิเมตร ส่วน APS-C ที่เราเรียกว่ากล้องตัวคูณ คุณเพื่อให้เท่าขนาดของ Full frame ซึ่งเซ็นเซอร์ใหญ่ก็จะได้เปรียบเรื่องของไฟล์ภาพที่มีคุณภาพมากกว่า

### 2.8.3 กล้อง DSLR-Like

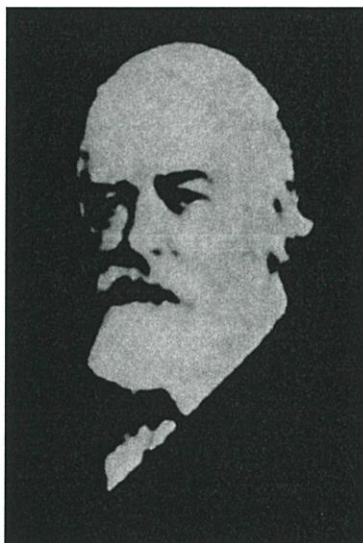
กล้องดิจิทัลที่มีรูปรูปร่างคล้าย DLSR แต่มีขนาดเล็กกว่า ปรับตั้งค่ากล้องเหมือน DSLR เพียงแต่ถอดเปลี่ยนเลนส์ไม่ได้ แต่มีขนาดซุ่มมากที่ติดมาพร้อมตัวกล้อง และยังมีเซ็นเซอร์ขนาดเท่ากับกล้อง Compact ทั่วไป

#### 2.8.4 กล้อง Mirror less (ไม่มีกระจกสะท้อนภาพ)

กล้องที่เอากระจกสะท้อนภาพออก ซึ่งไม่มีช่องมองภาพ หรือบ้างรุ่นที่มีช่องมองภาพ ไม่ได้มองผ่านเลนส์ เรียกว่าอิเล็กทรอนิกส์ วิวไฟน์เดอร์ โดยทั่วไปแล้วเซ็นเซอร์ที่ใช้มี 3 ขนาด Full frame, APS-C และ 4/3

## 2.9 การประมวลผลภาพดิจิทัล

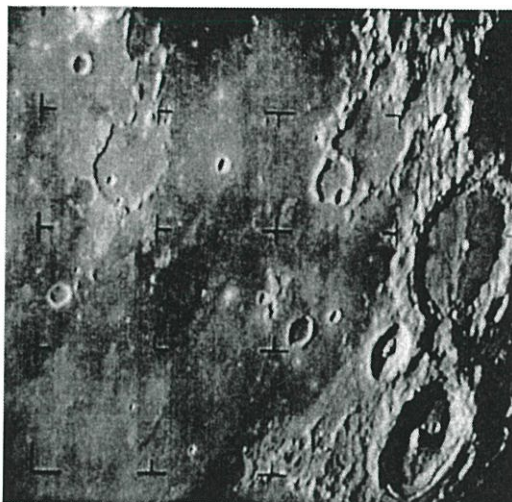
Digital image processing เป็นการประมวลผลภาพดิจิทัลเพื่อปรับปรุงภาพให้มนุษย์สามารถตีความหมายได้ง่ายขึ้น ยกตัวอย่างเช่น จากภาพถ่ายที่ไม่ชัดสามารถปรับปรุงให้ชัดขึ้น จัดการข้อมูลภาพ สำหรับการเก็บและส่งภาพ ช่วยวิเคราะห์รูปภาพอัตโนมัติ รวมถึงสร้างการมองเห็นให้กับคอมพิวเตอร์ สำหรับภาพดิจิทัลในยุคเริ่มแรกนั้น มีการส่งครั้งแรกโดยการส่งด้วยเคเบิลใต้น้ำจาก London ไป New York แล้วพิมพ์ออกที่ปลายทางด้วยเครื่องพิมพ์โทรเลขทำให้ลดเวลาในการส่งจากปกติที่ส่งทางเรือ ต่อมา มีการแปลงภาพกลับด้วยเครื่องเจาะแถบกระดาษคาร์ระดับเทา 5 ระดับ และพัฒนาต่อขึ้นไปเป็น 15 ระดับ ต่อมาก็เริ่มมีการปรับปรุงภาพโดยใช้หลักการปรับปรุงภาพและฟื้นฟูภาพจนได้ภาพที่คมชัดมากขึ้น (G. Rafael และ W. Richard, 2008)



รูปที่ 2.7 ภาพที่มีค่าระดับเทา 5 ระดับ/ที่มา Mcfarlane (1922)

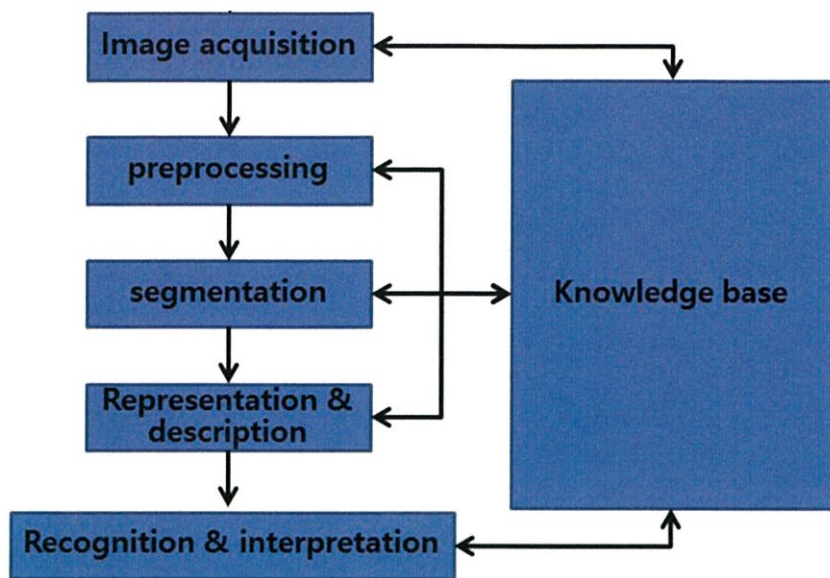


รูปที่ 2.8 ภาพที่มีค่าระดับเทา 15 ระดับ/ที่มา Mcfarlane (1929)



รูปที่ 2.9 ภาพที่มีการปรับปรุงภาพโดยการใช้หลักการปรับปรุงภาพและฟื้นฟูภาพจนได้ภาพที่คมชัด  
/ที่มา องค์กรนาซ่า (1964)

Image คือ ฟังก์ชันสองมิติ หรือ  $f(x, y)$  โดยที่  $x, y$  คือพิกัดตำแหน่งในระนาบ (spatial/plane-coordinate) และค่าของ  $f$  ที่พิกัด  $(x, y)$  ใดๆ คือความเข้มแสงหรือค่าระดับเทา (intensity/gray level) เมื่อค่า  $x, y$  และ  $f$  มีค่าแน่นอนเป็นจำนวนเต็ม เราจะเรียกว่า digital image ซึ่งขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพมีดังนี้



รูปที่ 2.10 ขั้นตอนพื้นฐานของการประมวลผลภาพ

ขั้นตอนที่ 1 การรับข้อมูลภาพ (Image Acquisition) คือการได้มาซึ่งภาพดิจิทัล โดยแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ ส่วนอุปกรณ์ตรวจจับสเปกตรัมของคลื่นแม่เหล็กไฟฟ้าต่างๆ แล้วแปลงเป็นสัญญาณไฟฟ้าโดยเป็นสัดส่วนกับระดับพลังงาน และส่วนเปลี่ยนสัญญาณไฟฟ้าให้อยู่ในรูปดิจิทัลเพื่อได้มาซึ่งภาพดิจิทัล

ขั้นตอนที่ 2 ขบวนการก่อนการประมวลผล (Preprocessing) คือขั้นตอนการปรับปรุงคุณภาพของภาพเพื่อให้เหมาะสมกับการประมวลผลให้ได้ข้อมูลตามที่ต้องการ

ขั้นตอนที่ 3 การแยกส่วนภาพ (Segmentation) คือการแบ่งภาพออกเป็นส่วนๆ ตามองค์ประกอบของภาพ โดยความสำเร็จของการประมวลผลจะขึ้นกับประสิทธิภาพของขั้นตอนการแยกส่วนภาพ ข้อมูลที่ได้ออกมาจากการแบ่งส่วนภาพจะเป็นข้อมูลดิบเป็นพิกเซลของภาพ

ขั้นตอนที่ 4 การแทน (Representation) คือการแปลงข้อมูลภาพเพื่อให้ได้รูปแบบที่เหมาะสมต่อการประมวลผล โดยจำเป็นจะต้องเลือกการแทนข้อมูลภาพด้วยบริเวณขอบเขต หากต้องลักษณะรูปร่างภายนอก มุม ส่วนโค้ง หรือการแทนข้อมูลภาพด้วยบริเวณทั้งหมด หากต้องการลักษณะข้อมูลพื้นผิววัตถุ รูปร่าง และสามารถเลือกแทนทั้งสองลักษณะได้ตามความเหมาะสมในของข้อมูล

ขั้นตอนที่ 5 การอธิบาย (Description) คือการระบุวิธีที่ใช้ในการอธิบายข้อมูลเพื่อให้ลักษณะที่เราสนใจนั้นเด่นชัดขึ้น

ขั้นตอนที่ 6 การจดจำและการตีความ (Recognition & Interpretation) คือการจดจำวัตถุจากลักษณะที่ได้จากการอธิบาย แล้วให้ความหมายกับกลุ่มของวัตถุที่จดจำไว้

เป็นการนำภาพมาประมวลผลหรือคิดคำนวณด้วยคอมพิวเตอร์ เพื่อให้ได้ข้อมูลที่เราต้องการทั้งในเชิงคุณภาพและปริมาณโดยมีขั้นตอนต่าง ๆ ที่สำคัญ คือ การทำให้ภาพมีความคมชัดมากขึ้น การกำจัดสัญญาณรบกวนออกจากภาพ การแบ่งส่วนของวัตถุที่เราสนใจออกมาจากภาพ เพื่อนำภาพวัตถุที่

