



ใบรับรองวิทยานิพนธ์
บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

ปริญญา

วิศวกรรมการบินและอวกาศ
สาขา

วิศวกรรมการบินและอวกาศ
ภาควิชา

เรื่อง การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ
ขนาดเล็ก

Development of an Image Processing System for a Visually-Guided Landing
of a Small-Scaled Autonomous Helicopter

นามผู้วิจัย นางสาวนิตา พันเพ็ง

ได้พิจารณาเห็นชอบโดย

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก

(นาวาอากาศตรีสุคนธ์ พันธุ์เนตร, Ph.D.)

อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม

(นาวาอากาศตรีโอรุศิลป์ นิลบุล, Ph.D.)

หัวหน้าภาควิชา

(รองศาสตราจารย์สานติ วิริยะวิทย์, Ph.D.)

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์รับรองแล้ว

(รองศาสตราจารย์กัญญา ชีระกุล, D.Agr.)

คณบดีบัณฑิตวิทยาลัย

วันที่ เดือน พ.ศ.

วิทยานิพนธ์

เรื่อง

การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

Development of an Image Processing System
for a Visually-Guided Landing of a Small-Scaled Autonomous Helicopter

โดย

นางสาวนิตา พันเพ็ญ

เสนอ

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์
เพื่อความสมบูรณ์แห่งปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบินและอวกาศ)

พ.ศ. 2552

นิตา พันเพ็ง 2552: การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของ
เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก ปรินญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมการบิน
และอวกาศ) สาขาวิศวกรรมการบินและอวกาศ ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศ
อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก: นาวาอากาศตรีสุคนธ์ พันธุ์เนตร, Ph.D. 86 หน้า

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของ
เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ภาพจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่บริเวณ
ด้านล่างและขนานกับแกนแนวดิ่งของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ เพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางให้
เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติสามารถลงจอดลงบนเป้าหมายตามที่ต้องการได้ ในงานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อ
พัฒนาระบบบอกตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับความแม่นยำที่ได้จากระบบจีพีเอส
(GPS) รวมถึงเป็นระบบสำรองสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติอีกระบบหนึ่ง

ในงานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์
อัตโนมัติขนาดเล็ก ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาถึงวิธีการประมวลผลภาพ และการเชื่อมต่อเพื่อรับส่งข้อมูล
ระหว่างระบบควบคุมการบินอัตโนมัติกับระบบการประมวลผลภาพ จากนั้นทำการสร้างขั้นตอนวิธี
ขึ้นเพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางสำหรับการลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ โดยการนำภาพ
จากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติมาทำการกรองสัญญาณรบกวนออกด้วยวิธีการ
กรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ เพื่อแยกส่วนของ
ภาพเป้าหมายที่ต้องการออกมาจากส่วนภาพพื้นหลัง แล้วทำการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของ
เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอด จากนั้นส่งผลการคำนวณที่ได้ให้กับระบบ
ควบคุม การบิน อัตโนมัติด้วยค่าของระยะและทิศทาง ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาระบบ
ประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดให้กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กที่สร้างขึ้นสามารถ
คำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอดได้ จาก
การตรวจสอบประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้ กับผลการทำงานของระบบจีพีเอส ใน
ส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ และการเปรียบเทียบผลที่ได้กับไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเฉลี่ย ใน
ส่วนของทิศทาง โดยค่าทางสถิติ RMSE ในแนวแกน X ได้เท่ากับ 0.0534 เมตร ในแนวแกน Y ได้
เท่ากับ 0.0485 เมตร ทิศทางได้เท่ากับ 4.3569 องศา ที่ความสูง 3 เมตร

Nida Phunpeng 2009: Development of an Image Processing System for a Visually-Guided Landing of a Small-Scaled Autonomous Helicopter. Master of Engineering (Aerospace Engineering), Major Field: Aerospace Engineering, Department of Aerospace Engineering. Thesis Advisor: Squadron Leader Sukon Puntunan, Ph.D. 86 pages.

The objective of this work is to develop an image processing system for a visually-guided landing of a small-scaled autonomous helicopter. The CCD camera is mounted underneath an autonomous helicopter and directed downwards to the landing target (Helipad). The axis of camera is paralleled to the z-axis of an autonomous helicopter. The image from the camera is analyzed to determine the position and orientation of an autonomous helicopter with respect to the landing target. The purpose of this work is to develop a secondary positioning system which provided more accuracy compare to traditional GPS.

In this work, an image processing method and the interface between the automatic flight control and the image processing system are studied. Then, an image processing algorithm is developed to determine the position and orientation of an autonomous helicopter with respect to the landing target. Firstly, the image from the camera is filtered by using low-passed-filter. Secondly, the filtered image is sent to the process of image segmentation to extract the object image from background image. Thirdly, the object image is analyzed to determine the position and orientation of an autonomous helicopter with respect to the landing target. Finally, the x-distance, y-distance and orientation are sent to the automatic flight control system. The image processing system could accurately determine the position and orientation of an autonomous helicopter with respect to landing target. The calculated position is compared with the position obtained from the DGPS system. The calculated orientation is compared with the orientation obtained from the Gyro sensor. The RMSEs in x-axis, y-axis and orientation are 0.0534 meter, 0.0485 meter and 4.3569 degrees, respectively, at an altitude of 3 meters.

Student's signature

Thesis Advisor's signature

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณ น.ต.ดร.สุคนธ์ พันธูเณร อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์หลัก และ น.ต.ดร.โอฐศิลป์ นิลบุล อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ร่วม ที่ให้คำปรึกษาในการค้นคว้าวิจัย รวมถึงทุนสนับสนุนจากกองทุนส่งเสริมการพัฒนางานศึกษา-วิจัยของ โรงเรียนนายเรืออากาศ

ขอกราบขอบพระคุณอาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศทุกท่าน ที่ได้อบรมสั่งสอนและมอบความรู้อันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปใช้ต่อไป ขอขอบคุณเจ้าหน้าที่ประจำภาควิชาวิศวกรรมการบินและอวกาศทุกท่าน รวมถึงเพื่อนๆ ร่วมโครงการหลักสูตรนี้ ที่ได้ให้ความช่วยเหลือและให้คำแนะนำต่างๆ

ด้วยความดีหรือประโยชน์อันใดเนื่องจากวิทยานิพนธ์เล่มนี้ ขอมอบแต่คุณพ่อนิพนธ์ คุณแม่จินดาพร และครอบครัวพี่น้อง ที่ได้อบรมและให้กำลังใจผู้วิจัยมาตลอดในทุกเรื่อง

นิดา พันเพ็ง
กันยายน 2552

สารบัญ

	หน้า
สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(3)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	3
การตรวจเอกสาร	4
อุปกรณ์และวิธีการ	30
อุปกรณ์	30
วิธีการ	30
ผลและวิจารณ์	49
ผล	49
วิจารณ์	68
สรุปและข้อเสนอแนะ	73
สรุป	73
ข้อเสนอแนะ	74
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	75
ภาคผนวก	77
ประวัติการศึกษาและการทำงาน	86

สารบัญตาราง

ตารางที่		หน้า
1	ตารางแสดงความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์	47

สารบัญภาพ

ภาพที่		หน้า
1	เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติและกล้องถ่ายภาพ	4
2	ไดอะแกรมขั้นตอนการลงจอด	5
3	สถาปัตยกรรมการควบคุมระบบ	6
4	ภาพแสดงการควบคุมการเคลื่อนที่ของบอลลูน	7
5	การติดตามเป้าหมายด้วยระบบภาพของบอลลูน	8
6	แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ	9
7	แสดงภาพอุปกรณ์ที่ใช้แทนเฮลิคอปเตอร์แบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกน	10
8	แสดงการจำลองการทดสอบผลการทำงาน	11
9	ภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับการควบคุมการทิศทางการบินของ เฮลิคอปเตอร์	13
10	ระบบแกนของเฮลิคอปเตอร์	13
11	โครงสร้างของกล้องวิดีโอ	15
12	โครงสร้างการทำงานของกล้องแบบ CCD	15
13	แสดงการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล	16
14	โคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียนของสี RGB	17
15	ชั้นของภาพ RGB	17
16	ภาพผลลัพธ์จากการกรองข้อมูล	19
17	ตัวอย่างภาพต้นแบบ (Original Image) และเคอร์เนล (Kernel) ที่ใช้กรอง ข้อมูล	20
18	ภาพผลลัพธ์การกรองข้อมูล	21
19	แสดงภาพตัวอย่างกราฟฮิสโทแกรมและการหาค่าเทรสโฮลด์	22
20	ภาพแสดงศูนย์กลางของรีเจียน	24
21	ภาพแสดงแกนเอกของรีเจียน	25
22	ภาพแสดงแกนโทของรีเจียน	25
23	ภาพแสดงทิศทางของรีเจียน	26
24	ระบบดาวเทียมจีพีเอส	27

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
25	ระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง	28
26	การทำงานของระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง	29
27	เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก	31
28	แผนภาพแสดงระบบการทำงานโดยรวม	32
29	ขั้นตอนการประมวลผลภาพ	34
30	ขั้นตอนย่อยการแปลงจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ	35
31	ขั้นตอนย่อยการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของเป้าหมาย	35
32	ขั้นตอนย่อยการคำนวณหาทิศทางของเป้าหมาย	36
33	ผลลัพธ์จากขั้นตอนการจับรูปภาพ	37
34	แสดงเคเลนเนลที่ใช้กรองข้อมูล	37
35	การเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์การกรองข้อมูล	38
36	ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแปลงเป็นภาพระดับสีเทา	39
37	กราฟฮิสโทแกรมแสดงช่วงค่าความกระจายสีของภาพระดับสีเทา	39
38	ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแปลงเป็นภาพขาวดำ	40
39	ผลลัพธ์ในขั้นตอนของการหาศูนย์กลางและทิศทางของเป้าหมาย	42
40	แสดงมุมมองของกล้อง	42
41	แผนภาพบล็อกการทำงานของระบบเพื่อคำนวณค่าระยะซดเซช	43
42	แสดงมุมมองของกล้องที่มีการเคลื่อนที่ตามมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ	44
43	อุปกรณ์รับสัญญาณดีจีทีเอสและสายอากาศ	45
44	การจำลองการทดสอบภายในห้องทดลอง	49
45	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย	50
46	กราฟผลการทดสอบโดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X ภายในห้องทดลอง	51
47	กราฟผลการทดสอบ โดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y ภายในห้องทดลอง	52

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
48	อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหมุนเป้าหมาย	53
49	กราฟผลการทดสอบโดยการหมุนเป้าหมายภายในห้องทดลอง	53
50	กราฟผลการทดสอบแสดงระยะที่ได้รับผลกระทบจากมุมเงย ด้วย ค่าของ X Distance และ X Distance Compensate	55
51	กราฟผลการทดสอบแสดงระยะที่ได้รับผลกระทบจากมุมเอียงตัว ด้วยค่าของ Y Distance และ Y Distance Compensate	57
52	การจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลอง	59
53	กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบ ระยะระหว่าง X Distance, X Distance Compensate และ GPS Latitude Distance	60
54	กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบ ระยะระหว่าง Y Distance, Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance	62
55	กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบ ทิศทางระหว่าง Orientation กับ ไจโรเซนเซอร์ (มุมเอียง (Yaw))	63
56	การทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก	64
57	กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ด้วยระยะทาง การเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X	65
58	กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ด้วยระยะทาง การเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y	66
59	กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แสดงทิศทางของ เป้าหมาย	68
60	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่าง X Distance Compensate และ GPS Latitude Distance	69
61	กราฟแสดงค่าความแตกต่างของระยะทางการเคลื่อนที่ตาม แนวแกน X	70

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่		หน้า
62	กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่าง Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance	70
63	กราฟแสดงค่าความความแตกต่างของระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y	71
64	กราฟแสดงค่าความความแตกต่างของทิศทาง	72

การพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของ
เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

Development of an Image Processing System
for a Visually-Guided Landing of a Small-Scaled Autonomous Helicopter

คำนำ

ในปัจจุบันเทคโนโลยีด้านอากาศยานไร้คนขับได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเริ่มต้นจากยานพาหนะควบคุมระยะไกล (Remotely Piloted Vehicles) มาเป็นอากาศยานที่ไร้คนขับ (Unmanned Aerial Vehicle) ซึ่งในปัจจุบันได้มีการพัฒนาให้อากาศยานไร้คนขับมีสมรรถนะที่สูงขึ้น และมีการนำมาใช้งานกันอย่างแพร่หลาย โดยเฉพาะในงานที่มีความเสี่ยงอันตรายแทนมนุษย์

เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติจัดเป็นอากาศยานไร้คนขับชนิดหนึ่ง ซึ่งสามารถนำมาใช้ในการกิจต่างๆ เช่น การบินลาดตระเวนและหาตำแหน่งเป้าหมาย การบินเพื่อสำรวจและทำแผนที่ การค้นหาและช่วยเหลือผู้ประสบภัย รวมทั้งการเข้าทำการโจมตีฝ่ายตรงข้าม เป็นต้น และลักษณะเฉพาะทางการบินที่สำคัญอย่างหนึ่งของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ คือ ความสามารถในการบินลงจอดในแนวดิ่ง การควบคุมการลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ นั้นจำเป็นต้องรู้ตำแหน่งและทิศทางที่ต้องการลงจอด โดยข้อมูลที่ใช้ในการลงจอดดังกล่าวสามารถได้จากเซนเซอร์หลายๆ ชนิด เช่น ระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS) และ เข็มทิศ (Compass) เป็นต้น แต่สำหรับการลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบนเป้าหมายที่ สามารถเคลื่อนที่ได้ อย่างเช่น การลงจอดบนเรือบรรทุกเครื่องบินที่ต้องการการลงจอดด้วยความแม่นยำสูงมากๆ นั้น การใช้ข้อมูลจาก GPS เพียงอย่างเดียวเพื่อควบคุมการลงจอดแบบอัตโนมัติอาจไม่เพียงพอ เนื่องจากการใช้งานระบบ GPS มีข้อจำกัดในเรื่องสภาพแวดล้อมหรือสภาพอากาศซึ่งเป็นปัจจัยสำคัญในการได้มาของข้อมูล เช่น เมื่อสภาพอากาศในบริเวณรับสัญญาณมีความหนาแน่นของกลุ่มเมฆหรือเมฆฝนจะส่งผลให้การรับสัญญาณมีการหน่วง (Delay) เกิดขึ้นหรือไม่สามารถรับสัญญาณได้ เป็นต้น

เพื่อเป็นการเพิ่มความสามารถในการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ งานวิจัยนี้จึงต้องการพัฒนาระบบประมวลผลภาพ (Image Processing System) สำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์

อัตโนมัติ ขนาดเล็ก เพื่อ กำหนดหาตำแหน่งและทิศทางสำหรับการบินลงจอด บนเป้าหมาย (Helipad) ตามที่ต้องการได้ ในงานวิจัยมีจุดมุ่งหมายเพื่อพัฒนาระบบบอกตำแหน่งที่มีความแม่นยำสูงขึ้นเมื่อเทียบกับความแม่นยำที่ได้จากระบบจีพีเอส (GPS) รวมถึงเป็นระบบสำรองสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติอีกระบบหนึ่ง และเพื่อเป็นการพัฒนาขีดความสามารถของอากาศยานไร้คนขับ

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษาและพัฒนาวิธีการวิเคราะห์การตรวจจับภาพด้วยการประมวลผลภาพ (Image Processing)
2. เพื่อพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก
3. เพื่อคำนวณหาระยะ (X Distance, Y Distance) และทิศทาง (Orientation) ในการปรับเปลี่ยนเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กให้อยู่ในตำแหน่งและทิศทางการบินลงจอด (Landing Position)

ขอบเขตการวิจัย

1. ใช้ภาพสัญลักษณ์ของ Helipad ในการตรวจจับภาพเพื่อระบุตำแหน่งในการลงจอด
2. เริ่มการประมวลผลภาพเมื่อมีสัญลักษณ์ของ Helipad อยู่ในมุมมองของกล้อง และระดับความสูงของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กในขณะที่ทำการบินมีค่าคงที่ โดยการใช้ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ
3. กล้องที่ใช้ในการจับภาพติดตั้งไว้บริเวณด้านล่างและขนานกับแกนแนวตั้งของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก โดยกล้องจะตั้งฉากกับพื้นค่ามุมเอียงของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กมีค่าเป็นศูนย์

การตรวจเอกสาร

1. เอกสารงานวิจัยที่ผ่านมา (Literature Review)

งานวิจัยเพื่อพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดให้กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ นั้น มีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องโดยมีอยู่หลายงานวิจัยด้วยกันและแตกต่างกันไปในขั้นตอนและกรรมวิธีการสร้าง ดังนั้นจึงนำเสนองานวิจัยที่เกี่ยวข้องและใช้เป็นเอกสารอ้างอิงบางส่วนตามรายละเอียดต่อไปนี้

1.1 งานวิจัยเรื่อง Visually-guided Landing of an Unmanned Aerial Vehicle

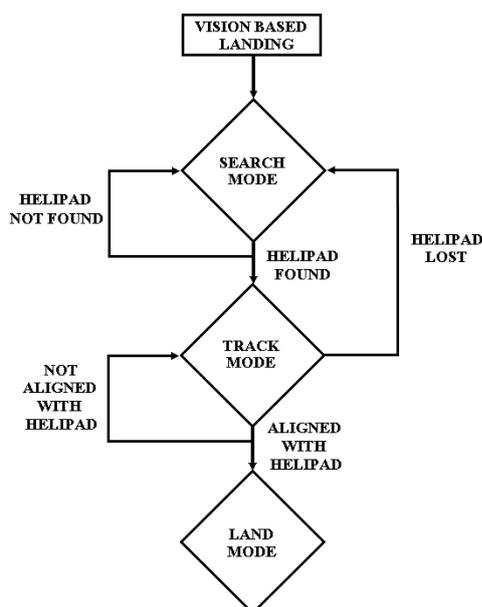
ในงานวิจัยเรื่อง Visually-guided Landing of an Unmanned Aerial Vehicle (Srikanth *et al.*, 2003) เป็นการควบคุมระบบการลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบนเป้าหมาย โดยใช้ภาพเป้าหมายที่ได้จากการตรวจจับของกล้อง วิดีโอ ร่วมกับระบบดาวเทียมจีพีเอส ในการกำหนดการลงจอดให้กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ภาพจากกล้องวิดีโอถูกใช้ในการ ค้นหาตำแหน่งเป้าหมายและการติดตามเป้าหมาย กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพจะถูกติดตั้งอยู่บริเวณ ด้านล่างของเฮลิคอปเตอร์ ดังได้แสดงตามภาพที่ 1



ภาพที่ 1 เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติและกล้องถ่ายภาพ

ที่มา: Srikanth *et al.* (2003)

กระบวนการสำคัญที่ใช้ในการค้นหาภาพเป้าหมาย การติดตามภาพเป้าหมาย และการควบคุมให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติลงจอดบนเป้าหมายได้อย่างถูกต้องนั้น ได้ จากการพิจารณาภาพที่ได้รับจากกล้อง วิดีโอ แล้วนำภาพนั้นมาผ่านการประมวลผลภาพเพื่อการกำหนดตำแหน่งของเป้าหมายในลงจอด แล้วจึงเข้าสู่ขั้นตอนการลงจอด ดังได้แสดงไคอะแกรมขั้นตอนการลงจอด ตามภาพที่ 2



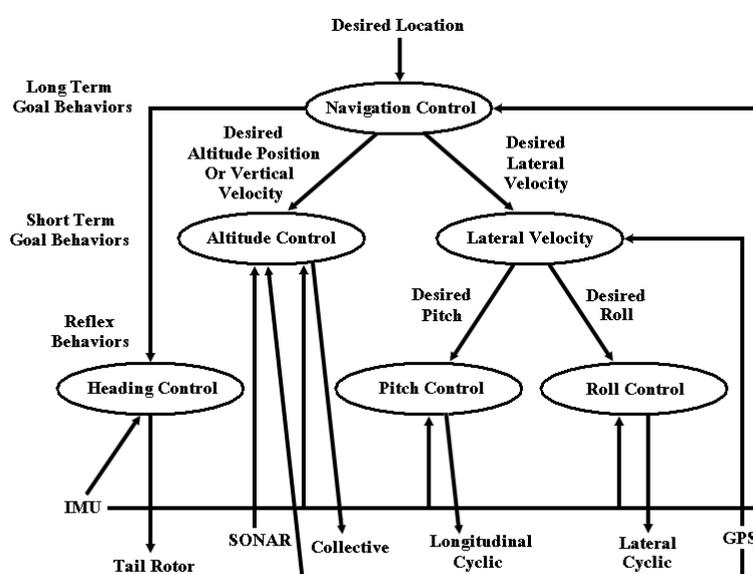
ภาพที่ 2 ไคอะแกรมขั้นตอนการลงจอด

ที่มา: Srikanth *et al.* (2003)

จากไคอะแกรมตามภาพที่ 2 ระบบการทำงานเริ่มต้นกระบวนการด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยจะทำการ ค้นหาภาพเป้าหมายที่จะทำการลงจอด (Search Mode) เมื่อพบเป้าหมายแล้วระบบจึงทำการติดตามเป้าหมาย (Track Mode) แล้วควบคุมตำแหน่งและทิศทางให้เฮลิคอปเตอร์ลงจอด (Land Mode) แต่ในกรณีที่เป้าหมายไม่อยู่ในมุมมอง ของกล้องเกิดการสูญหายระหว่างการติดตามเป้าหมาย ระบบจะวน กลับไปยัง ขั้นตอนการ ค้นหาภาพเป้าหมาย ใหม่อีกครั้ง และเมื่อพบเป้าหมายแล้ว จึงเข้าสู่ขั้นตอนของการติดตามเป้าหมาย และการลงจอดต่อไป โดยระบบ จะทำซ้ำเช่นนี้เพื่อให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติสามารถติดตามเป้าหมายและทำการลงจอดบนเป้าหมาย เสร็จสิ้นกระบวนการตามไคอะแกรมขั้นตอนการลงจอด

กระบวนการวิเคราะห์ภาพด้วยการประมวลผลภาพเริ่มต้นจากการตรวจจับภาพโดยใช้วิธีการถ่ายภาพด้วย กล้องวิดีโอ ที่ติดอยู่กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แล้วนำภาพที่ได้มาทำการแปลงจากภาพสี (Color Image) ให้เป็นภาพขาวดำ (Binary Image) และทำการกรอง (Filtering) สัญญาณรบกวนออกจากภาพ โดยการทำให้ค่าต่ำกว่าเกณฑ์ (Threshold) เพื่อให้ได้ภาพเป้าหมายที่ชัดเจน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ (Segmentation) ซึ่งเป็นการดึงเอาข้อมูลของภาพที่ต้องการออกจากฉากหลัง แล้วคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางในการลงจอดต่อไป

ระบบควบคุมเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติอาศัยระบบนำร่อง (Navigation Control) มาใช้เพื่อช่วยในการควบคุมทิศทาง (Heading Control) ควบคุมระดับความสูง (Altitude Control) และควบคุมการเคลื่อนที่ทางขวาง (Lateral Velocity) ดังได้แสดงรายละเอียดสถาปัตยกรรมการควบคุมระบบตามภาพที่ 3



ภาพที่ 3 สถาปัตยกรรมการควบคุมระบบ

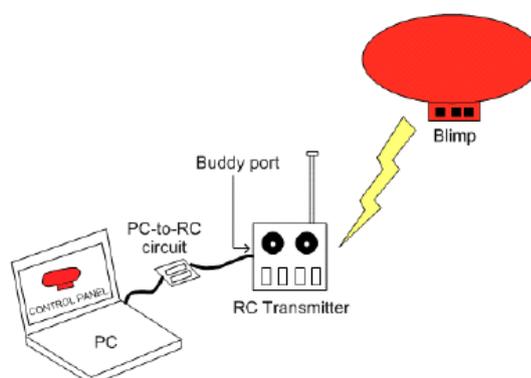
ที่มา: Srikanth *et al.* (2003)

ผลจากการวิจัยพบว่าเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติสามารถค้นหาและติดตามเป้าหมายเพื่อทำการลงจอดได้ โดยในการวิจัยพบว่ามีคามผิดพลาดในเรื่องของทิศทาง (Orientation) เฉลี่ย 5 องศา และมีความผิดพลาดในเรื่องของระยะทาง (Distance) เฉลี่ย 28 เซ็นติเมตร จากทิศทางและการเคลื่อนที่จริงของเป้าหมายเทียบกับที่ระบบประมวลผลได้ โดยปัญหาสำคัญที่ทำให้ผลที่ได้เกิดความ

ผิดพลาดคือประสิทธิภาพของกล้องที่ใช้ในงานวิจัยยังไม่เพียงพอ กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพมีการสั่นไหวสาเหตุเนื่องมาจากการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ รวมถึงสภาวะแวดล้อม เช่น แสงและลมที่เกิดขึ้นขณะทำการทดสอบ ดังนั้นการทำงานในอนาคตจึงมีแนวทางในการนำกล้องแบบกิมบอล (Gimbal) มาใช้เพื่อป้องกันการสั่นไหว และการนำค่ามุมเอียงตัว (Roll) และมุมเงย (Pitch) จากเครื่องวัดท่าทางการบิน (IMU : Inertial Measurement Unit) รวมเข้ากับระบบเพื่อลดผลกระทบเหล่านั้นซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานให้มากขึ้น

1.2 งานวิจัยเรื่อง A Competition to Identify Key Challenges Unmanned Aerial Robots in Near-Earth Environments