ได้วิเคราะห์หาข้อมูลเชิงปริมาณ เช่น ขนาด รูปร่าง และทิศทางเคลื่อนของวัตถุในภาพ จากนั้นเราสามารถนำข้อมูลเชิงปริมาณเหล่านี้ไปวิเคราะห์ และสร้างเป็นระบบ เพื่อใช้ประโยชน์ในงานด้านต่างๆ เช่น ระบบรู้จำลายนิ้วมือเพื่อตรวจสอบว่าภาพลายนิ้วมือที่มีอยู่นั้นเป็นของผู้ใด ระบบตรวจสอบคุณภาพของผลิตภัณฑ์ในกระบวนการผลิตของโรงงานอุตสาหกรรม ระบบคัดแยกเกรดหรือคุณภาพของพืชผลทางการเกษตร ระบบอ่านรหัสไปรษณีย์อัตโนมัติ เพื่อคัดแยกปลายทางของจดหมายที่มีจำนวนมากในแต่ละวันโดยใช้ภาพถ่ายของรหัสไปรษณีย์ที่อยู่บนซอง ระบบเก็บข้อมูลรถที่เข้าและออกอาคาร โดยใช้ภาพถ่ายของป้ายทะเบียนรถเพื่อประโยชน์ในด้านความปลอดภัย ระบบดูแลและตรวจสอบสภาพการจราจรบนท้องถนนโดยการนับจำนวนรถบนท้องถนนในภาพถ่ายด้วยกล้องวงจรปิดในแต่ละช่วงเวลา ระบบรู้จำใบหน้าเพื่อเฝ้าระวังผู้ก่อการร้ายในอาคารสถานที่สำคัญ ๆ หรือในเขตคนเข้าเมือง เป็นต้น จะเห็นได้ว่าระบบเหล่านี้จำเป็นต้องมีการประมวลผลภาพจำนวนมาก และเป็นกระบวนการที่ต้องทำซ้ำ ๆ กันในรูปแบบเดิมเป็นส่วนใหญ่ ซึ่งงานในลักษณะเหล่านี้ หากให้มนุษย์วิเคราะห์เอง มักต้องใช้เวลามากและใช้แรงงานสูง อีกทั้งหากจำเป็นต้องวิเคราะห์ภาพเป็นจำนวนมาก ผู้วิเคราะห์ภาพเองอาจเกิดอาการล้า ส่งผลให้เกิดความผิดพลาดขึ้นได้ ดังนั้นคอมพิวเตอร์จึงมีบทบาทสำคัญในการทำหน้าที่เหล่านี้แทนมนุษย์ อีกทั้ง เป็นที่ทราบโดยทั่วกันว่า คอมพิวเตอร์มีความสามารถในการคำนวณและประมวลผลข้อมูลจำนวนมากในเวลาอันสั้น จึงมีประโยชน์อย่างมากในการเพิ่มประสิทธิภาพการประมวลผลภาพและวิเคราะห์ข้อมูลที่ได้จากภาพในระบบ

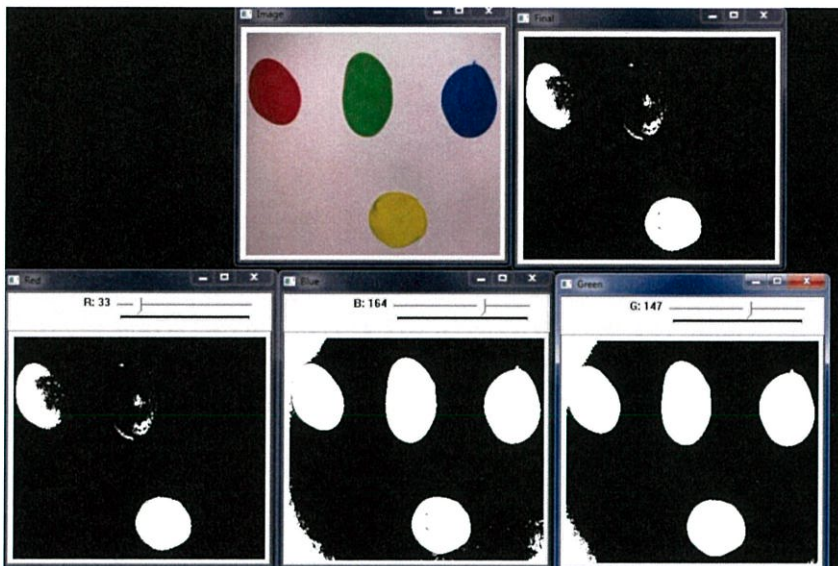
การประมวลผลสัญญาณดิจิทัล ในงานด้านต่างๆ ความนิยม ที่เพิ่มมากขึ้นก็เนื่องมาจากการข้อได้เปรียบเมื่อเปรียบเทียบกับสร้างวงจรด้วยอุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์ แต่สิ่งที่สำคัญกว่านั้นก็คือนวัตกรรมที่ประมวลผลสัญญาณดิจิทัลที่ถูกพัฒนาขึ้นโดยตัวของมันเอง มิใช่เพื่อเป็นการประมาณค่าการประมวลผลสัญญาณทางอนาลอกและนี่เป็นสิ่งที่ทำให้การประยุกต์ใช้งาน การประมวลผลสามารถทำได้ในรูปแบบที่หลากหลายและมีประสิทธิภาพการประมวลผลที่สูงขึ้นเรื่อยๆ

สรุปได้ว่าการประมวลผลภาพเป็นเทคนิคในการจัดการภาพซึ่งอยู่ในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล โดยนำอัลกอริทึมต่างๆมาใช้ในการจัดการภาพเพื่อนำมาใช้ในการวิเคราะห์และหาผลลัพธ์ของภาพตามที่ต้องการ เป็นต้น ซึ่งเทคนิคพื้นฐานที่ใช้ในการประมวลผลภาพที่เกี่ยวข้องกับงานชิ้นนี้ ได้แก่ การทำ Color thresholding Morphological Filtering และ Color Detection (อรฉัตร จิตต์โสภักตร์, 2552)

### 2.9.1 Color thresholding

การทำเทรชโฮลด์เป็นการแยกบริเวณหรือวัตถุที่เราต้องการออกมาจากสิ่งแวดล้อมหรือฉากหลัง กระบวนการ thresholding เกี่ยวข้องกับการตั้งค่าของขอบเขตที่อิงค่าสีเทาหรือความเข้มของภาพพิกเซลเทคนิคการ thresholding สีต่างๆจะถูกปรับเปลี่ยนให้เป็นไปตามระดับสีเทา หลังการปรับควรเลือกพิกเซลกำหนดให้ภาพมีค่าพิกเซลสูงๆ โดยหลักการนั้นคือการเลือกค่าเทรชโฮลด์ที่เหมาะสมเพื่อแยกค่าสีที่ต้องการเน้นออกมาจากสิ่งแวดล้อมซึ่งแบ่งออกได้เป็น 2 รูปแบบใหญ่ๆ ได้แก่การทำเทรชโฮลด์ค่าเดียวกันทั้งภาพ (Global Threshold) และการแบ่งภาพออกเป็นภาพย่อยๆซึ่งแต่ละภาพก็มีค่า

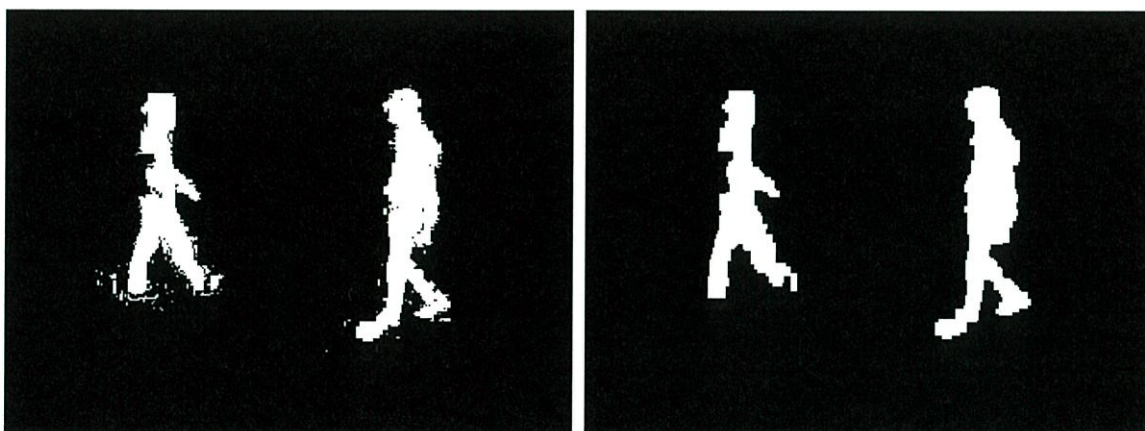
เทรชโฮลด์เป็นของตัวเอง (Local Threshold) ส่วนการทำเทรชโฮลด์ให้ได้ภาพดีและคมชัด ต้องเกิดจากการเลือกค่าที่ถูกต้องและเหมาะสมถ้าเลือกค่ามากเกินไปหรือน้อยเกินไปภาพที่ได้จะออกมาไม่คมชัดหรือทำให้รายละเอียดของภาพขาดหายไป มีความสว่างหรือมืดเกินไป อาจทำให้เกิดสิ่งรบกวน (Noise) ขึ้นในภาพทำให้ภาพไม่ชัดเจน ซึ่งกระบวนการ thresholding แสดงออกมาได้ดังนี้



รูปที่ 2.11 กระบวนการ thresholding/ที่มา G .Rafael และ W.Richard (2008)

### 2.9.2 Morphological Filtering

เป็นกระบวนการที่ปรับแต่งสิ่งรบกวนในภาพออกให้ภาพเห็นวัตถุเป็นรูปร่างที่ชัดเจนมากยิ่งขึ้น เป็นเทคโนโลยีที่ช่วยทำให้ขอบภาพส่วนต่างๆ มีความคมชัดยิ่งขึ้น ภาพเนียนกว่าภาพเดิม โดยใช้งานจาก GPU โดยตรง (Direct Compute) ในการลบเหลี่ยมมุมของ pixel ตามขอบภาพหลังจากการประมวลผลภาพออกมาแล้ว ซึ่งต่างจาก MSAA ที่เราใช้อยู่ในปัจจุบันตรงที่ MSAA จะทำการลบเหลี่ยมมุมเหล่านั้นออกในขณะที่ทำการ render ของ GPU นั้นเอง

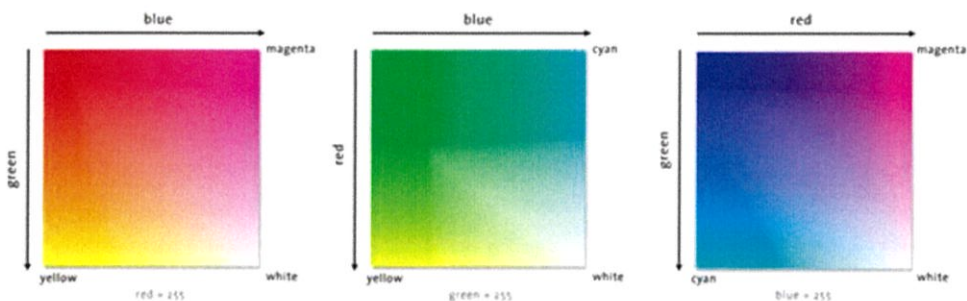


รูปที่ 2.12 กระบวนการ Morphological Filtering/ที่มา G. Rafael และ W. Richard (2008)