ในงานวิจัยเรื่อง A Competition to Identify Key Challenges Unmanned Aerial Robots in Near-Earth Environments (Green *et al.*, 2005) เป็นการศึกษาวิธีการติดตามเป้าหมายด้วยระบบภาพ ในงานวิจัยนี้ได้นำบอลูนมาใช้เพื่อทดสอบ ขั้นตอนวิธี (Algorithm) ที่พัฒนาขึ้น โดยใช้ภาพจากกล้องที่ติดอยู่กับบอลูน ในการติดตามเป้าหมาย โดยในงานวิจัยได้ทำการทดสอบ ขั้นตอนวิธีภายในห้องทดลอง ส่วนของการควบคุมการเคลื่อนที่ของบอลูน (Blimp) เป็นการควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์ผ่านวงจรแปลงสัญญาณดิจิทัลเป็นสัญญาณวิทยุ (PC to RC Circuit) เพื่อส่งไปยังเครื่องส่งสัญญาณบังคับวิทยุ (RC Transmitter) ซึ่งเป็นการควบคุมการเคลื่อนที่ในระยะที่ จำกัด ดังได้แสดงตามภาพที่ 4



ภาพที่ 4 ภาพแสดงการควบคุมการเคลื่อนที่ของบอลูน

ที่มา: Green *et al.* (2005)

กล้องวิดีโอที่ถูกติดตั้งไว้บริเวณด้านล่างของตัวบอลูนทำหน้าที่ในการถ่ายภาพเส้น (Line Follow) ซึ่งเป็นเป้าหมายบนพื้น จากนั้นส่งภาพ (Images) ที่ได้จากมุมมองของกล้องไปผ่านกระบวนการประมวลผลด้วยภาพ โดยการแปลงจากภาพสีให้เป็นภาพขาวดำแล้วทำการคำนวณหาทิศทางเพื่อสั่งให้บอลูนเคลื่อนที่ติดตามเส้นเป้าหมาย ค่าที่ได้จากการประมวลผลภาพใช้เพื่อควบคุมการหมุนบอลูนให้กลับไปยัง แนวทางของ เส้นเป้าหมายเพื่อติดตาม การเคลื่อนที่ต่อไป ระบบควบคุมการเคลื่อนที่ของบอลูนจะใช้วิธีการควบคุมแบบสัดส่วน (Proportional-Derivative Control) ซึ่งเป็นวิธีหลักที่ใช้ในระบบ ดังได้แสดงการทดลองการเคลื่อนที่ของบอลูนเพื่อติดตามเส้นเป้าหมายภายในห้องทดลองตามภาพที่ 5



ภาพที่ 5 การติดตามเป้าหมายด้วยระบบภาพของบอลูน

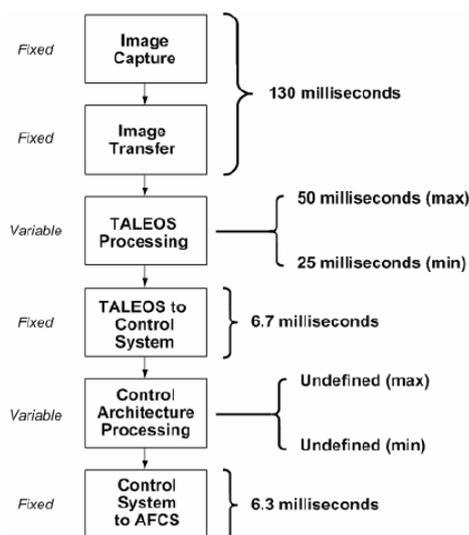
ที่มา: Green *et al.* (2005)

ผลจากการวิจัยพบว่าบอลูนสามารถทำการติดตามเส้นเป้าหมายที่อยู่บนพื้น โดยการทดสอบภายในห้องได้ และเมื่อทดสอบโดยการให้มีสิ่งกีดขวางอยู่บนเส้นเป้าหมาย บอลูนไม่สามารถทำเคลื่อนที่ติดตามเส้นเป้าหมายที่อยู่บนพื้นต่อไปได้ จึงใช้วิธีการวางแผนเส้นทางการบิน (Collision-free path) เชื่อมต่อเส้นทางของเป้าหมาย เพื่อเป็นการกำหนดให้บอลูนเคลื่อนที่ติดตามเส้นเป้าหมายต่อไป (ทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่แน่นอน) ปัญหาที่พบในงานวิจัยคือความสามารถในการเคลื่อนที่ของบอลูนเพื่อติดตามเส้นเป้าหมายที่มีสิ่งกีดขวางเกิดขึ้นโดยไม่ทราบตำแหน่งของสิ่งกีดขวางที่แน่นอน ทำให้ไม่สามารถวางแผนเส้นทางการบินเพื่อเชื่อมต่อเส้นทางของเป้าหมายไว้ล่วงหน้าได้ และบอลูนไม่สามารถทำงานได้ในขณะที่มีลมแรงรวมทั้งอุปกรณ์ที่ใช้กับบอลูนต้องมีขนาดเล็กและเบา เนื่องจากความสามารถในการรับน้ำหนักของตัว

บอลลูนเอง การทำงานในอนาคตจึงมุ่งเน้นเพื่อพัฒนาระบบสำหรับการเคลื่อนที่ติดตามเส้นเป้าหมายที่มีสิ่งกีดขวางเกิดขึ้นขณะทำการบินได้ รวมทั้งการเพิ่มระบบ ค้นหาเป้าหมายให้กับบอลลูน เพื่อการนำไปประยุกต์ใช้กับการค้นหาและช่วยเหลือ อู่ผู้ประสบภัยต่อไป ซึ่งเป็นการเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบให้มากขึ้น

1.3 งานวิจัยเรื่อง Vision Based Target Tracking Using Rotary Wing Vehicles

ในงานวิจัยเรื่อง Vision Based Target Tracking Using Rotary Wing Vehicles (Christopher *et al.*, 2008) เป็นงานวิจัยที่ศึกษาและพัฒนาถึงการติดตามเป้าหมายของเฮลิคอปเตอร์ ด้วยวิธีการประมวลผลภาพ โดยการศึกษาถึงวิธีการบันทึกภาพเป้าหมายที่เกิดขึ้นในแต่ละมุมมอง เพื่อใช้ในการติดตามเป้าหมายและการประมวลผลภาพ ในส่วนของการประมวลผลภาพได้นำเทคนิคของการหาขอบภาพ (Canny Edge Detection) มาใช้เพื่อหาขอบของภาพเป้าหมายด้วย โดยมีการประมวลผลภาพแบบเวลาจริง (Real-Time) การทำงานทั้งหมดสามารถแบ่งออกเป็นขั้นตอน ดังได้แสดงตามภาพที่ 6



ภาพที่ 6 แสดงขั้นตอนการทำงานของระบบ

ที่มา: Christopher *et al.* (2008)

โดยในแต่ละขั้นตอนของงานวิจัย พบปัญหาเรื่อง การหน่วงเวลา (Delay Time) ซึ่งส่งผลกระทบต่อเนื่องและประสิทธิภาพ การทำงานของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ในงานวิจัยนี้จึงได้แก้ไขโดยการใช้เครือข่ายไร้สาย (Wireless Network) ที่มีความเร็วเพิ่มขึ้น งานวิจัยได้ทำการทดลองขั้นตอนวิธีกับอุปกรณ์ที่ใช้แทนเฮลิคอปเตอร์แบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกน เรียกว่า ควอนเซอร์ทรี ดีกรีออฟฟรีดอมเฮลิคอปเตอร์ (Quanser 3 DoF Helicopter) ซึ่งมีลักษณะการทำงาน ที่ใกล้เคียงกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติโดยมีความแตกต่างกันในเรื่องของความอิสระในการเคลื่อน ที่เท่านั้น ซึ่งอุปกรณ์ดังกล่าว เป็นแบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกน โดยในการเคลื่อนที่อาศัย 3 แกนหลักได้แก่ แกนแทนการยกเรียกว่าอิลิเวชันแอกซิส (Elevation Axis), แกนแทนมุมเงยเรียกว่าพิชแอกซิส (Pitch Axis) และแกนแทนการเคลื่อนที่เรียกว่าทราเวลแอกซิส (Travel Axis) ทำการติดตั้งกล้องวีดีโอ CCD กับอุปกรณ์ตัวดังกล่าวเพื่อถ่ายภาพเป้าหมาย (Helipad) ที่ติดอยู่กับฐานวงกลมพลาสติกใส ดังได้แสดงอุปกรณ์ที่ใช้แทนเฮลิคอปเตอร์แบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกนตามภาพที่ 7



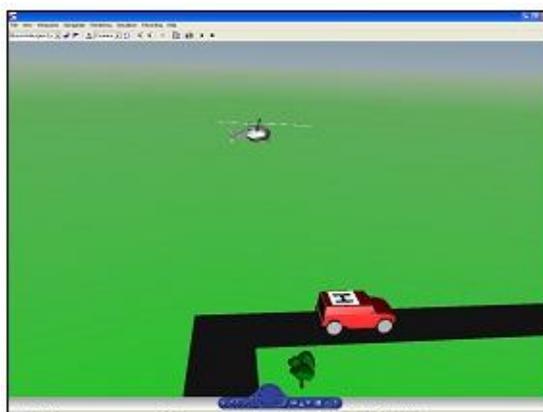
ภาพที่ 7 แสดงภาพอุปกรณ์ที่ใช้แทนเฮลิคอปเตอร์แบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกน

ที่มา: Christopher *et al.* (2008)

สถาปัตยกรรมการควบคุม (Control Architecture) ที่ใช้กับระบบการทำงานของอุปกรณ์ในงานวิจัยได้แก่ การควบคุมแบบสัดส่วนสะสมความแตกต่าง (Proportional Integral Differential) และการควบคุมแบบสัดส่วนความแตกต่าง (Proportional Differential) โดยการควบคุมแบบสัดส่วนสะสมความแตกต่าง ควบคุมในส่วน ของทราเวลแอกซิส และอิลิเวชันแอกซิส การควบคุมแบบสัดส่วนความแตกต่าง ควบคุมในส่วน ของ พิชแอกซิส ซึ่งได้เลือกใช้วิธีการแก้ปัญหาาระบบเชิงเส้นแบบเหมาะสมตามสมการกำลังสอง (Linear Quadratic Regulator) ในการทำงาน และได้ใช้วิธีการกรองแบบคาลมาน (Kalman Filter) ในการจำลองตัวแปรสถานะขึ้นเพื่อ

ทดสอบผลการทำงาน ซึ่งจากผลการทดสอบในขั้นตอนนี้ให้ผลที่ดีในกรณีที่แกนแทนมุมเงยมีค่าไม่เกิน 20 องศา เนื่องจากถ้าแกนแทนมุมเงยมีค่ามากกว่า 20 องศา จะส่งผลให้เกิดการสูญหายของภาพเป้าหมายทำให้ไม่สามารถติดตามเป้าหมายได้

การทดสอบ ขั้นตอนวิธี กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แบบการเคลื่อนที่อิสระ 6 แกน ซึ่งต่างจากการทดลองกับอุปกรณ์ที่ใช้แทนเฮลิคอปเตอร์แบบการเคลื่อนที่อิสระ 3 แกน ในงานวิจัยจึงได้จำลองการทดสอบผลการทำงาน และจากการจำลองการทดสอบให้ผลที่ดีแต่ยังไม่สามารถสรุปได้ว่าการใช้งานขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้นกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ จะสามารถใช้งานได้ เนื่องจากในการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติยังมีปัจจัยจากสภาพแวดล้อมภายนอกที่ต้องคำนึงถึงอีกเช่น ลมที่พัดแรง ปริมาณของแสง และฝน เป็นต้น การทำงานในอนาคตจึงเป็นการพัฒนาในส่วนของ การค้นหาเป้าหมายและการหาแนวทางเพื่อรองรับการแก้ไขปัญหาเรื่องสภาพแวดล้อมภายนอกที่จะเกิดขึ้นเพื่อความสมบูรณ์ของงานต่อไป ดังได้แสดงภาพการ จำลองการทดสอบผลการทำงานด้วยโปรแกรมแมทแลบตามภาพที่ 8



ภาพที่ 8 แสดงการจำลองการทดสอบผลการทำงาน

ที่มา: Christopher *et al.* (2008)

2. ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

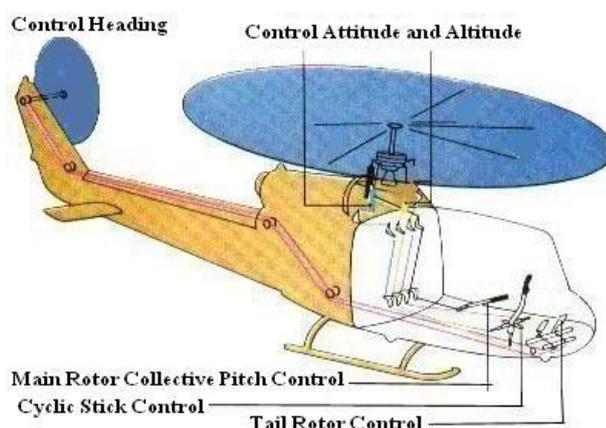
2.1 หลักพื้นฐานการควบคุมทิศทางและความสูงของเฮลิคอปเตอร์

แรงยก (Lift) ของเฮลิคอปเตอร์ ได้มาจากการหมุนใบพัดหนึ่งชุดหรือมากกว่านั้นในแนวขนานกับพื้น ใบพัดนี้เรียกว่าใบพัดหลัก (Main Rotor) เมื่อใบพัดหลักของเฮลิคอปเตอร์หมุนจะทำให้เกิดแรงยก และในเวลาเดียวกัน จะเกิดแรงปฏิกิริยาบิดตัว (Reaction Torque) ที่ลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ด้วย ดังนั้นจึงมีใบพัดชุดเล็กที่หางซึ่งเรียกว่าใบพัดหาง (Tail Rotor) เพื่อต้านแรงปฏิกิริยาบิดตัวนั้น แต่สำหรับเฮลิคอปเตอร์ที่มีตัวหมุนใบพัดหลักสอง ชุด ตัวหมุนใบพัดหลักนี้จะหมุนสวนทางกันเพื่อให้แรงปฏิกิริยาหักลบกัน การทำงานของอุปกรณ์ที่ใช้สำหรับการควบคุมทิศทางการบินหลักๆ ของเฮลิคอปเตอร์มีดังนี้ ตัวควบคุมมุมปะทะของใบพัดหลัก (Main Rotor Collective Pitch Control), ตัวควบคุมมุมปะทะของใบพัดหาง (Tail Rotor Control), ตัวควบคุมไซคลิก (Cyclic Stick Control)

ตัวควบคุมมุมปะทะของใบพัดหลัก ทำหน้าที่ควบคุมความสูง โดยการเพิ่มหรือลดมุมปะทะ (Angle of Attack) ของใบพัดหลัก ซึ่งส่งผลกับแรงยกของเฮลิคอปเตอร์ เช่น เมื่อมีการเพิ่มมุมปะทะของใบพัดหลักทำให้แรงยกเพิ่มขึ้นส่งผลให้เฮลิคอปเตอร์ลอยขึ้นไปในอากาศ

ตัวควบคุมมุมปะทะของใบพัดหาง ตัวควบคุมนี้นอกจากจะใช้เพื่อต้านแรง ปฏิกิริยาบิดตัวแล้วยังทำหน้าที่บังคับทิศทางของหัวเครื่องเฮลิคอปเตอร์ (Yawing) โดยการปรับมุมของใบพัด

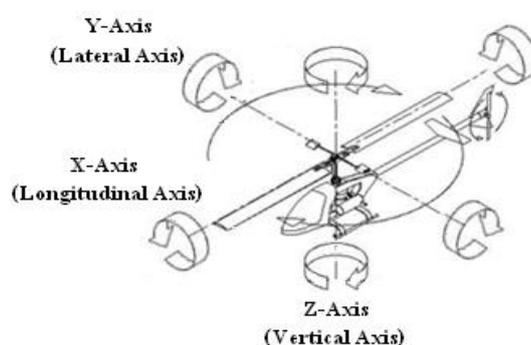
ตัวควบคุมไซคลิก ทำหน้าที่ควบคุมระนาบเอียงของใบพัดหลัก กส่งผลให้เฮลิคอปเตอร์เคลื่อนไปทางด้านหน้า ด้านหลัง หรือ ด้านข้าง เป็นต้น



ภาพที่ 9 ภาพแสดงอุปกรณ์สำหรับการควบคุมการทิศทางการบินของเฮลิคอปเตอร์

2.2 ระบบแกนของเฮลิคอปเตอร์

การเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ (Motion of a Helicopter) สามารถวิเคราะห์เป็นสมการได้จากการหมุน รอบแกน X-Axis หรือแกนตามยาว (Longitudinal Axis), Y-Axis หรือแกนตามขวาง (Lateral Axis) และ Z-Axis หรือแกนแนวตั้ง (Vertical Axis) ตามลำดับ และการหมุน รอบแกนดังกล่าวทำให้เกิด มุมเอียงตัว (Roll), มุมเงย (Pitch) และมุมเลี้ยว (Yaw) ขึ้นตามลำดับอีกด้วย การเคลื่อนที่ด้วยมุมดังกล่าวสามารถวิเคราะห์เป็นสมการตามทฤษฎีเรื่องมุมของออยเลอร์ (Euler angles) ได้ ดังได้แสดงระบบแกนหมุนของเฮลิคอปเตอร์ตามภาพที่ 10



ภาพที่ 10 ระบบแกนของเฮลิคอปเตอร์

จากภาพที่ 10 สามารถอธิบายระบบแกนของเฮลิคอปเตอร์ได้ว่า แกนตามยาว คือ แกนที่เริ่มจากส่วนหัวของเฮลิคอปเตอร์ไปยังส่วนท้ายของเฮลิคอปเตอร์ การหมุนรอบแกนนี้มีผลให้เฮลิคอปเตอร์เกิดการเอียงตัว ซึ่งเรียกว่ามุมเอียงตัว มีสัญลักษณ์ของมุมเอียงตัวเป็น ϕ และแกน

ตามขวาง คือ แกนแนวนอน ขวางลำตัวของเฮลิคอปเตอร์ การหมุนรอบแกนนี้มีผลให้เฮลิคอปเตอร์ เติบโตขึ้นลง ซึ่งเรียกว่ามุมเงย มีสัญลักษณ์ของมุมเงยเป็น θ และแกนแนวตั้ง คือ แกนที่เริ่มจาก ส่วนบนของเฮลิคอปเตอร์ไปยังส่วนล่างของเฮลิคอปเตอร์ การหมุนรอบแกนนี้มีผลให้เฮลิคอปเตอร์ เกิดการเลี้ยว ซึ่งเรียกว่ามุมเลี้ยว มีสัญลักษณ์ของมุมเลี้ยวเป็น ψ

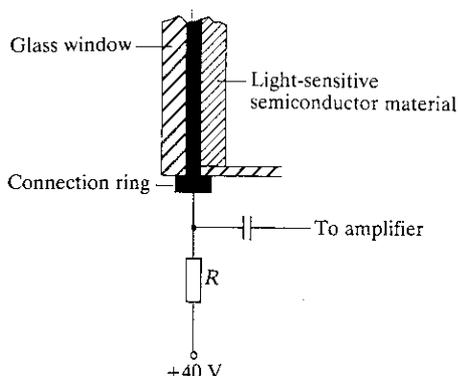
2.3 ทฤษฎีพื้นฐานการประมวลผลภาพ

การประมวลผลภาพเป็นการประมวลผลเชิงตัวเลข ซึ่งจะถูกนำมาประมวลผลด้วย เครื่องคอมพิวเตอร์โดยภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแทนด้วยตัวเลขในรูปแบบของเมตริกซ์ (Matrix) ภาพที่ได้ส่วนใหญ่จะอยู่ในรูปของฟังก์ชันต่อเนื่องในระนาบสองมิติ โดยจะเป็นสัดส่วน กับความสว่างหรือความเข้มของภาพที่ตำแหน่งนั้นๆ ทฤษฎีที่เกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพมี ดังนี้

2.3.1 การได้มาของภาพ (Image Acquisition)

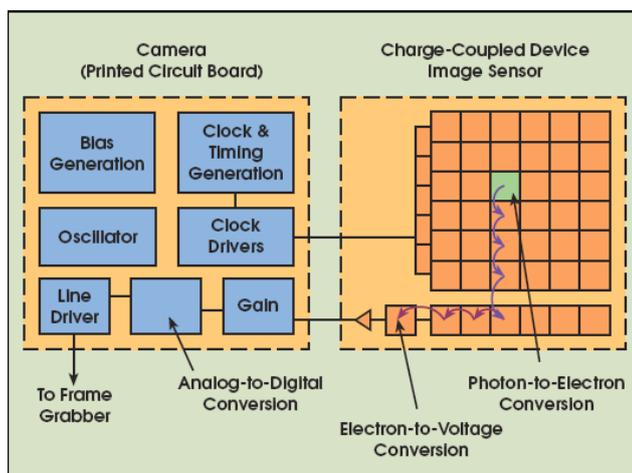
การได้มาของภาพ หมายถึง การแปลงภาพที่เห็นในลักษณะทางกายภาพนั้นให้เป็นเซตของข้อมูลทางดิจิทัล ซึ่งอาจจะรับภาพนั้นจากกล้องถ่ายรูป , สแกนเนอร์ (Scanner), กล้อง วิดีโอ ที่เป็นอุปกรณ์ดิจิทัล โดย ภาพแต่ละภาพ จะมีรายละเอียดและความคมชัดเท่าไรนั้น ขึ้นอยู่กับ อัตราในการสุ่มสัญญาณ (Sampling Rate) ของอุปกรณ์รับภาพนั้นๆ

ระบบกล้องวิดีโอสี การกรองสีของกล้องวิดีโอถูกนำมาใช้โดยที่ระบบการ กรองสีนั้นจะอยู่ระหว่างเลนส์และวัตถุ อุปกรณ์ที่ใช้ในการกรองที่รู้จักกันดีได้แก่ FIC (Filter Integrated Color) ซึ่งประกอบด้วยหลอดแก้วที่มีตัวกรองอย่างดี แต่ละพื้นที่ของวัตถุที่มีความ แตกต่างกันของสีจะใช้สีแดง น้ำเงิน หรือสีเขียวเป็นตัวแยกค่าที่ได้จากการวัดของแต่ละจุด ทำให้ในแต่ละจุดจะได้ค่า ความเข้มของสี แตกต่างกันออกไป ตามภาพของวัตถุนั้น ดังได้ แสดงภาพ โครงสร้างของกล้องวิดีโอตามภาพที่ 11



ภาพที่ 11 โครงสร้างของกล้องวิดีโอ

กล้องแบบ CCD (Charge Coupled Device) มีลักษณะการทำงานเป็นอุปกรณ์ในการรับสัญญาณหรือที่เรียกว่า เซนเซอร์ (Sensor) โดยมีหน้าที่เปลี่ยนแสงให้เป็นสัญญาณไฟฟ้าในแผง CCD ซึ่งประกอบด้วยเซลล์รับแสงจำนวนมาก ซึ่งเรียกว่าจุดภาพ (Picture Element) หรือพิกเซล (Pixel) เมื่อแต่ละจุดภาพรับแสงแล้วจะเปลี่ยนแสงหรือโฟตอน (Photon) ให้เป็นประจุไฟฟ้า และประจุไฟฟ้าเหล่านั้นจะถูกถ่ายโอนไปยังส่วนส่งออก (Output) เพื่อเปลี่ยนเป็นความต่างศักย์แล้วทำการพักข้อมูล (Buffer) ไว้ จากนั้นจึงส่งข้อมูลออกจากชิป (Chip) ในลักษณะที่เป็นสัญญาณอนาล็อก (Analog) แล้วส่งเข้าสู่วงจรเปลี่ยนค่าอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลต่อไป ดังได้แสดงภาพโครงสร้างการทำงานของกล้องแบบ CCD ตามภาพที่ 12



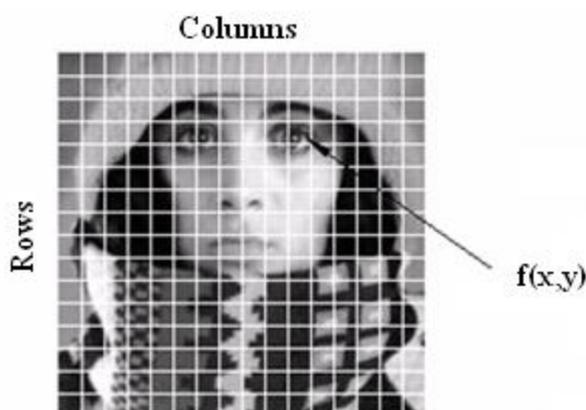
ภาพที่ 12 โครงสร้างการทำงานของกล้องแบบ CCD

2.3.2 การจับรูปภาพแบบต่อเนื่อง

การจับรูปภาพแบบต่อเนื่องเพื่อให้สามารถนำมาแสดงเป็นภาพเคลื่อนไหวหรือภาพวิดีโอได้ โดยทั่วไปแล้วจะต้องใช้รูปภาพอย่างน้อย 25 เฟรมต่อวินาที เนื่องจากสายตาคมมนุษย์เมื่อนำภาพนิ่งมาฉายติดต่อกันมากกว่า 25 เฟรมต่อวินาที แล้วจะมองภาพนั้นเป็นภาพเคลื่อนไหว ซึ่งหากในหนึ่งวินาทีมีจำนวนรูปภาพ หรือเฟรม มากขึ้นก็จะทำให้ได้ภาพเคลื่อนไหวที่ต่อเนื่องมากขึ้น

2.3.3 การแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

ข้อมูลภาพแบบดิจิทัล (Digital Image) เป็นภาพที่ถูกแปลงมาจากภาพอนาล็อกให้อยู่ในรูปของตัวเลข โดยภาพอนาล็อก จะถูกแบ่งเป็นพื้นที่สี่เหลี่ยมเล็กๆ ที่เรียกว่าพิกเซล ในแต่ละพิกเซลจะถูกระบุตำแหน่งโดยพิกัด (x, y) และค่าความเข้ม สีของพิกเซล ซึ่งจะอธิบายไว้ในส่วนของทฤษฎีต่อไป โดยสามารถแปลงรูปภาพเป็นข้อมูลแบบดิจิทัลได้ ดังได้แสดงการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัลตามภาพที่ 13