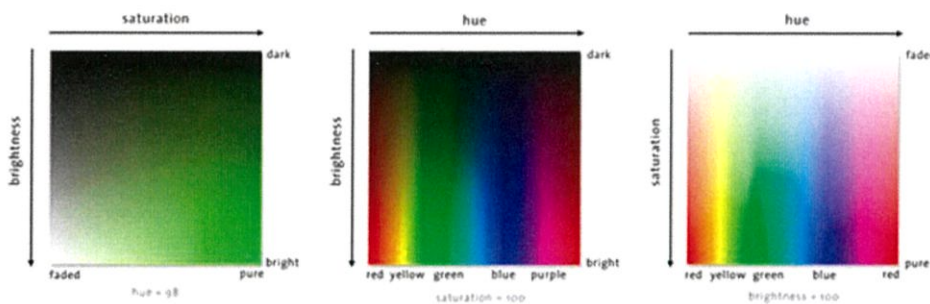
### 2.9.3 Color Detection

เป็นการตรวจจับสีที่ต้องการในภาพ โดยสามารถตั้งค่าเฉดสีที่ต้องการตรวจจับได้ ในการทำ Image processing นั้นมีการใช้รูปแบบเฉดสีเขียนโปรแกรมเพื่อใช้หาสีที่ต้องการในภาพได้ โดยพื้นฐานนั้นรูปภาพประกอบจากพิกเซล และพิกเซลก็คือการประกอบจากค่าตัวเลขมารวมกัน ตัวอย่างเช่น ถ้าตัวเลข 60 หมายถึงสีเหลือง การเขียนโปรแกรมไล่ดูภาพทีละพิกเซลว่าพิกเซลไหนมีค่า 60 บ้างสามารถทำการวนลูปตรวจสอบจากค่าที่ง่าย ๆ ได้

เราสามารถให้ RGB และ HSV color models ในการเทียบค่าสี โดยปกติคนส่วนมากนิยมใช้ RGB ซึ่งข้อเสียคือไม่สามารถบอกสีพิกเซลได้อย่างชัดเจน เมื่อเทียบกับสูตรแปลงโหมด RGB เป็นโหมด HSV แล้วดูแค่ค่า H ค่าเดียวจะบอกได้ทันทีว่าพิกเซลนี้สีอะไร เช่น H=60 คือสีเหลือง (หากอยากทราบเฉดก็สามารถดูอีก 2 ค่าประกอบ) (G. Rafael และ W. Richard, 2008)



รูปที่ 2.13 RGB color models/ที่มา G. Rafael และ W. Richard (2008)

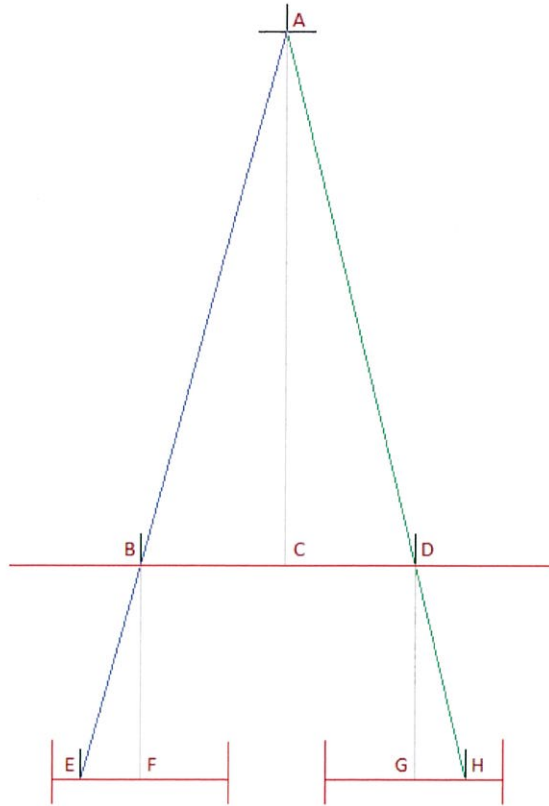


รูปที่ 2.14 HSV color models/ที่มา G. Rafael และ W. Richard (2008)



รูปที่ 2.15 ตัวอย่างภาพที่ผ่านการ Color Detection/ที่มา G. Rafael และ W. Richard (2008)

## 2.10 Stereo imaging



รูปที่ 2.16 หลักการ Stereo imaging/ที่มา W. Jang (2013)

การคำนวณหาระยะห่างจากระนาบกล้องไปยังตำแหน่งภาพด้วยทฤษฎี Stereo Imaging เราต้องทราบคุณสมบัติต่างๆของกล้องได้แก่ ขนาดของเซนเซอร์รับภาพ,ความยาวโฟกัส โดยการใช้ภาพสองภาพที่ถ่ายด้วยคุณสมบัติกล้องและภาพแบบเดียวกัน (W. Jang, 2013)  
จากภาพเราจะได้สามเหลี่ยมคล้าย

ACB กับ BFE

ACD กับ DGH

จะได้ว่า

$$d=EF+GH \quad (2.4)$$

$$d=BF \left( \frac{EF}{BF} + \frac{GH}{BF} \right) \quad (2.5)$$

$$d=BF \left( \frac{EF}{BF} + \frac{GH}{DG} \right) \quad (2.6)$$

$$d=BF \left( \frac{BC+CD}{AC} \right) \quad (2.7)$$

$$d=BF \frac{BD}{AC} \quad (2.8)$$

ดังนั้นสามารถหารระยะห่างของภาพถึงแนวเลนส์เท่ากับ AC จะได้ว่า

$$AC = \frac{BF \cdot BD}{d} \quad (2.9)$$

โดยที่

- A = ตำแหน่งภาพจริง
- AC = ระยะจากระนาบของเลนส์ไปถึงตำแหน่งภาพจริง
- B,D = ตำแหน่งของเลนส์ของกล้องทั้ง
- BF,DG = ค่าความยาวโฟกัส
- E,H = จุดที่ภาพตกที่เซนเซอร์รับภาพที่ความยาวโฟกัส

## 2.11 ซอฟต์แวร์ที่เกี่ยวข้อง

### 2.11.1 OpenCV library

โปรแกรม OpenCV 1.0 เป็น Library ในภาษา C++ และ Phyton สำหรับการพัฒนาโปรแกรมที่เกี่ยวข้องกับ Image Processing และ Computer Vision โดยสามารถพัฒนาได้ทั้งในระบบปฏิบัติการวินโดวส์ และ ระบบปฏิบัติการ Linux (Gray Bradski, 2008)

### 2.11.2 Python

Python เป็นภาษาเขียนโปรแกรมระดับสูงที่ใช้กันอย่างกว้างขวางในการเขียนโปรแกรมสำหรับวัตถุประสงค์ทั่วไป ภาษา Python นั้นสร้างโดย Guido van Rossum และถูกเผยแพร่ครั้งแรกในปี 1991 Python นั้นเป็นภาษาแบบ interpreted ที่ถูกออกแบบอ่านโค้ดได้ง่ายขึ้น และโครงสร้างของภาษานั้นจะทำให้โปรแกรมเมอร์สามารถเข้าใจแนวคิดการเขียนโค้ดโดยใช้บรรทัดที่น้อยลงกว่าภาษาอย่าง C++ และ Java ซึ่งภาษานั้นถูกกำหนดให้มีโครงสร้างที่ตั้งใจให้การเขียนโค้ดเข้าใจง่ายทั้งในโปรแกรมเล็กไปจนถึงโปรแกรมขนาดใหญ่ (Marcuscode, 2560)

Python นั้นมีคุณสมบัติเป็นภาษาเขียนโปรแกรมแบบไดนามิกส์และมีระบบการจัดการหน่วยความจำอัตโนมัติและสนับสนุนการเขียนโปรแกรมหลายรูปแบบ ที่ประกอบไปด้วย การเขียนโปรแกรมเชิงวัตถุ imperative การเขียนโปรแกรมแบบฟังก์ชัน และการเขียนโปรแกรมแบบขั้นตอน มันมีไลบรารีที่ครอบคลุมการทำงานอย่างหลากหลาย ตัวแปรในภาษา Python นั้นมีให้ใช้ในหลายระบบปฏิบัติการ ทำให้โค้ดของภาษา Python สามารถรันในระบบต่างๆ ได้อย่างกว้างขวาง CPython นั้นเป็นการพัฒนาในตอนต้นของ Python ซึ่งเป็นโปรแกรมแบบ open source และมีชุมชนสำหรับเป็นต้นแบบในการพัฒนา เนื่องจากมันได้มีการนำไปพัฒนากระจายไปอย่างหลากหลาย variant CPython นั้นจึงถูกจัดการโดยองค์กรไม่แสวงหาผลกำไรอย่าง Python Software Foundation

### 2.11.3 Mission Planner

Mission Planner เป็นสถานีควบคุมภาคพื้นดินของ เครื่องบิน คอปเตอร์ ซึ่งสามารถใช้ได้กับระบบปฏิบัติการ Windows เท่านั้น สามารถใช้เป็นระบบปฏิบัติการเบื้องต้นเพื่อกำหนดค่าหรือเป็นส่วนเสริมการควบคุมแบบไดนามิกสำหรับยานพาหนะที่เป็นอิสระได้ สามารถทราบค่าสถานะต่างๆของยานพาหนะได้ทั้งขณะก่อนบินและขณะบินได้ นอกจากนี้ยังมีหน้าจอแสดงมุมมองจำลองจากบนยานพาหนะ สำหรับผู้ควบคุมจากพื้นดิน มีการบอกพิกัดและทิศทางตำแหน่งของพาหนะขณะบิน (ArduPilot Dev Team, 2016)