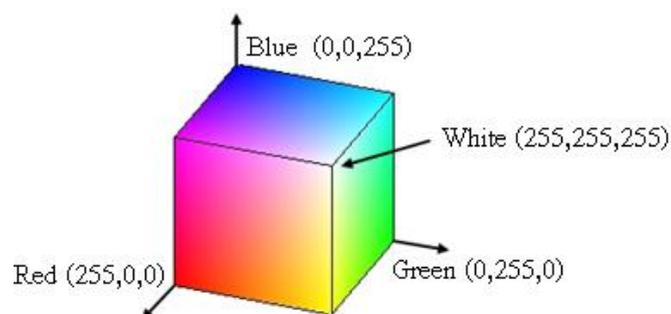


ภาพที่ 13 แสดงการแทนภาพด้วยข้อมูลแบบดิจิทัล

เมื่อนำสัญญาณอนาล็อกที่ต้องการประมวลผลมาผ่าน กระบวนการ ดิจิไทเซอร์ (Digitizer) ซึ่งกระบวนการดังกล่าว มีหน้าที่ในการเปลี่ยนสัญญาณอนาล็อกให้เป็นสัญญาณดิจิทัล จากนั้นทำการควอนไทซ์ (Quantizing) เพื่อประมวลสัญญาณด้วยคอมพิวเตอร์ ฟังก์ชันของภาพ $f(x,y)$ จะถูกทำให้เป็นสัญญาณที่ไม่ต่อเนื่องทั้งระนาบของภาพ ซึ่งเรียกว่าการสุ่มภาพ (Image Sampling) ทำให้ได้ข้อมูลที่เป็นดิจิทัล

2.3.4 ทฤษฎีสี RGB

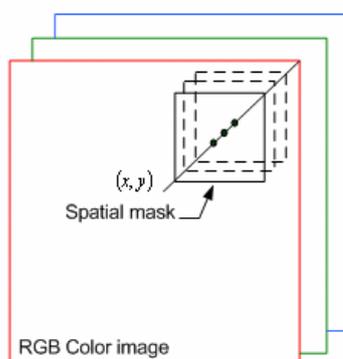
สี RGB (Red, Green, Blue) เป็นสีที่อยู่บน โคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียน (Cartesian Coordinate System) มีแม่สีหลักอยู่ด้วยกันสามสีคือ สีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน ดังได้แสดงตามภาพที่ 14



ภาพที่ 14 โคออร์ดิเนตคาร์ทีเซียนของสี RGB

ภาพที่แสดงด้วย RGB จะประกอบด้วยรูประดับสีทั้งหมดสามชั้นวางซ้อนกัน คือชั้นของสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เข้ามารวมกันเป็นชั้นเดียว เพื่อให้สามารถแสดงทั้งสามสีได้ บนภาพ ดังได้แสดงตามภาพที่ 15

$$f(x, y) = \{R, G, B\}$$



ภาพที่ 15 ชั้นของภาพ RGB

จำนวนของสีที่สามารถแสดงได้จะแปรตามจำนวนของบิตที่ใช้แสดงค่าความเข้มของแต่ละสีซึ่งเรียกว่า พิกเซลเด็บ (Pixel Dept) ภาพที่มีจำนวนพิกเซลเด็บ 8 บิตจะหมายถึงภาพที่มีจำนวนบิตของแต่ละสีเท่ากับ 8 บิต รวมเข้าด้วยกันสามสี (Red, Green, Blue) ทั้งหมดเท่ากับ 24 บิต สามารถแสดงจำนวนสีได้ $(2^8)^3$ เท่ากับ 16,777,216 สี และมีค่าของความเข้มของแต่ละสีของทั้งสามสีเป็น 256 สี แสดงค่าได้ระหว่าง 0-255

หากต้องการความละเอียดมากขึ้นต้องเพิ่มจำนวนบิตการแสดงความเข้มของสี ตัวอย่างเช่น ให้ความเข้มสีหรือพิกเซลเด็บมีจำนวน 16 บิต ค่าของความเข้มของแต่ละสีของทั้งสามสีเป็น 65,536 สี แสดงค่าได้ระหว่าง 0-65,535 ในปัจจุบันเทคโนโลยีไมโครโปรเซสเซอร์เข้ามา มีบทบาทมากขึ้น การแบ่งจำนวนของบิตเพื่อแสดงความเข้มของสีเป็น 16, 64 หรือ 256 บิต เป็นเรื่องธรรมดา แต่ทั้งนี้ในการมองเห็นของมนุษย์จะสามารถ บ่งบอกความแตกต่างของค่าความเข้มสีได้เพียง 8-16 บิต เท่านั้น การแบ่งโดยละเอียดเป็น 64 หรือ 256 บิต อาจจะไปประยุกต์ใช้กับงานประมวลผลภาพหรือกระบวนการอุตสาหกรรมอื่นที่ต้อง ังการความละเอียดของภาพ สูงได้ การแบ่งค่าความเข้มของสี เป็นหลายระดับเป็นการเพิ่มคุณภาพของภาพ และการเพิ่มจำนวนพิกเซลจาก 120x120 พิกเซล เป็น 250x250 พิกเซล เป็นการเพิ่มความละเอียด (Resolution) และรายละเอียด (Detail) ของภาพ ได้เช่นกัน จะเห็นว่าจะแตกต่างกับการขยายภาพ (Zoom) โดยการขยายภาพนี้เป็นการขยายแต่ละพิกเซลให้ใหญ่ขึ้น ไม่ได้เป็นการเพิ่มจำนวนพิกเซล

2.4 กระบวนการประมวลผลภาพ

การประมวลผลรูปภาพสามารถทำได้ในสองลักษณะใหญ่ๆ คือ การปรับปรุงคุณภาพของรูปภาพให้ดีขึ้นเพื่อให้มนุษย์ดู และกระบวนการปรับปรุงเพื่อนำข้อมูลรูปภาพไปใช้ต่อในการวิเคราะห์ต่างๆ หรือเพื่อการเก็บ และการส่งข้อมูล ในกระบวนการของการประมวลผลภาพ มีหน้าที่หลักคือการสร้างภาพให้ได้ มา โดยการแยกแยะส่วนที่ต้องการหรือสนใจออกจากพื้นหลังและสิ่งรบกวนต่างๆ กระบวนการประมวลผลภาพมีดังนี้คือ การกรอง (Filter) การเปลี่ยนแปลงค่าสีของภาพ การประมวลผลเชิงตัวเลข เป็นต้น กระบวนการ ดังกล่าวนี้จะถูกนำมาประมวลผลด้วยเครื่องคอมพิวเตอร์โดยภาพที่นำมาประมวลผลจะถูกแทนด้วยตัวเลขในรูปแบบของเมตริกซ์ 2 มิติ ขนาด $(m \times n)$ อธิบายได้ตามสมการต่อไปนี้

$$f(x, y) = \begin{bmatrix} f(1,1) & f(1,2) & \dots & f(1,n) \\ f(2,1) & f(2,2) & \dots & f(2,n) \\ \dots & \dots & \dots & \dots \\ f(m,1) & f(m,2) & \dots & f(m,n) \end{bmatrix}_{m \times n}$$

เมื่อ $f(x, y)$ คือ พิกเซลข้อมูลของภาพ

2.4.1 การกรองข้อมูลภาพ (Image Filter)

การกรองข้อมูลภาพ คือ การนำภาพไปผ่าน ตัวกรองสัญญาณเพื่อให้ได้ภาพผลลัพธ์ออกมา โดยภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีคุณสมบัติแตกต่างจากภาพเริ่มต้น วัตถุประสงค์หลักของการกรองข้อมูลภาพคือการเน้น (Enhance) หรือลดทอน (Attenuate) คุณสมบัติบางประการของภาพ เพื่อให้ได้ภาพที่มีคุณสมบัติตามต้องการและเหมาะกับการนำไปใช้งานต่อไป

การกรองข้อมูลภาพ เป็นขั้นตอนที่ต่อจากขั้นตอนการได้มาของภาพสี ซึ่งเป็นขั้นตอนที่จำเป็นมาก เนื่องจากในการทำงานจริงภาพที่ได้ส่วนใหญ่จะมีสัญญาณรบกวน (Noise) หรือสัญญาณไม่พึงประสงค์อื่นๆ รวมอยู่ในภาพด้วย การกรองข้อมูลภาพสามารถปรับปรุงให้ภาพมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นเหมาะแก่การใช้งานหรือการนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อ ๆ ไป ซึ่งประเภทของตัวกรองที่นิยมใช้กันอยู่มี 2 ประเภทคือ ตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน (Low Pass Filter) ซึ่งเป็นการกรองที่ใช้ในการปรับปรุงภาพเพื่อให้มีความเรียบ (Smoothen) หรือเพื่อกำจัดสิ่งรบกวนออกจากภาพ และตัวกรองความถี่สูงผ่าน (High Pass Filter) ซึ่งเป็นการกรองที่ใช้ในการปรับปรุงภาพเพื่อความคมชัดของขอบของวัตถุในภาพ ซึ่งทั้งสองวิธีขึ้นอยู่กับข้อกำหนด คอนโวลูชัน เคลเนล (Convolution Kernel) แสดงภาพผลลัพธ์จากการกรองข้อมูลทั้ง 2 ประเภทตามภาพที่ 16



(ก)

(ข)

(ค)

ภาพที่ 16 ภาพผลลัพธ์จากการกรองข้อมูล (ก) ภาพต้นแบบ, (ข) ภาพที่กรองด้วยตัวกรองความถี่สูงผ่าน, (ค) ภาพที่กรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน

การกรองข้อมูลโดย การทำคอนโวลูชัน (Convolution) คือ การหาผลรวม ค่าที่ได้จากการถ่วงน้ำหนักของค่าพิกเซลบริเวณรอบๆ ถือได้ว่าเป็นกระบวนการรอบๆ จุดพิกเซลทำการคำนวณหาค่าเพื่อนำมาแทนค่าพิกเซลเดิม ซึ่งค่าที่ใช้ในการถ่วงน้ำหนักเป็นเมตริกซ์ขนาด $n \times n$ โดย n จะเป็นเลขคี่ เช่น 3, 5, 7, 9 เป็นต้น เพราะว่าสามารถหาค่าจุดพิกเซลตรงกลางได้ การกำหนดขนาดเคเนล (Kernel) ถ้ามีขนาดใหญ่เกินไป จะส่งผลให้โปรแกรมทำงานช้า ลงเนื่องจากการคำนวณมาก สำหรับขั้นตอนในการทำคอนโวลูชันสามารถทำได้โดยการนำฟังก์ชันข้อมูลของภาพต้นแบบเขียนแทนด้วย $f(x, y)$ และฟังก์ชันของเคเนลเขียนแทนด้วย $K(i, j)$ มาทำการซ้อนทับกันแล้วทำการคูณค่าของแต่ละตำแหน่งต่อตำแหน่งแล้วหาผลรวม ซึ่งการทำคอนโวลูชันเคเนล สามารถเรียกได้อีกอย่างว่า การทำเมตริกซ์ถ่วงน้ำหนัก (Matrix of Weights) ซึ่งอ้างอิงได้จากหนังสือ “Digital Image Processing using Matlab” (Rafael *et al.*, 2004) อธิบายได้ตามสมการดังต่อไปนี้

$$Out(x, y) = f(x, y) * K(i, j)$$

เมื่อ $Out(x, y)$ คือ ฟังก์ชันข้อมูลของภาพผลลัพธ์ (Output Image)
 $f(x, y)$ คือ ฟังก์ชันข้อมูลของภาพต้นแบบ (Original Image)
 $K(i, j)$ คือ ฟังก์ชันของเคเนล (Kernel)

ตัวอย่างการหาภาพผลลัพธ์โดยการทำคอนโวลูชันเคเนลที่ตำแหน่งพิกเซลที่ (3, 3) โดยภาพต้นแบบและเคเนล มีการกำหนดค่าดังต่อไปนี้

44	58	74	75	76	76	76	75	76	75
57	77	97	98	98	99	98	98	98	98
72	96	121	122	123	123	123	122	122	123
70	93	116	116	117	117	117	117	117	117
70	94	117	118	118	117	117	117	117	118
70	94	117	116	116	116	115	115	115	116
70	94	117	117	117	117	116	115	115	115
70	93	116	116	116	116	115	114	114	115
70	94	118	118	118	118	117	116	115	115
70	93	118	118	118	118	117	116	116	117

Original Image

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

Kernel

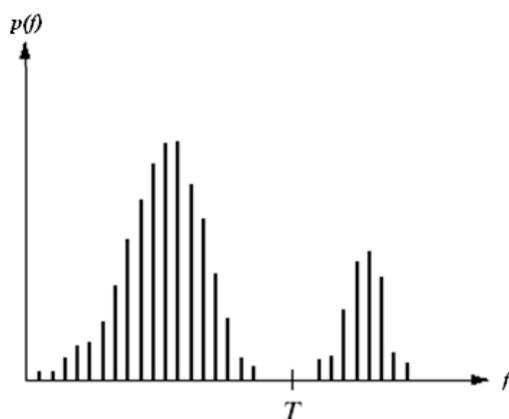
ภาพที่ 17 ตัวอย่างภาพต้นแบบ (Original Image) และเคเนล (Kernel) ที่ใช้กรองข้อมูล

หลายๆ วัตถุที่สนใจต้องการแยกข้อมูลเหล่านั้นออกมา โดยการใช้ค่าเทรสโฮลด์หลายๆ ค่า สำหรับภาพที่มี N วัตถุ เป็นต้น

การแยกข้อมูลภาพ สามารถทำได้โดยการกำหนดค่า เทรสโฮลด์ซึ่งเป็นค่าความเข้มสีให้เป็นค่าที่สามารถแยกความแตกต่างของวัตถุและพื้นหลัง ได้ ตัวอย่างเช่น ภาพตัวอักษรที่มีความเข้มของตัวอักษรเป็น 0 (สีดำ) และมีความเข้มของพื้นหลังเป็น 255 (สีขาว) ในภาพระดับสีเทาดังนั้นค่าเทรสโฮลด์จึงควรจะมีค่าเท่ากับ 128 เพื่อที่จะให้สามารถแยกวัตถุออกจากพื้นหลังได้ โดยปกติแล้วการเลือกค่า เทรสโฮลด์จะขึ้นอยู่กับ ฮิสโทแกรม (Histogram) ของภาพ โดยควรเลือกค่าเทรสโฮลด์จากฮิสโทแกรมที่อยู่จุดต่ำสุดและอยู่ระหว่างจุดสูงสุด (Peaks) ดังได้แสดงกราฟฮิสโทแกรมและการหาค่าเทรสโฮลด์ (T) ตามภาพที่ 19

$$g(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) > T \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases}$$

เมื่อ $g(x, y)$ คือ ฟังก์ชันข้อมูลภาพผลลัพธ์
 $f(x, y)$ คือ ฟังก์ชันข้อมูลภาพที่ต้องการแยกข้อมูล
 T คือ ค่าเทรสโฮลด์



ภาพที่ 19 แสดงภาพตัวอย่างกราฟฮิสโทแกรมและการหาค่าเทรสโฮลด์

2.4.3 วิธีกรทำรีเจียน (Region method)

การทำรีเจียนเป็นการจัดการแยกกลุ่มของพิกเซล โดยดูจากตำแหน่งของพิกเซลและความเหมือนกันของคุณสมบัติของพิกเซลภายในพื้นที่ ถ้าพิกเซลที่อยู่ติดกัน มีคุณสมบัติ

เหมือนกันจะถูกจัดให้เข้ากลุ่มเดียวกัน ซึ่งการทำเช่นนี้จะได้พื้นที่ที่ต่อเนื่อง พิกเซลที่อยู่ติดกันหรือที่เชื่อมต่อยุ่รอบๆ สามารถขยายได้ทั้ง 4 และ 8 ทิศทางขึ้นอยู่กับเงื่อนไขที่กำหนด

พิกเซลที่เชื่อมต่อกัน (Pixel Connectivity) คือ การแสดงความสัมพันธ์ของพิกเซลตั้งแต่ 2 พิกเซลขึ้นไปและเชื่อมต่อโดยสามารถทำได้ทั้ง 4 ทิศทาง (ทางตั้งและทางระดับ) และ 8 ทิศทาง (ทางตั้ง, ทางระดับและทางแนวทแยง) ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 810) สมการการเชื่อมต่อพิกเซลแสดงดังต่อไปนี้

$$N_4(p) = \{(x+1, y), (x-1, y), (x, y+1), (x, y-1)\}$$

$$N_8(p) = N_4 \cup \{(x+1, y+1), (x+1, y-1), (x-1, y+1), (x-1, y-1)\}$$

ป้าย (Labeling) คือ การลงทะเบียนหรือให้ค่าตัวเลขกลุ่มของ พิกเซลที่ถูกจัดกลุ่มตามคุณสมบัติเดียวกัน โดยมีจุดประสงค์เพื่อใช้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการคำนวณต่อไป เช่น การจัดแบ่งประเภท (Classification) ของรูปภาพ เป็นต้น

2.4.4 การวัดคุณสมบัติของรูปร่าง (Shape Property Measurement)

ระยะทาง (Distance) คือ ระยะทางระหว่าง 2 จุด หรือ 2 พิกเซลโดยสามารถวัดระยะได้หลายวิธี เช่น Euclidean, City-block หรือ Chessboard เป็นต้น สมการการหาระยะทางระหว่างจุด 2 จุดหรือระหว่างพิกเซล 2 พิกเซลแสดงดังต่อไปนี้

$$d = \sqrt{(x_1 - x_2)^2 + (y_1 - y_2)^2}$$

ศูนย์กลางเรขาคณิต (Centroid) คือ จุดศูนย์กลางของมวลของ รีเจียน (Region) หรือวัตถุใดๆ การคำนวณหาศูนย์กลางของมวลของรีเจียน โดยหลักต้องมีการหาโมเมนต์ (Moment) ของรีเจียนเพื่อคำนวณหาจุดกึ่งกลางของมวลของรีเจียนนั้น ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 1128) ดังได้แสดงตามสมการต่อไปนี้

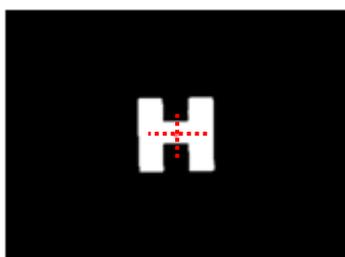
$$A = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n B[x, y]$$

เมื่อ A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพเป้าหมาย
 $B[x, y]$ คือ พิกเซลสีเทาของภาพเป้าหมาย
 n คือ จำนวนพิกเซลของภาพนับตามแกน x
 m คือ จำนวนพิกเซลของภาพนับตามแกน y

$$\bar{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x B[x, y]}{A}$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n y B[x, y]}{A}$$

เมื่อ \bar{x} คือ จุดศูนย์กลางของภาพเป้าหมายตามแนวแกน x
 \bar{y} คือ จุดศูนย์กลางของภาพเป้าหมายตามแนวแกน y
 $x B[x, y]$ คือ จำนวนพิกเซลสีเทาของภาพนับตามแกน x
 $y B[x, y]$ คือ จำนวนพิกเซลสีเทาของภาพนับตามแกน y
 A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพเป้าหมาย

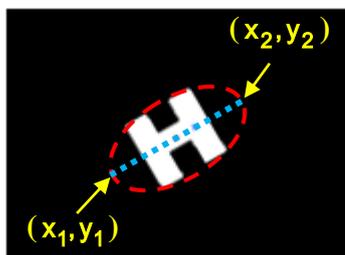


ภาพที่ 20 ภาพแสดงศูนย์กลางของรีเจียน

แกนเอก (Major Axis) คือ เส้นที่ยาวที่สุดใน รีเจียน ซึ่งเกิดจากการ เชื่อมต่อระหว่างจุดสอง จุด โดยการคำนวณหาระยะระหว่างจุดสองจุดในทุกพิกัดของรีเจียน แล้วให้ระยะยาวที่สุดเป็นแกนเอก การ คำนวณระยะห่างระหว่างจุด ทั้งสอง ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้

งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 610) ดังได้แสดงตามสมการต่อไปนี้

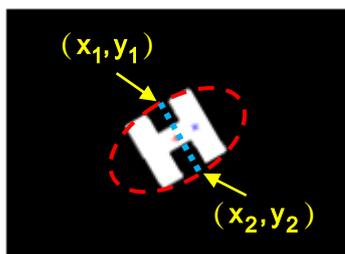
$$\text{major - axis length} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$



ภาพที่ 21 ภาพแสดงแกนเอกของรีเจียน

แกนโท (Minor Axis) คือ เส้นที่ยาวที่สุดและตั้งฉากกับ แกนเอก ซึ่งเกิดจากจุดสองจุดที่เชื่อมต่อกัน ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 615) ดังได้แสดงตามสมการต่อไปนี้

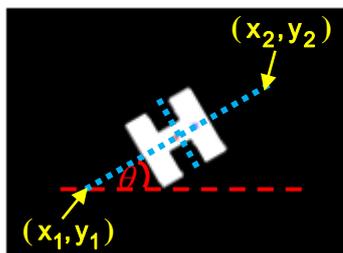
$$\text{minor - axis length} = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2}$$



ภาพที่ 22 ภาพแสดงแกนโทของรีเจียน

ทิศทาง (Orientation) คือ ทิศทางโดยเฉลี่ยของรีเจียนนั้นๆ โดยการหาโมเมนต์ (Moment) ของรีเจียน ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 1154) ดังได้แสดงตามสมการต่อไปนี้

$$\text{major - axis angle} = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right)$$

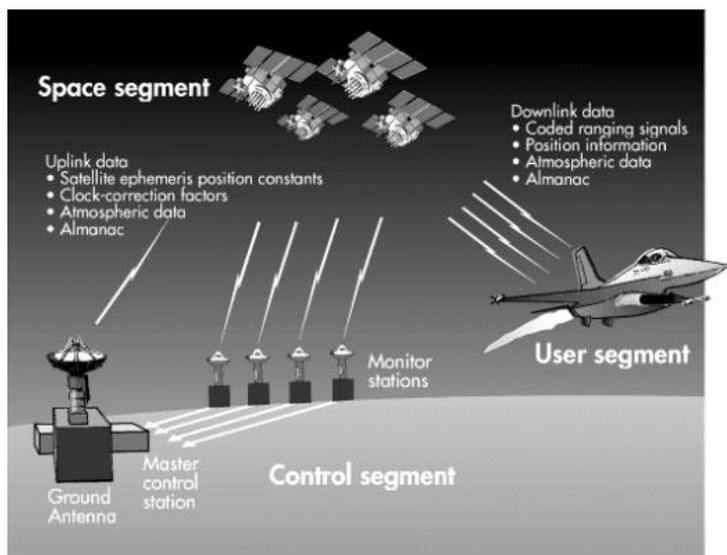


ภาพที่ 23 ภาพแสดงทิศทางของรีเจียน

2.5 การกำหนดตำแหน่งบนโลก

2.5.1 ระบบกำหนดตำแหน่งบนโลกหรือระบบดาวเทียมจีพีเอส (GPS : Global Positioning System)

การกำหนดตำแหน่งบนโลก ด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอส เป็นระบบมาตรฐานที่ใช้ในการหาพิกัดตำแหน่งบนโลกได้อย่างมีประสิทธิภาพโดยอาศัยการทำงานของระบบดาวเทียมจีพีเอส ซึ่งถูกพัฒนาโดยกระทรวงกลาโหมประเทศสหรัฐอเมริกาตั้งแต่ปี พ .ศ. 2516 โดยถูกออกแบบให้ใช้ประโยชน์ทางการทหารเป็นหลัก และให้พลเรือนใช้บางส่วน ผลจากการพัฒนาเทคโนโลยีเพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของการหาตำแหน่งด้วยระบบดาวเทียมจีพีเอสทำให้มีการใช้งานกันอย่างแพร่หลายในงานด้านต่างๆ ของฝ่ายพลเรือน ดังได้แสดงภาพระบบดาวเทียมจีพีเอส ตามภาพที่ 24

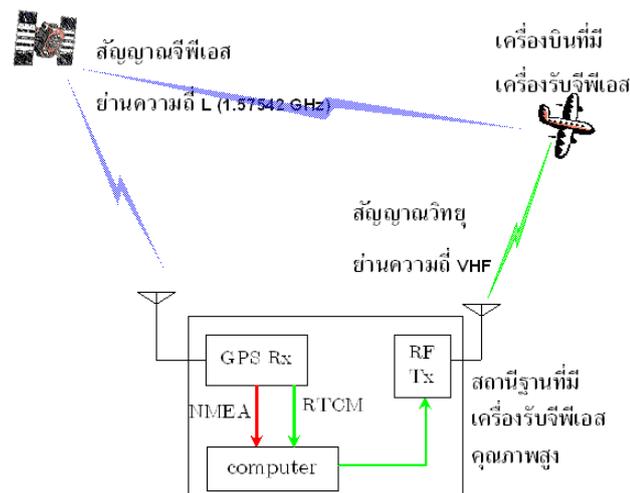


ภาพที่ 24 ระบบดาวเทียมจีพีเอส

ระบบดาวเทียมจีพีเอสประกอบด้วยส่วนประกอบ 3 ส่วนหลัก คือ ส่วนอวกาศ (Space Segment) ส่วนควบคุม (Control Segment) และส่วนผู้ใช้ (User Segment) โดยในแต่ละส่วนมีความสัมพันธ์กันดังนี้ ส่วนควบคุมมีสถานีติดตามภาคพื้นดินที่กระจายอยู่บนพื้นโลกเพื่อคอยติดตามการเคลื่อนที่ของดาวเทียม ทำให้สามารถคำนวณวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมที่เวลาดำเนินการต่าง ๆ ได้ ส่วนควบคุมจะทำนายวงโคจรและตำแหน่งของดาวเทียมทุกดวงในระบบล่วงหน้าแล้วส่งข้อมูลเหล่านี้ไปยังส่วนอวกาศซึ่งคือตัวดาวเทียม ดาวเทียมจะทำการส่งข้อมูลเหล่านี้ออกมาพร้อมกับคลื่นวิทยุมายังโลก ในส่วนผู้ใช้เมื่อต้องการทราบตำแหน่งของจุดใดๆ เพียงนำเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมจีพีเอสไปตั้งให้ตรงตำแหน่งจุดที่ต้องการทราบ แล้วนำข้อมูลที่ไปประมวลผลจะทำให้ทราบตำแหน่งของจุดที่ต้องการซึ่งได้จากการคำนวณค่าพิกัด