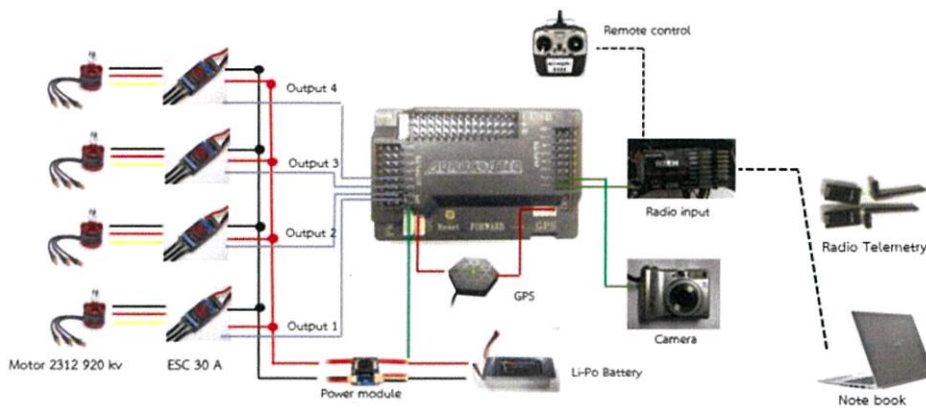
### 2.11.4 CHDK

CHDK คือ Canon Hack Development Kit เป็นโปรแกรมแฮกกล้อง canon โดยที่ทำให้กล้อง compact มีคุณสมบัติที่ทัดเทียมกับกล้อง DSLR โดยมี feature หลักๆที่เพิ่มจากตัวกล้อง compact ธรรมดา คือ สามารถถ่ายภาพ เก็บเป็น raw file ได้ (ArduPilot Dev Team, 2016)

### บทที่ 3

### วิธีและขั้นตอนการดำเนินการ

#### 3.1 แนวความคิดและหลักการทำงาน



รูปที่ 3.1 ส่วนประกอบภาพรวมระบบ

หลักการดำเนินงาน ประกอบด้วยระบบการทำงานสองส่วน คือ ส่วนคอปเตอร์ และ ส่วนการประมวลผลภาพ โดยระบบคอปเตอร์จะถูกควบคุมผ่านรีโมตคอนโทรลเลอร์สั่งการไปยังตัวรับสัญญาณวิทยุ การบันทึกภาพจะถูกสั่งการด้วยบอร์ดควบคุมหลักให้บันทึกภาพตามระยะการบินที่กำหนด จากนั้นภาพที่ได้จะถูกนำเข้าสู่ระบบการประมวลผลภาพผ่านโปรแกรมประมวลผลภาพต่อไป

##### 3.1.1 ระบบคอปเตอร์ 4 ใบพัด

มีส่วนประกอบหลักที่ใช้ในการบิน คือ ใบพัด มอเตอร์ ระบบควบคุมสัญญาณ และกลไกการขับเคลื่อนส่งผ่านกำลังจากมอเตอร์ไปสู่ใบพัดทั้งสิ้น ซึ่งกลไกในการขับเคลื่อนจะเริ่มจากการส่งสัญญาณจากวิทยุรีโมทบังคับไปยังตัวรับสัญญาณวิทยุ ที่เชื่อมต่อกับบอร์ดควบคุม APM ทางช่องรับเข้า หลังจากนั้นบอร์ดควบคุมจะทำการแปลงสัญญาณออกมาเพื่อกำหนดกระแสไฟที่เข้าสู่ตัวควบคุมความเร็วผ่านเข้าสู่มอเตอร์ ทำให้สามารถบังคับคอปเตอร์ไปยังจุดที่กำหนดได้ เพื่อให้เกิดความแม่นยำของการบังคับมากขึ้นจึงจะต้องเชื่อมต่อบอร์ดเข้ากับ GPS ทำให้ทราบค่าพิกัดของคอปเตอร์ได้ ซึ่งทั้งระบบนี้จะได้รับกระแสไฟจากแบตเตอรี่ชนิด Li-Po

##### 3.1.2 ระบบการประมวลผลภาพ



รูปที่ 3.2 การทำงานของระบบประมวลผลภาพ

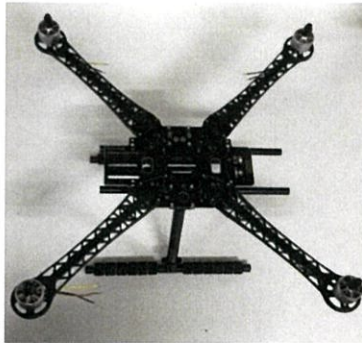
### 3.2 การสร้างคอปเตอร์สี่ใบพัด

ก่อนที่จะสร้างตัวคอปเตอร์สี่ใบพัดนั้น ต้องทราบถึงขั้นตอนวิธีการเลือกอุปกรณ์และในการสร้างคอปเตอร์สี่ใบพัดก่อน ดังนี้

- (1) กำหนดจุดประสงค์ ซึ่งเมื่อทราบจุดประสงค์แล้วจะทำให้เราสามารถเลือกเฟรมที่เหมาะสมกับการใช้งานได้
- (2) เลือกบอร์ดและอุปกรณ์ต่างๆที่จำเป็นสำหรับคอปเตอร์
- (3) ประเมินน้ำหนักโดยรวมของทั้งระบบเช่น น้ำหนักเฟรม, น้ำหนักบอร์ด, น้ำหนักเซนเซอร์ต่างๆ เป็นต้นและคิดเผื่อในด้านของที่ยังไม่สามารถเลือกได้
- (4) เมื่อทราบน้ำหนักของระบบแล้วจะทำให้สามารถคิดแรงยกและกำหนดขนาดของมอเตอร์ได้ โดยมีหลักการสำคัญคือ แรงยกจะต้องมีค่ามากกว่าน้ำหนักคอปเตอร์ เพื่อให้มีแรงยกมากพอที่จะพา คอปเตอร์ขึ้นสู่ไปในแนวตั้งได้ โดยถ้าแรงยกมีค่าน้อยก็จะทำให้การตอบสนองต่อการบินค่อนข้างช้า และเมื่อมอเตอร์มีประสิทธิภาพ 50% จะต้องยังคงมีแรงยกที่มากกว่าน้ำหนักของทั้งระบบ
- (5) เมื่อได้ขนาดได้ขนาดมอเตอร์จากการเปรียบเทียบจากตารางก็ทำให้สามารถทราบถึงขนาดของใบพัด และแบตเตอรี่ที่จะใช้ได้

#### 3.2.1 การเลือกเฟรม

สำหรับการดำเนินงานในครั้งนี้ซึ่งมีจุดประสงค์เพื่อสำรวจพื้นที่โดยการติดกล้องเข้ากับตัวลำ ทำ ให้เลือกตัวลำเป็นแบบ Aerial cinematography เพราะมีขนาดใหญ่เหมาะสำหรับการติดตั้งกล้อง โดยเฉพาะ โดยรุ่นที่เลือกใช้คือ S500-PCB Quadcopter



รูปที่ 3.3 เฟรม S500-PCB Quadcopter

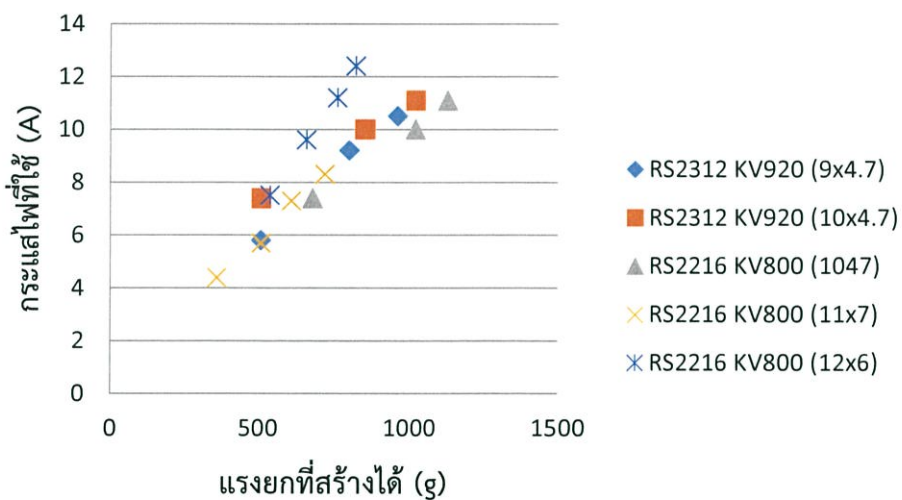
มีข้อมูลจำเพาะต่างๆดังนี้ (Rcmodelpart, 2016)

- มอเตอร์ที่ใช้เป็นแบบ Brushless motor ขนาด 2212-2216
- ใบพัดมีขนาดควรมีขนาด 10”- 12”
- แบตเตอรี่ควรมีขนาด 2200mAh-5200mAh
- ตัวควบคุมความเร็วควรเป็น 20A-40A
- น้ำหนักโครงเปล่า 454 g

### 3.2.2 วิเคราะห์แรงยกเพื่อเลือกมอเตอร์

สำหรับการวิเคราะห์เพื่อเลือกมอเตอร์นั้นจะต้องคำนึงถึงน้ำหนักของระบบโดยรวม(บอร์ด, GPS, ตัวรับส่งสัญญาณวิทยุ, เฟรม ฯลฯ) โดยมีน้ำหนักประมาณ 1700 g นอกจากนี้ที่ต้องพิจารณาถึงความสามารถในการสร้างแรงยกของมอเตอร์แล้วนั้น ยังต้องคำนึงถึงค่า KV ซึ่งเป็นความเร็วรอบการหมุนของมอเตอร์ใน 1 นาที ต่อ 1 โวลต์ มีหน่วยเป็น rpm/volt โดยทั่วไปเมื่อพิจารณาจากการใช้แล้วควรเลือกมอเตอร์ที่มีค่า KV สูง แต่เมื่อใบพัดมีขนาดใหญ่ขึ้นแต่ยังคงใช้มอเตอร์ที่มีค่า KV สูงแล้วนั้นจะทำให้ใบพัดนั้นเกิดการเสียดสีกับอากาศอาจทำให้มีการไหม้ขึ้นได้ ดังนั้นสำหรับใบพัดที่มีขนาดใหญ่จะเลือกใช้มอเตอร์ที่มีค่า KV น้อย เพื่อป้องกันความร้อนจากการเสียดสีของอากาศ (Oscar, 2013)

และขนาดของมอเตอร์ที่สามารถใช้กับเฟรมที่เลือกไว้แล้วนั้นจะมีขนาดระหว่าง 2212-2216 ยกตัวอย่างการอ่านขนาดมอเตอร์คือ ABBB “AA” คือขนาดความกว้างของสเตเตอร์ “BB” คือขนาดความสูงของสเตเตอร์ และเนื่องจากต้องใช้ใบพัดที่ถือว่ามีขนาดใหญ่คือ 10”-12” ดังนั้นจึงเลือกมอเตอร์ที่มีค่า KV



รูปที่ 3.4 ความสัมพันธ์ระหว่างแรงยกของมอเตอร์และกระแสไฟที่ใช้

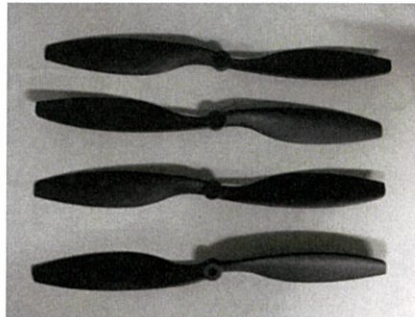
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 3.4 มอเตอร์และใบพัดที่สามารถสร้างแรงยกได้มากโดยใช้กระแสไฟที่น้อยคือมอเตอร์ Ready to sky 2312 920KV เมื่อใช้กับใบพัดขนาด 1047 ดังนั้นจึงเลือกใช้มอเตอร์รุ่นนี้