2.5.2 ระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง (DGPS)

ระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่างหรือดีจีพีเอส (DGPS: Differential Global Positioning System) เป็นวิธีการหาพิกัดตำแหน่งบนโลกอีกแบบหนึ่งที่ทำให้ประสิทธิภาพมากในการหาพิกัดตำแหน่ง หลักการพื้นฐานของระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง ดังได้แสดงตามภาพที่ 25

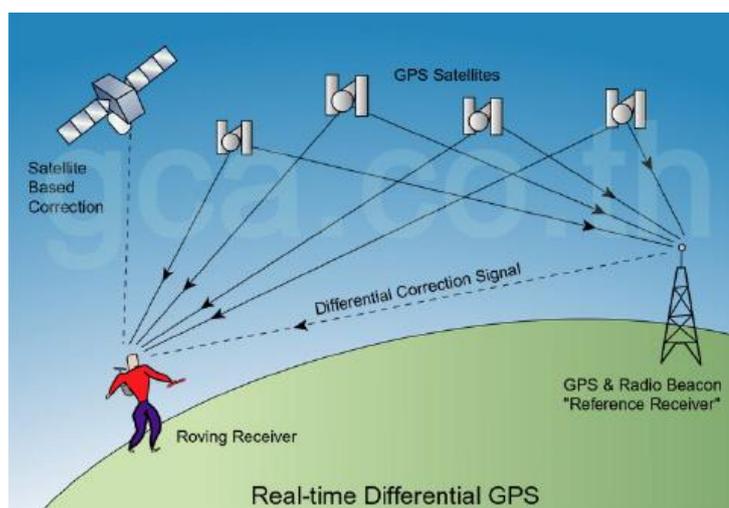


ภาพที่ 25 ระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง

จากภาพแสดงการทำงานของระบบ โดยการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสคุณภาพสูงไว้ที่ตำแหน่งหรือสถานที่ที่ทราบพิกัดตำแหน่งชัดเจน ซึ่งพิกัดตำแหน่งดังกล่าวได้จากการสำรวจที่เป็นไปตามขั้นตอนและมาตรฐานทางวิศวกรรมสำรวจ การทำงานของระบบเริ่มต้นโดยเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสคุณภาพสูงที่สถานีฐานทำการคำนวณค่าพิกัดความแตกต่างระหว่างพิกัดตำแหน่งอ้างอิง (ที่ทราบจากการสำรวจ) และพิกัดตำแหน่งที่ได้จากสัญญาณของดาวเทียมจีพีเอส จากนั้นเครื่องรับจีพีเอสจะสร้างข้อมูลสำหรับการแก้ไขความผิดพลาดขึ้น และสถานีฐานจะทำการส่งข้อมูลสำหรับการแก้ไขให้กับผู้ใช้ (อาทิเช่น เครื่องบินพาณิชย์ ดัง ได้แสดงในภาพที่ 27) ซึ่งทำให้ได้พิกัดตำแหน่งที่มีความถูกต้องมาก เนื่องจากการทราบพิกัดอย่างชัดเจนจากการสำรวจ แล้วนำมาคำนวณหาความแตกต่างกับสัญญาณจีพีเอสที่รับได้จริง ผ่านวิธีการคำนวณออกมาเป็นพิกัดตำแหน่งที่ถูกต้องได้อย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งสัญญาณจากดาวเทียมจีพีเอสอาจคลาดเคลื่อนได้จากปัจจัยหลายอย่าง เช่น การถูกบดบังสัญญาณจากกลุ่มเมฆ หรือสภาวะที่มีฝน เป็นต้น แต่ข้อด้อยของระบบหาตำแหน่งแบบใช้ความแตกต่างนี้คือ ประสิทธิภาพจะลดลงเมื่อผู้ใช้รับสัญญาณจีพีเอสจากสถานีฐานที่ระยะไกล เพราะพิกัดตำแหน่งอ้างอิงที่ทราบจากการสำรวจครอบคลุมพื้นที่ในแนวราบเท่านั้น เนื่องจากการคำนวณหาระยะทางและตำแหน่งของระบบที่ใช้เป็นแบบสมการเชิงเส้น แต่พื้นผิวโลกที่เมื่อระยะไกลมากขึ้นจะมีสภาพเป็นผิวโค้งทำให้ไม่สามารถใช้สมการเชิงเส้นในการคำนวณหาระยะทางได้

สัญญาณจากสถานีฐานที่ส่งให้กับผู้ใช้โดยทั่วไปจะใช้สัญญาณวิทยุย่านความถี่อื่นที่ไม่ไปรบกวนสัญญาณจีพีเอส เช่น ย่านความถี่สูง (VHF : Very High Frequency) เป็นต้น สำหรับรูปแบบของข้อมูลของสัญญาณนี้เป็นไปตามรูปแบบมาตรฐานของ RTCM (Radio

industrial Commission for Maritime Services) ซึ่งเป็นองค์กรมาตรฐานสัญญาณวิทยุของประเทศสหรัฐอเมริกา และข้อมูลดังกล่าวถูกนำไปใช้ในขณะเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสทำการรับสัญญาณและคำนวณหาตำแหน่งพิกัดของเครื่องรับเองด้วยการใช้เทคนิคที่เรียกว่า Code-Based Techniques ซึ่งเป็นการนำการเข้ารหัสข้อมูล นำร่องมาใช้ในการเข้ารหัสสัญญาณและถอดรหัสสัญญาณเพื่อส่งพิกัดตำแหน่งให้กับผู้ใช้ต่อไป แสดงภาพการทำงานของระบบหาตำแหน่งแบบใช้ความแตกต่างตามภาพที่ 26



ภาพที่ 26 การทำงานของระบบหาตำแหน่งแบบใช้ค่าความแตกต่าง

ที่มา: สำนักงานพัฒนาวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งชาติ (2552)

อุปกรณ์และวิธีการ

อุปกรณ์

1. เซลคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก
2. คอมพิวเตอร์ Pentium M 1.73 GHz, Ram 2 GHz
3. กล้องวิดีโอ CCD ขนาดเล็ก
4. เฟรมแกร็บเบอร์ (Frame Grabber)
5. ไจโรเซนเซอร์ (Gyro Sensor)
6. ซีเรียลพอร์ต (Serial Port)
7. ชุดรับส่งสัญญาณภาพแบบอนาล็อก (Analog) 2.4 GHz กำลังส่ง 100 mW

วิธีการ

การวิจัยครั้งนี้เป็นการวิจัยเพื่อการพัฒนา ระบบประมวลผลภาพสำหรับ การบินลงจอดของ เซลคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ภาพจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่บริเวณ ด้านล่างและขนานกับแกนแนวตั้งของเซลล์คอปเตอร์อัตโนมัติ เพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางให้ เซลคอปเตอร์อัตโนมัติสามารถบินลงจอดลงบนเป้าหมายตามที่ต้องการได้ โดยแบ่งงานวิจัย ออกเป็นสองส่วนใหญ่ๆ คือ ส่วนของการสร้างขั้นตอนวิธี โดยใช้เทคนิคของการประมวลผลภาพ เช่น การกรองข้อมูลภาพ ด้วยวิธีการกรองความถี่ต่ำผ่าน การแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ ด้วยการ ทำเทสโฮสต์ และการประมวลผลเชิงตัวเลขเพื่อคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของเซลล์คอปเตอร์ อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอดซึ่งได้อธิบายรายละเอียดวิธีการทั้งหมดไว้ในหัวข้อถัดไป และส่วนของการเชื่อมต่อขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับระบบควบคุมการบินอัตโนมัติของเซลล์คอปเตอร์ เพื่อการรับส่งข้อมูลระหว่างระบบควบคุมการบินอัตโนมัติกับระบบการประมวลผลภาพ อันได้แก่ ข้อมูลรูปภาพ (Image), ระดับความสูง (Altitude), มุมเอียงตัว, มุมเงย และผลลัพธ์ของระบบการ ประมวลผลภาพ ที่ส่งให้กับระบบควบคุมเซลล์ คอปเตอร์อัตโนมัติด้วยค่าของระยะ (X Distance, Y Distance) มีหน่วยเป็นเมตร และทิศทาง (Orientation) มีหน่วยเป็นองศา ผู้วิจัยได้ศึกษาข้อมูล เอกสารงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ศึกษา ถึงปัญหาต่างๆ วางกรอบของงานวิจัย เพื่อกำหนดเป้าหมายและ ขอบเขตของงานวิจัย โดยได้ดำเนินการวิจัยตามรายละเอียดและวิธีการดังต่อไปนี้

1. เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ

งานวิจัย นี้ใช้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ในการทดสอบ ซึ่งเป็นเฮลิคอปเตอร์ที่ใช้เครื่องยนต์ ลูกสูบขนาด 26 ซีซี มีเส้นผ่านศูนย์กลางใบพัดหลัก 1.8 เมตร สามารถรับน้ำหนักบรรทุกได้ 5 กิโลกรัม ติดตั้งระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ และกล้อง วิดีโอ CCD ดังได้ แสดงภาพของ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กตามภาพที่ 27



ภาพที่ 27 เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก (A Small-Scaled Autonomous Helicopter)

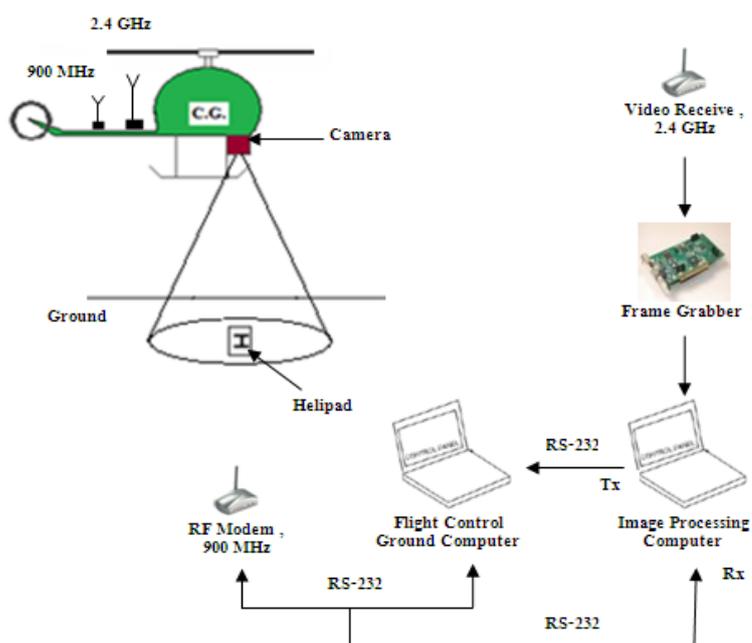
กล้องวิดีโอ CCD ถูกติดตั้งอยู่ที่บริเวณด้านล่างของลำตัวเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก โดยเอียงไปทางด้านหน้าเพื่อเป็นการรักษาเสถียรภาพให้กับเฮลิคอปเตอร์ ซึ่งเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นอุปกรณ์ที่ได้รับการสนับสนุนจากโรงเรียนนายเรืออากาศ

การควบคุมเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติให้ลงจอดลงบนเป้าหมายที่ต้องการด้วยวิธีการประมวลผลภาพนั้น ผลลัพธ์ที่ได้จาก ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้นจะถูกส่งให้กับ ระบบควบคุม การบินอัตโนมัติ ด้วยค่าของระยะในการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X (Helicopter's Heading Direction) แนวแกน Y (Helicopter's Side Direction) และทิศทาง เพื่อควบคุมให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบินอยู่เหนือเป้าหมายในการลงจอดและทำการลดระดับความสูงเพื่อการลงจอดต่อไป ดังนั้นการศึกษาเพื่อทำความเข้าใจในลักษณะการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์และส่วนประกอบต่างๆ ในการควบคุมทิศทางและความสูง ของเฮลิคอปเตอร์จึงเป็นเรื่องที่จำเป็นต่อการทำ วิจัย ซึ่งความสามารถในการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่สำคัญต่อการทำวิจัย ได้แก่

1. การบินลอยตัวอยู่กับที่และรักษาระดับความสูงในการบิน
2. การเคลื่อนที่ไปทางด้านหน้า ด้านหลัง หรือ ด้านข้าง
3. การเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่ง