รูปที่ 3.5 มอเตอร์ RS 2312-920kv

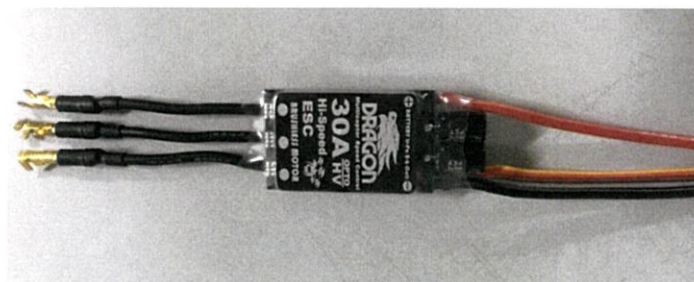
### 3.2.3 การเลือกใบพัด

พิจารณาจากรูปที่ 3.2 ใบพัดที่สามารถให้แรงยกเยอะในอัตราการใช้กระแสไฟที่น้อยโดยใช้มอเตอร์ Ready to sky 2312 920KV คือใบพัดขนาด 1047



รูปที่ 3.6 ใบพัด

จากรูปที่ 3.4 การทดสอบมอเตอร์นั้นจะเห็นว่ากระแสไฟที่ใช้ปกติมีค่าไม่เกิน 20 A แต่ในการทำงานจะมีช่วงที่ใช้กระแสไฟมีค่าเกิน 20 A ดังนั้นจึงเลือกใช้ชุดควบคุมความเร็ว motor 30A ESC ซึ่งสามารถรองรับกระแสไฟมากที่สุดของมอเตอร์ได้



รูปที่ 3.7 ชุดควบคุมความเร็ว motor 30A ESC

### 3.2.4 การเลือกใช้แบตเตอรี่

การเลือกใช้แบตเตอรี่จะพิจารณาจากกระแสไฟที่ต้องใช้เพื่อหมุนใบพัดและการกำหนดระยะเวลาการทำงานของคอปเตอร์ 4 ใบพัด โดยจะพิจารณาจากแรงยกของมอเตอร์ซึ่งจะกำหนดให้มอเตอร์มีประสิทธิภาพการทำงานที่ 80% สำหรับการยกคอปเตอร์ 4 ใบพัดที่น้ำหนักรวมทั้งหมดคือ 1,700 g ทำให้สามารถทราบค่าแรงยกที่สามารถยกคอปเตอร์ที่น้ำหนักรวมสูงสุดได้ดังนี้

$$0.8T_{Use} = W_{Total} \quad (3.1)$$

$$T_{Use} = 1700/0.8$$

$$T_{Use} = 2125 \text{ g}$$

โดยที่  $T_{Use}$  = แรงที่ใช้ยกคอปเตอร์ 4 ใบพัด มีหน่วยเป็นกรัม (g)

$W_{Total}$  = น้ำหนักรวมของคอปเตอร์ 4 ใบพัด มีหน่วยเป็นกรัม (g)

สำหรับค่าแรงยกที่คำนวณได้นั้นเป็นค่าแรงยกทั้งหมดที่มอเตอร์สามารถยกได้ ซึ่งเป็นแรงยกของมอเตอร์ทั้ง 4 ตัวรวมกันดังนั้นจะสามารถทราบค่าแรงยกของมอเตอร์แต่ละตัวได้ดังนี้

$$T_{Piece} = T_{Use}/4 \quad (3.2)$$

$$T_{Piece} = 2125/4$$

$$T_{Piece} = 531.25 \text{ g}$$

โดยที่  $T_{Piece}$  = แรงที่ใช้ยกของมอเตอร์ 1 ตัว มีหน่วยเป็นกรัม (g)

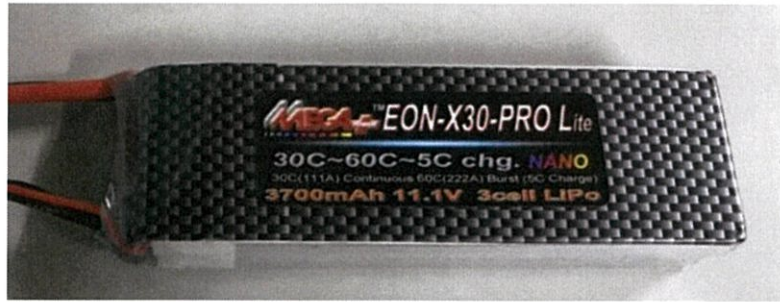
แต่สำหรับการใช้งานจริงนั้นมอเตอร์จะมีความสามารถในการทำงานอยู่ในช่วง 40-70% ของแรงยกสูงสุด ดังนั้นสามารถทราบค่าแรงยกสูงสุดของมอเตอร์โดยกำหนดให้การใช้งานอยู่ที่ 70% ได้ดังนี้

$$0.7T_{Max} = T_{Piece} \quad (3.3)$$

$$T_{Max} = 531.25/0.7$$

$$T_{Max} = 758.928 \text{ g}$$

โดยที่  $T_{Max}$  = แรงยกสูงสุดของมอเตอร์ 1 ตัว มีหน่วยเป็นกรัม (g)

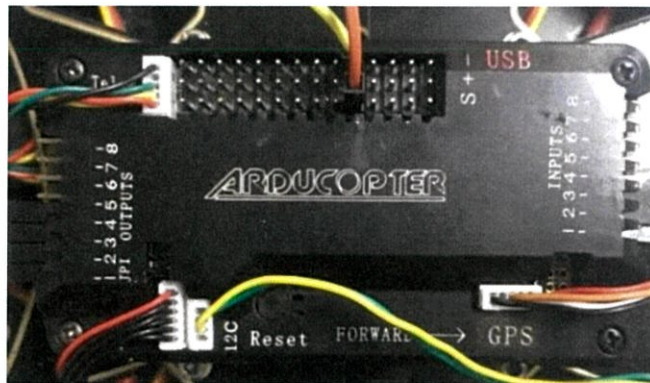


รูปที่ 3.8 แบตเตอรี่ 3 cell Li-Po ขนาด 3700 mA

### 3.2.5 อุปกรณ์สำคัญอื่นๆ

อุปกรณ์ดังต่อไปนี้เลือกใช้โดยการคำนึงถึงประสิทธิภาพที่เหมาะสมกับราคา

#### (1) Controller Board



รูปที่ 3.9 OpenPilot CC3D Flight Controller Board

#### (2) ตัวรับ-ส่งสัญญาณวิทยุ



รูปที่ 3.10 ตัวรับ-ส่งสัญญาณวิทยุความถี่ 915 MHz

## (3) วิทยุบังคับ



รูปที่ 3.11 วิทยุบังคับ Radiolink

## (4) อุปกรณ์รับ GPS



รูปที่ 3.12 GPS Radiolink

## (5) กล้อง

เลือกใช้กล้อง Canon รุ่นที่สามารถใช้งานกับ CHDK ได้เพื่อให้สะดวกต่อการปรับตั้งค่าในการควบคุมการถ่ายภาพขณะบิน งานนี้เลือกใช้กล้อง canon รุ่น A530 เป็นตัวเก็บบันทึกภาพ

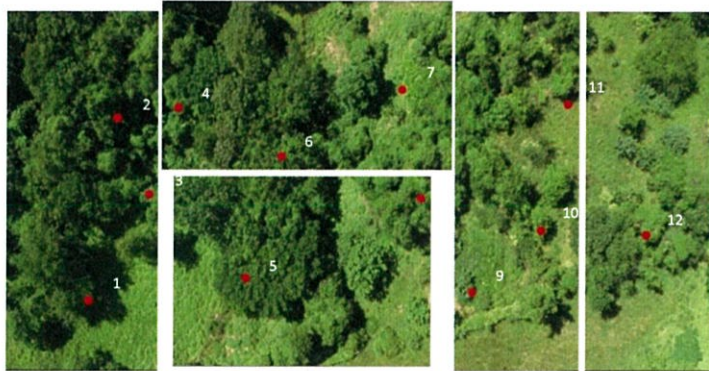


รูปที่ 3.13 กล้อง canon รุ่น A530

### 3.3 ขั้นตอนการทดลอง

#### 3.3.1 ทดลองการประมวลผลภาพโดยใช้ภาพถ่ายอ้างอิง

เลือกภาพถ่ายมุมสูงอ้างอิงจากอินเทอร์เน็ต เป็นภาพทั้งหมด 5 ภาพที่ยังไม่ผ่านการต่อภาพมีการสร้างจุดสีแดง(สิ่งแปลกปลอม)ทั้งหมด 12 จุดคละตำแหน่งกัน ทำการทดลองโดยการนำภาพมาผ่านกระบวนการต่อภาพและตรวจหาบริเวณสีแดง เพื่อทดสอบว่าโปรแกรมที่พัฒนาสามารถตรวจพบสิ่งแปลกปลอม(สีแดง) ได้หรือไม่

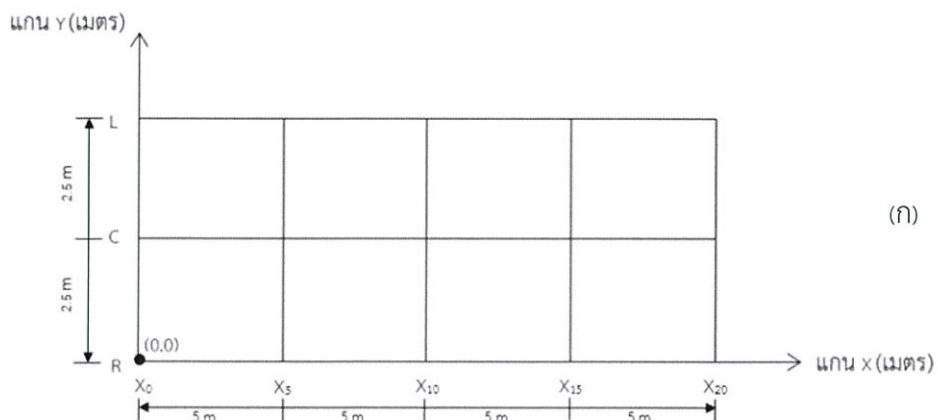


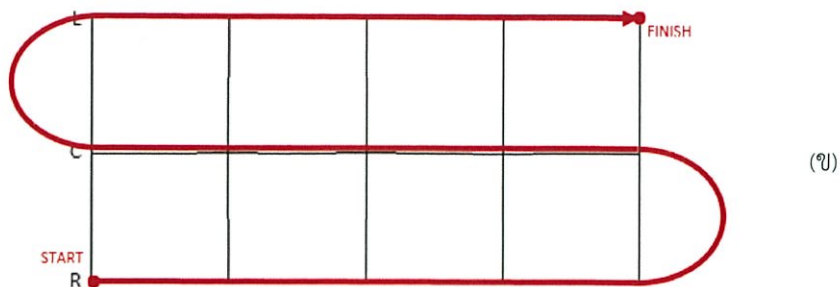
รูปที่ 3.14 ภาพถ่ายมุมสูงอ้างอิงจากอินเทอร์เน็ต/ที่มา นิรนาม (2012)

#### 3.3.2 การทดสอบการbinbinที่ภาพและการประมวลผลภาพจากภาพที่ได้

##### (1) การเตรียมสนามทดสอบและเส้นทางการbin

กำหนดให้สนามทดสอบมีพิกัดพิกัดแนวนอน (X) ทั้งหมด 5 จุด ได้แก่  $X_0, X_5, X_{10}, X_{15}$  และ  $X_{20}$  และพิกัดแนวตั้ง (Y) ทั้งหมด 3 จุด ได้แก่ จุด L, C และ R โดยในแต่ละจุดมา ระยะห่างกัน 5 เมตรในแนวนอน สำหรับเส้นทางการbinจะเริ่มต้นจากจุด Start ที่พิกัด  $(X_0, R)$  หรือ  $(0,0)$  binตามเส้นทางที่กำหนดตามรูปที่ 2.3 และสิ้นสุดที่จุด Finish ที่พิกัด  $(X_{20}, L)$





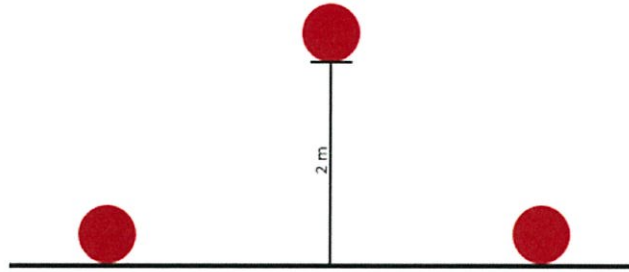
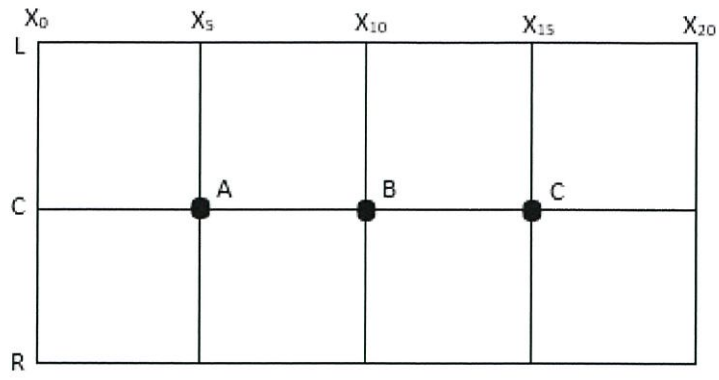
รูปที่ 3.15 สนามทดสอบ (ก) ระยะสนามทดสอบ (ข) เส้นทางสนามทดสอบ

(2) การทดสอบการสำรวจสิ่งแปลกปลอมโดยสิ่งแปลกปลอมอยู่ที่ระดับความสูงเดียวกัน ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

ทดสอบการบินสำรวจหาสิ่งแปลกปลอมบนพื้นที่ที่กำหนดโดยวางตำแหน่งสิ่งแปลกปลอมด้วยเป้าจำลองในตำแหน่งที่แตกต่างกันจุด A,B และ C (ดังรูปที่ 2.2) ที่ระดับความสูง 0,2,0 เมตร ตามลำดับ โดยบินที่ระดับความสูงเฉลี่ย 5 เมตร และทำการเก็บบันทึกภาพตลอดตามเส้นทางการบิน จากนั้นจึงนำภาพมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพคือ

- การหาประมาณค่าช่วงสีของเป้าหมายที่ต้องการแยกออกจากสภาพแวดล้อมในภาพ
- การต่อภาพเพื่อทำแผนที่บริเวณที่บินสำรวจด้วยโปรแกรมAutostitch
- การตรวจหาเป้าหมายจำลองจากภาพ ด้วยโปรแกรมที่เขียนโดย Python OpenCV Library
- การคำนวณหาตำแหน่งจริงของเป้าหมายจำลองเทียบกับจุดอ้างอิงในพื้นที่ทดสอบ หลังจาก

นั้นทำการเปรียบเทียบความคลาดเคลื่อนระหว่างตำแหน่งของเป้าหมายที่ตรวจพบกับตำแหน่งจริงจากพิกัดจริงในพื้นที่ทดสอบ



รูปที่ 3.16 พื้นที่การสำรวจสิ่งแปลกปลอม โดยสิ่งแปลกปลอมอยู่ที่ระดับ 0, 2 และ 0 เมตรตามลำดับ  
ในตำแหน่งที่แตกต่างกัน

## บทที่ 4

### ผลการทดลอง

#### 4.1 พัฒนาคอปเตอร์ 4 ใบพัดขนาดเฟรม 550 mm เพื่อถ่ายภาพสำรวจสวนผลไม้

ผลการประกอบเสร็จสิ้นสามารถบินขึ้นและลงจอดได้ ด้วยการควบคุมด้วยรีโมทวิทยุ



รูปที่ 4.1 คอปเตอร์ 4 ใบพัดและการบินทดสอบ

## 4.2 ผลการทดลองการนำภาพถ่ายอ้างอิงมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ

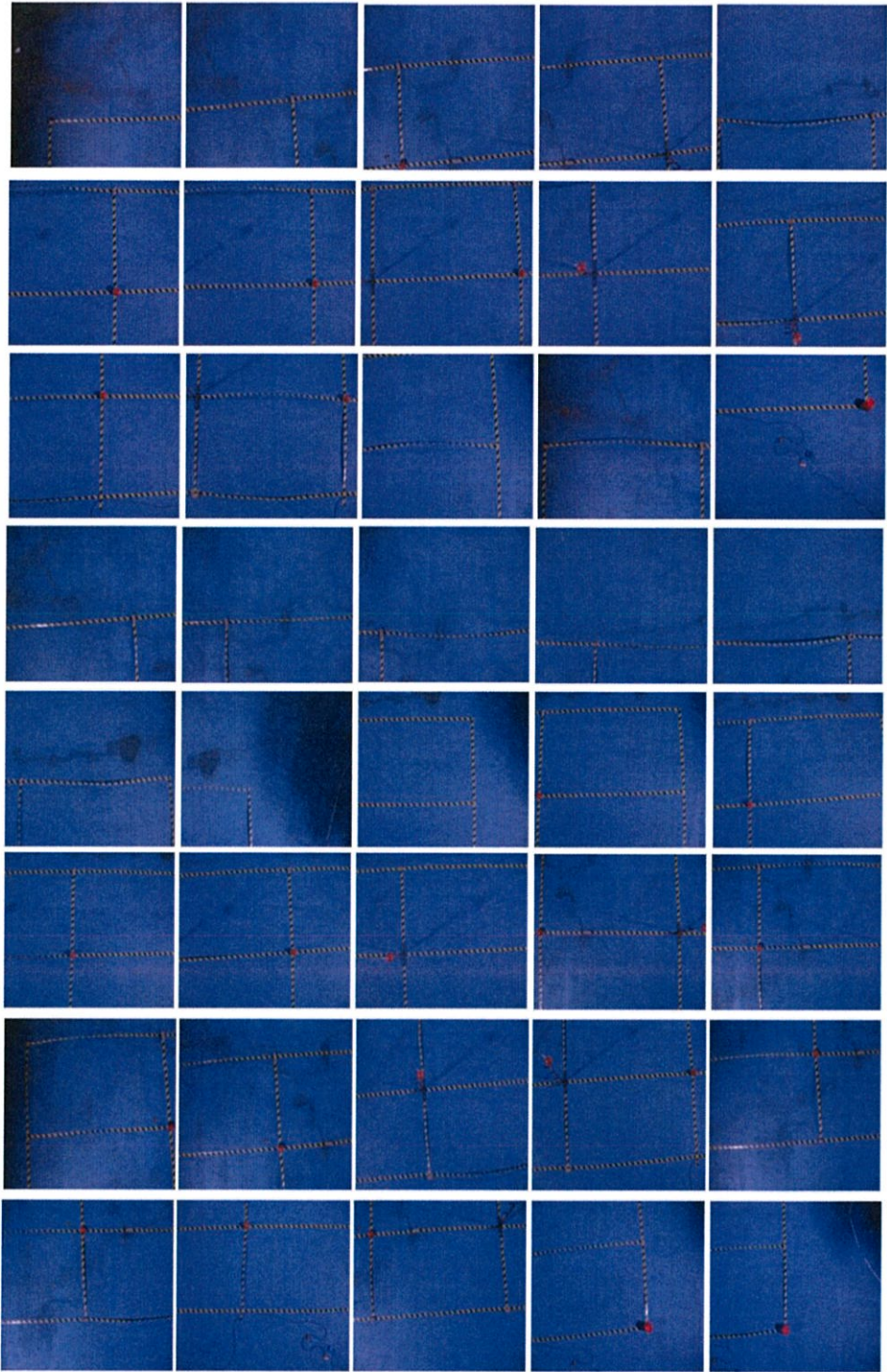
ตารางที่ 4.1 ผลการทดลองการนำภาพถ่ายอ้างอิงมาผ่านกระบวนการประมวลผลภาพ

ผลการต่อภาพ	หมายเลขจุด แปลกปลอม	ผลการประมวลผลภาพ	
		พบ	ไม่พบ
สำเร็จ	1	√	
	2	√	
	3	√	
	4	√	
	5	√	
	6	√	
	7	√	
	8	√	
	9	√	
	10	√	
	11	√	
	12	√	

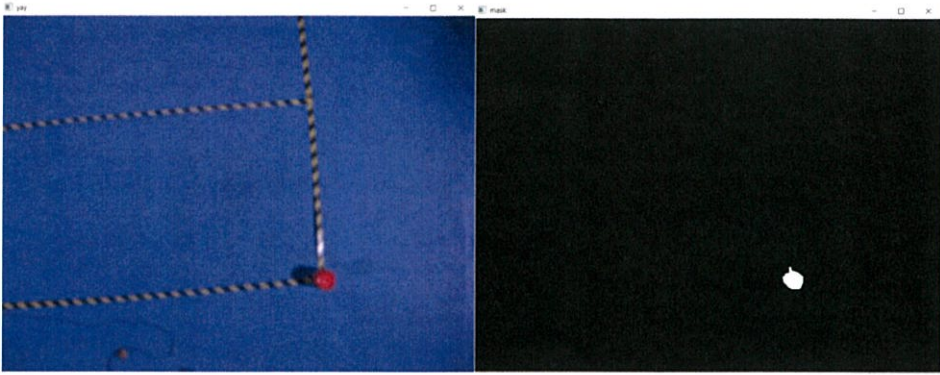


รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบจากภาพถ่ายอ้างอิง

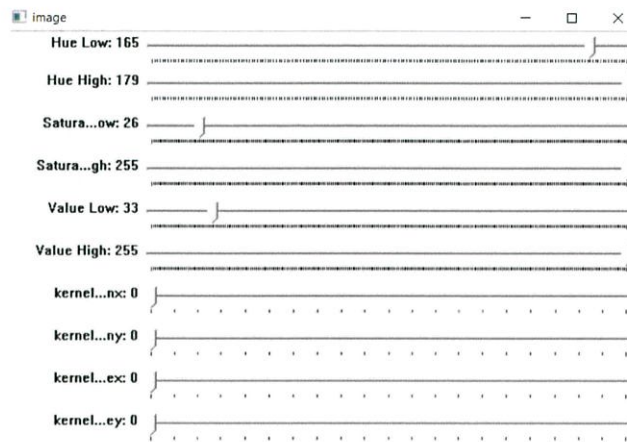




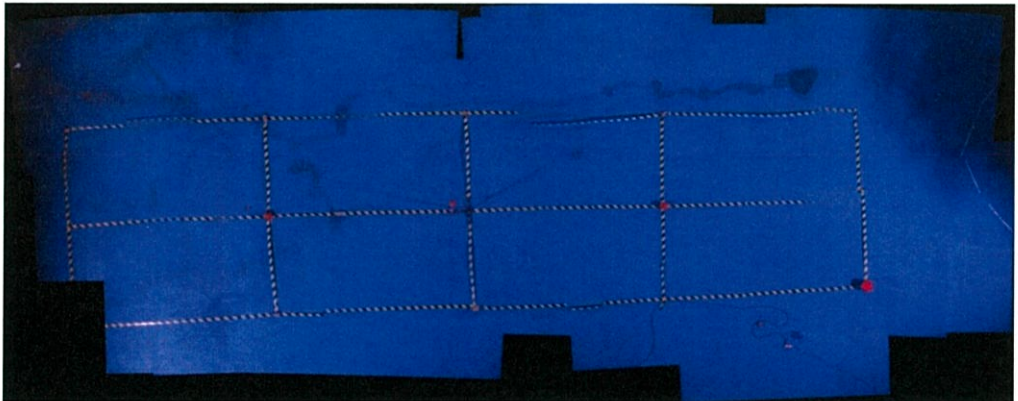
รูปที่ 4.3 ภาพถ่ายที่ได้จากการบินสำรวจพื้นที่



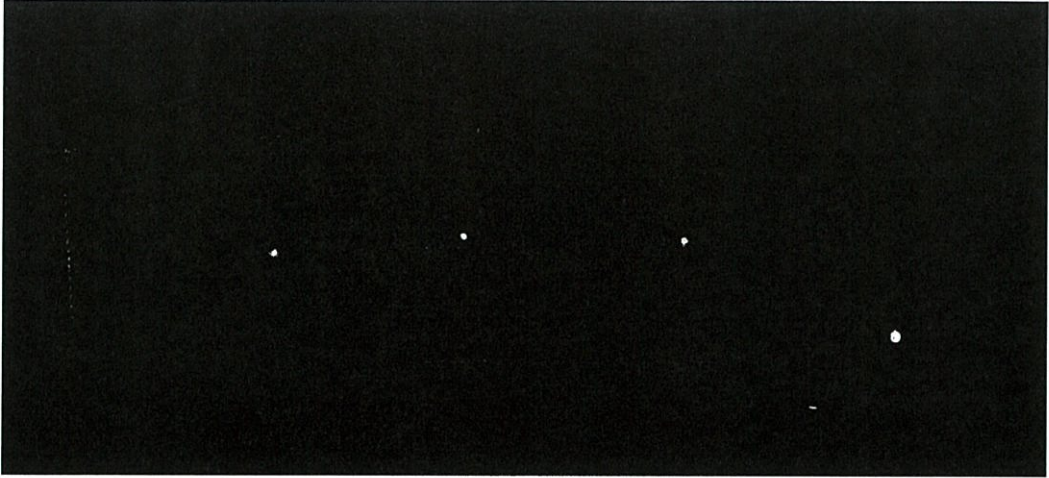
รูปที่ 4.4 การแยกช่วงของบริเวณที่สนใจ



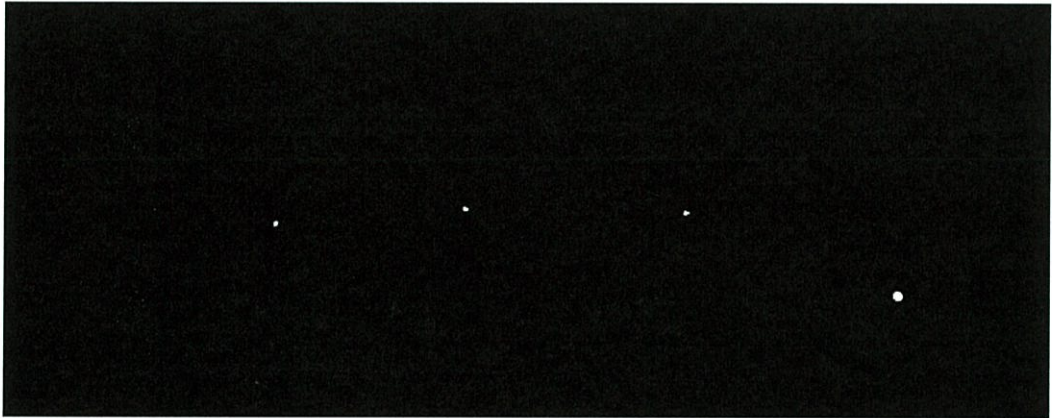
รูปที่ 4.5 ค่าสีของตัวแปร Filter



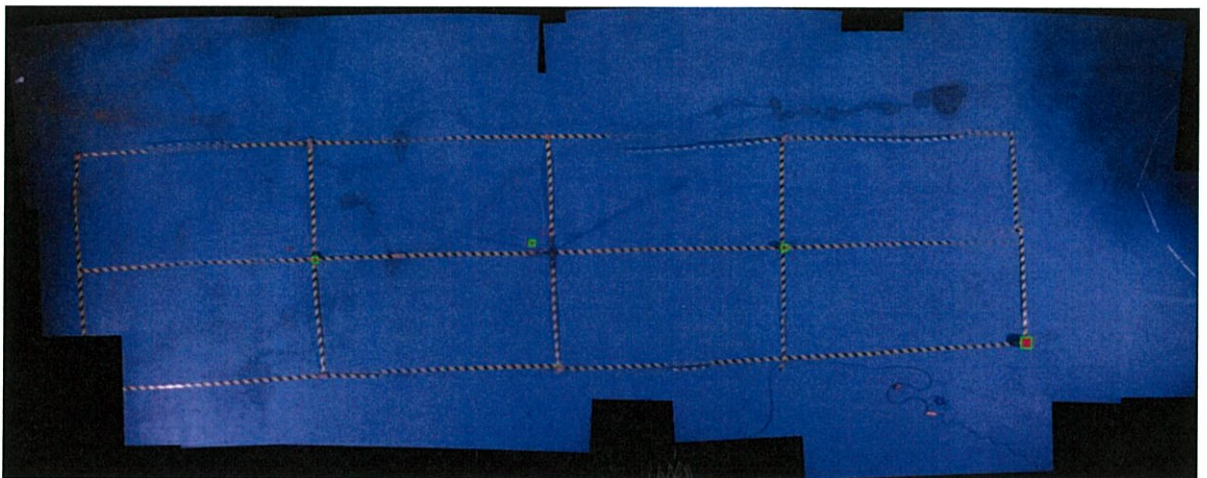
รูปที่ 4.6 ภาพที่ได้จากการต่อภาพจำนวน 40 ภาพเข้าด้วยกันเป็นภาพรวม



รูปที่ 4.7 พื้นที่ทดสอบหลังผ่านกระบวนการ Color Thresholding (ช่วงสีแดง)



รูปที่ 4.8 พื้นที่ทดสอบหลังผ่านกระบวนการ Morphological Filtering



รูปที่ 4.9 ผลลัพธ์การทำ Color Detection

## บทที่ 5

### สรุปผลการทดลอง

- 1.สามารถพัฒนาคอปเตอร์ 4 ใบพัดเพื่อการสำรวจที่มีขนาดเฟรม 550 มิลลิเมตร โดยควบคุมการบินจากรีโมตวิทย์ุ และบันทึกภาพตามตำแหน่งที่กำหนดได้
- 2.สามารถพัฒนาต้นแบบระบบประมวลผลภาพเพื่อจำแนกสิ่งแปลกปลอมและระบุตำแหน่งเป้าหมายที่ตรวจสอบ และในการทดสอบการสำรวจโดยสิ่งแปลกปลอมอยู่ที่ระดับและตำแหน่งที่แตกต่างกัน พบว่าข้อผิดพลาด Root-Mean-Square (RMSE) ของตำแหน่งในแนวแกน X มีค่า 1.04 เมตร แนวแกน Y มีค่า 0.33 เมตร แนวแกน Z หรือความสูง มีค่า 0.53 เมตร

## เอกสารอ้างอิง

- นิรนาม. 2560. ระบบวิทยุ 2.4 Spread Spectrum(FHSS,DSSS). [Online]. เข้าถึงได้จาก:  
<http://tdhobby.com>
- นิรนาม. 2560. MultiWii Pro Flight Controller w/MTK GPS Module. [Online]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://hobbyking.com>
- นพวัจน์ แซ่ท่ง และ สุรสิทธิ์ ว่องวรรัตนกุล. 2556. “ระบบควบคุมของ Quad rotor control system of quadrotor.”วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมแมคคาทรอนิกส์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าเจ้าคุณทหารลาดกระบัง
- ปีพมา ชุกกลิ่น. 2557. “การออกแบบและสร้างเครื่องต้นแบบอากาศยานสี่ใบพัดที่บังคับการเคลื่อนที่ด้วยตัวเอง.” วิทยานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมเครื่องกล, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี
- มนตรี เภาเดช. 2560. บทที่ 1 แม่เหล็กไฟฟ้าและวงจรแม่เหล็ก. [Online]. เข้าถึงได้จาก :  
<https://webcache.googleusercontent.com>
- ผศ.ดร.วีระชัย มาลยเวช. 2558. หมุนมอเตอร์ Brushless DC ไม่ (น่า) ยากอีกต่อไป. [Online].  
 เข้าถึง ได้จาก : <http://www.eng.mut.ac.th>
- สิริกร ศรีมณี. 2560. Global Positioning System : GPS ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลก.  
 [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://sites.google.com/site/phumisarsrthessastr>
- ผศ.ดร.อรฉัตร จิตต์โสภักตร์. 2552. Digital Image Processing/ ทฤษฎีการประมวลผลภาพดิจิทัล. พิมพ์ครั้งที่1. กรุงเทพฯ: สกว. กิจ พรินท์ แอนด์ มีเดีย.
- ArduPilot Dev Team. Camera Shutter Configuration in Mission Planner. [Online]. เข้าถึง  
 ได้จาก : <http://ardupilot.org>
- Biomedical Engineering. 2554. Accelerometer. [Online]. เข้าถึงได้จาก:  
<https://bme231metrology.blogspot.com>
- Coleman Benson. 2015. How to Make a Drone / UAV – Lesson 4 : Flight Controller.  
 [Online]. เข้าถึงได้จาก : <https://www.robotshop.com>
- Gray Bradski and Adrian Kaehler. 2008. Learning OpenCV. California: O'Reilly Media.
- Marcuscode. 2560. ภาษา Python. [Online]. เข้าถึงได้จาก <http://marcuscode.com>
- Matt Klein. 2016. How to Use Your Phone as a Barometer or Altimeter. [Online]. เข้าถึง  
 ได้จาก : <https://www.howtogeek.com>
- Oscar. 2013. How to choose motor for quadcopter, mini quad, multicopter. [Online].  
 เข้าถึงได้จาก : <https://oscarliang.com>
- Rafael C. Gonzalez and Richard E. Woods. 2008. Digital Image Processing 3<sup>rd</sup> Edition.  
 New Jersey: Pearson Education, Inc.

Rcmodelpart. 2016. Rcmodelpart S500 Quadcopter Fuselage Frame Kit PCB Version Carbon Fiber Landing Gear Skid. [Online]. เข้าถึงได้จาก :  
<https://www.amazon.co.uk>

W. Jang, C. Je, Y. Seo, and S. W. Lee. Structured-Light Stereo: Comparative Analysis and Integration of Structured-Light and Active Stereo for Measuring Dynamic Shape. Optics and Lasers in Engineering, Volume 51, Issue 11, pp. 1255-1264, November, 2013.

## ภาคผนวก

## ภาคผนวก ก

## ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาค่าช่วงสี

```
import cv2

import numpy as np

#optional argument

def nothing(x):

    pass

cv2.namedWindow('image')

#easy assigments

hh='Hue High'

hl='Hue Low'

sh='Saturation High'

sl='Saturation Low'

vh='Value High'

vl='Value Low'

koi='kernelOpenx'

koi='kernelOpeny'

kci='kernelClosex'

kcii='kernelClosey'

#create trackbar to find hsv value

cv2.createTrackbar(hl, 'image',0,179,nothing)

cv2.createTrackbar(hh, 'image',0,179,nothing)

cv2.createTrackbar(sl, 'image',0,255,nothing)

cv2.createTrackbar(sh, 'image',0,255,nothing)
```

```
cv2.createTrackbar(vl, 'image',0,255,nothing)
cv2.createTrackbar(vh, 'image',0,255,nothing)
cv2.createTrackbar(koi, 'image',0,20,nothing)
cv2.createTrackbar(koii, 'image',0,20,nothing)
cv2.createTrackbar(kci, 'image',0,20,nothing)
cv2.createTrackbar(kcii, 'image',0,20,nothing)

#loop
while(1):
    frame=cv2.imread("input_image",1)      #get image
    frame=cv2.GaussianBlur(frame,(5,5),0)
    #convert to HSV from BGR
    hsv=cv2.cvtColor(frame, cv2.COLOR_BGR2HSV)
    #read trackbar positions for all
    hul=cv2.getTrackbarPos(hl, 'image')
    huh=cv2.getTrackbarPos(hh, 'image')
    sal=cv2.getTrackbarPos(sl, 'image')
    sah=cv2.getTrackbarPos(sh, 'image')
    val=cv2.getTrackbarPos(vl, 'image')
    vah=cv2.getTrackbarPos(vh, 'image')
    kopi=cv2.getTrackbarPos(koi,'image')
    kopii=cv2.getTrackbarPos(koii,'image')
    kcli=cv2.getTrackbarPos(kci,'image')
    kclii=cv2.getTrackbarPos(kcii,'image')
    #make array for final values
```

```
HSVLOW=np.array([hul,sal,val])

HSVHIGH=np.array([huh,sah,vah])

kernOp=np.ones((kopi,kopii))

kernCl=np.ones((kcli,kclii))

#apply the range on a mask

mask = cv2.inRange(hsv,HSVLOW, HSVHIGH)

maskOp=cv2.morphologyEx(mask,cv2.MORPH_OPEN,kernOp)

maskCl=cv2.morphologyEx(maskOp,cv2.MORPH_CLOSE,kernCl)

res = cv2.bitwise_and(frame,frame, mask =mask)

#show image

cv2.imshow('imagex', res)

cv2.imshow('yay', frame)

cv2.imshow('mask',maskCl)

k = cv2.waitKey(5) & 0xFF

if k == 27:

    break

#clear

cv2.destroyAllWindows()
```

## ภาคผนวก ข

## ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาเป้าหมายจำลอง

```
import cv2 as cv

import numpy as np

#ThresholdBound

lowerBound1=np.array([0,100,100])

upperBound1=np.array([15,255,255])

lowerBound2=np.array([165,100,100])

upperBound2=np.array([180,255,255])

#Morphological

kernelOpen=np.ones((12,12))

kernelClose=np.ones((10,10))

#Get image

img=cv.imread("input_image",1)

#img = cv.resize(img, (0,0), fx=0.5, fy=0.5)

#BGRtoHSV

imgHSV= cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2HSV)

#Mask

mask1=cv.inRange(imgHSV,lowerBound1,upperBound1)

mask2=cv.inRange(imgHSV,lowerBound2,upperBound2)

mask=mask1+mask2

#Morphology

maskOpen=cv.morphologyEx(mask,cv.MORPH_OPEN,kernelOpen)

maskClose=cv.morphologyEx(maskOpen,cv.MORPH_CLOSE,kernelClose)
```

```
maskFinal=maskClose

#create contour

_,conts,h=cv.findContours(maskFinal.copy(),cv.RETR_EXTERNAL,cv.CHAIN_APPROX_NONE)

#cv.drawContours(img,conts,-1,(255,0,0),3)

for i in range(len(conts)):

    x,y,w,h=cv.boundingRect(conts[i])

    print("object : %d"%(i+1))

    print(x+(w/2),y+(h/2))

    cv.rectangle(img,(x,y),(x+w,y+h),(0,255,0),6)

#Show image

cv.imshow("HSV",imgHSV)

cv.imshow("Close",maskClose)

cv.imshow("Open",maskOpen)

cv.imshow("Threshold",mask)

cv.imshow("Result",img)

#clear

cv.waitKey(0)

cv.destroyAllWindows()
```

## ภาคผนวก ค

## ข้อมูลโค้ดโปรแกรมที่ใช้หาความสูงของเป้าหมายจำลอง

```
import cv2 as cv

import numpy as np

import math

def ObjDet(input_img):

#ThresholdBound

#value from first program

    lowerBound1=np.array([0,100,100])

    upperBound1=np.array([20,255,255])

    lowerBound2=np.array([160,100,100])

    upperBound2=np.array([180,255,255])

#Morpho

    kernelOpen=np.ones((15,15))

    kernelClose=np.ones((10,10))

#Get Image

    img=cv.imread(input_img,1)

#BGRtoHSV

    imgHSV= cv.cvtColor(img,cv.COLOR_BGR2HSV)

#Mask

    mask1=cv.inRange(imgHSV,lowerBound1,upperBound1)

    mask2=cv.inRange(imgHSV,lowerBound2,upperBound2)

    mask=mask1+mask2

#Morphology
```

```

maskClose=cv.morphologyEx(mask,cv.MORPH_CLOSE,kernelClose)

maskOpen=cv.morphologyEx(maskClose,cv.MORPH_OPEN,kernelOpen)

maskFinal=maskOpen

#Contour

_,conts,h=cv.findContours(maskFinal.copy(),cv.RETR_EXTERNAL,cv.CHAIN_APPROX_NON
E)

cv.drawContours(img,conts,-1,(255,0,0),3)

n=0

Sumx=0

Sumy=0

#create rectangle and find center

for i in range(len(conts)):

    x,y,w,h=cv.boundingRect(conts[i])

    cv.rectangle(img,(x,y),(x+w,y+h),(0,0,255),2)

    n=n+1

    Sumx=Sumx+(x+(w/2))

    Sumy=Sumy+(y+(h/2))

Mx=Sumx/n

My=Sumy/n

return (Mx,My)    #return (x,y)Mean

def FindDisp(X):

#for 1600x1200 image

#800=1600/2

if(X<800):

```

```

    Upx=800-X

if(X>800):

    Upx=X-800

#print(Upx)

return Upx

def FindFOV(Y):

#for 1600x1200 image

#600=1200/2

    if(Y<600):

        Y=600-Y

    if(Y>600):

        Y=Y-600

    y=Y*4.32/1200

    Ang=(math.pi/2)-math.atan(5.8/y)

    return Ang

def FindH(Dist,Ua,Ub,UAV_H,Ang):

    #const

    F=5.8    #Focal Length_mm

    Wpx=1600.0 #Sensor Width_px

    Wmm=5.75 #Sensor Width_mm

    ua=FindDisp(Ua)*Wmm/Wpx

    ub=FindDisp(Ub)*Wmm/Wpx

    print(ua,ub)

    D=ua+ub

```

```
Z=Dist*F/D

print(Z)

h=Z*math.cos(Ang)

H=UAV_H-h

return H

#main

imgL="Left_image"

imgR="Right_image"

YL=ObjDet(imgL)[1]

YR=ObjDet(imgR)[1]

XL=ObjDet(imgL)[0]

XR=ObjDet(imgR)[0]

d=input("Distance L2R : ")    #get distance from left to right images

h=input("UAV Hight : ")      #get hight of copter

print(FindH(d,XL,XR,h,FindFOV((YL+YR)/2)))  #print hight of object
```