2. ระบบการทำงาน

กล้องวิดีโอ CCD ถูกติดตั้งไว้ที่บริเวณด้านล่างและ ขนานกับแกนแนวดิ่งของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ เป้าหมายที่ใช้ในงานวิจัยครั้งนี้ เป็นสัญลักษณ์ของ Helipad กล้องวิดีโอ CCD ที่ติดตั้งอยู่กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติจะทำการ ถ่ายภาพของเป้าหมาย และส่งสัญญาณวิดีโอที่ได้ผ่าน ชุดรับส่งสัญญาณภาพคลื่นความถี่ 2.4 GHz มายังการ์ดแปลงสัญญาณ หรือที่เรียกว่าเฟรมแกร็บเบอร์ เพื่อแปลงจากสัญญาณอนาล็อกเป็นสัญญาณดิจิทัลแล้วส่งให้คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพที่ภาคพื้น เมื่อ คอมพิวเตอร์ที่ใช้ในการประมวลผลภาพ กำหนดหาตำแหน่งและทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอดได้แล้ว จะส่งข้อมูลกลับขึ้นไปยังระบบควบคุมการบินอัตโนมัติผ่านทางชุดรับส่งความถี่วิทยุ (RF Modem) 900 MHz เพื่อให้ระบบควบคุมการบินทำการควบคุมให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบินอยู่เหนือเป้าหมายพร้อมทั้งมีทิศทางเดียวกับทิศทางที่ต้องการใช้สำหรับการลงจอด ลักษณะการทำงานของระบบแสดงได้ตามภาพที่ 28



ภาพที่ 28 แผนภาพแสดงระบบการทำงานโดยรวม

ส่วนคอมพิวเตอร์ ภาคพื้น ทำหน้าที่ในการรับข้อมูลวิดีโอภาพมาทำการประมวลผล หาค่าของตำแหน่งและทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมาย เพื่อส่งไปยังส่วนของระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

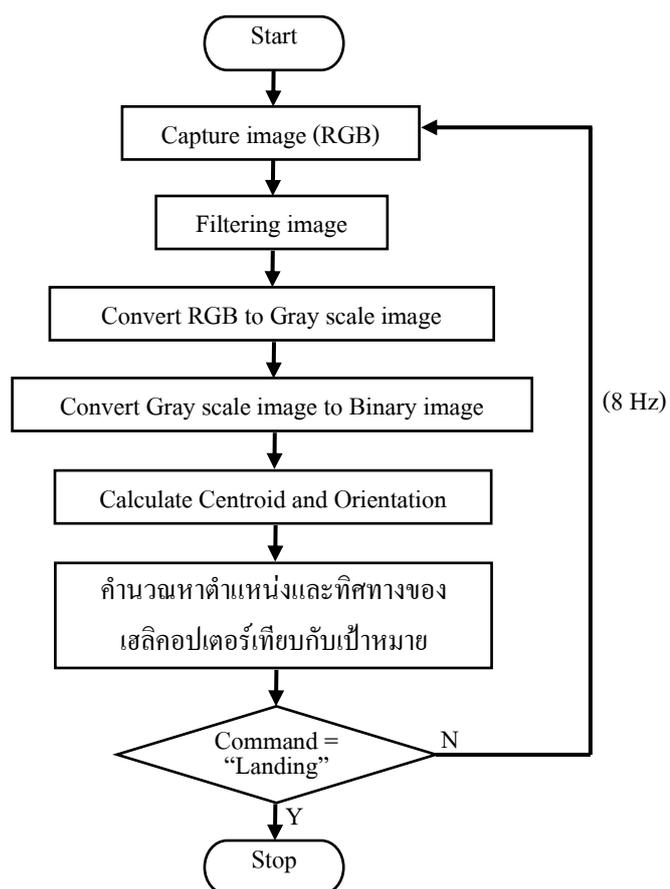
1. ส่วนคอมพิวเตอร์ ประมวลผลภาพ (Image Processing) เป็นส่วนที่ใช้ในการนำข้อมูลวิดีโอภาพที่ได้มาทำการประมวลผลภาพ ด้วยวิธีการต่างๆ เช่น การกรองข้อมูลภาพ, การแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ เป็นต้น
2. ส่วนคอมพิวเตอร์ควบคุมระบบการบินอัตโนมัติ (Flight Control) เป็นส่วนที่ใช้ในการควบคุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ให้ เคลื่อนที่ไปในตำแหน่งและ กำหนดทิศทางการบิน

ส่วนรับส่งสัญญาณ (Receiver and Transmitter) ทำหน้าที่รับสัญญาณวิดีโอ ภาพและส่งคำสั่งไปยังเฮลิคอปเตอร์ ประกอบด้วย 2 ส่วนคือ

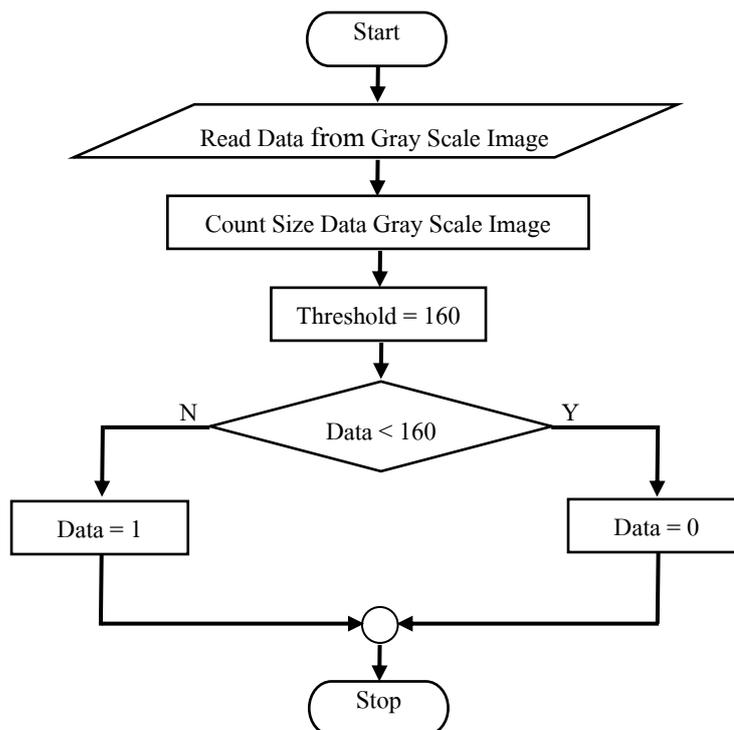
1. ชุดรับส่งสัญญาณวิดีโอภาพ (Video Receive) ทำหน้าที่ในการรับ ส่งสัญญาณจากกล้องวิดีโอ CCD ที่ติดตั้งอยู่ที่เฮลิคอปเตอร์ เพื่อส่งผ่านข้อมูลไปยัง เฟรมแกร็บเบอร์
2. RF Modem 900 MHz ทำหน้าที่ในการส่งคำสั่งไปให้กับเฮลิคอปเตอร์

3. ขั้นตอนการประมวลผลภาพ

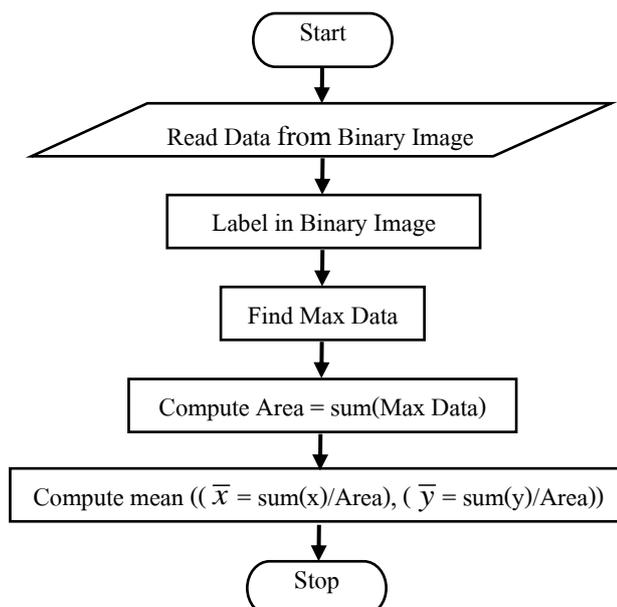
ขั้นตอน การทำการประมวลผลภาพ เริ่มต้นกระบวนการด้วยการรับข้อมูลวิดีโอภาพ ซึ่งภาพที่ได้ รับมาจาก เฟรมแกร็บเบอร์ จะเป็นภาพสี แต่ในกระบวนการประมวลผลจะทำการประมวลผลเชิงตัวเลขของภาพขาวดำ ดังนั้นภาพที่ได้รับมานั้นจึงถูกนำมาผ่านกระบวนการต่างๆ ตามรายละเอียดต่อไปนี้



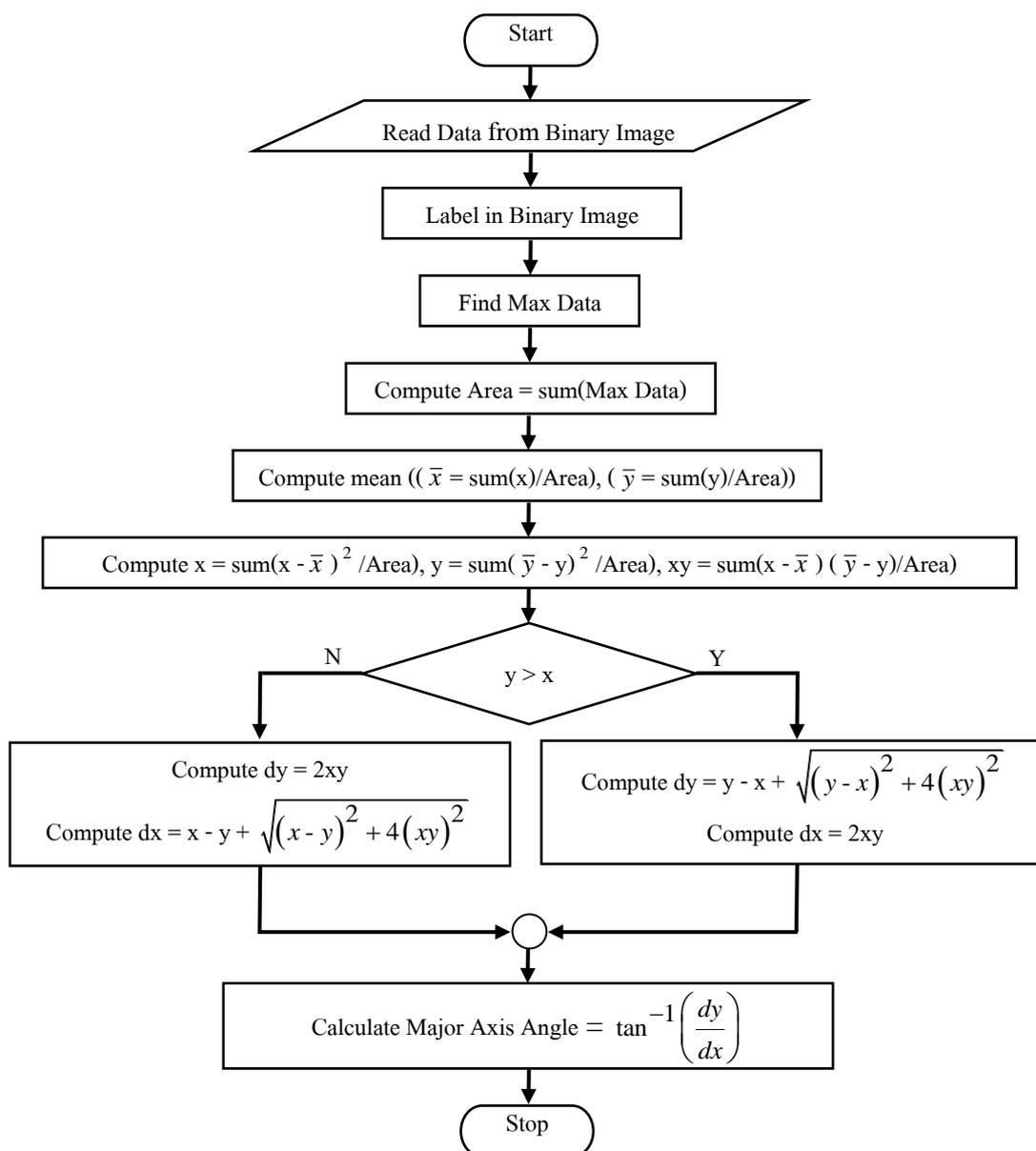
ภาพที่ 29 ขั้นตอนการประมวลผลภาพ



ภาพที่ 30 ขั้นตอนย่อยการแปลงจากภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำ



ภาพที่ 31 ขั้นตอนย่อยการคำนวณหาจุดศูนย์กลางของเป้าหมาย



ภาพที่ 32 ขั้นตอนย่อยการคำนวณหาทิศทางของเป้าหมาย

3.1 การจับรูปภาพ (Capture Image)

การจับข้อมูลวิดีโอภาพเพื่อให้เกิดความต่อเนื่องและเหมาะสมกับการนำไปใช้สำหรับการพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ นั้นในงานวิจัยนี้สามารถทำการประมวลผลได้ 8 เฟรมต่อหนึ่งวินาที (ถ้าจำนวนเฟรมต่อหนึ่งวินาทีมากขึ้นจะทำให้เกิดความต่อเนื่องและเพิ่มประสิทธิภาพการทำงานของระบบได้ดีมากขึ้น) คุณสมบัติของกล้องวิดีโอ CCD ที่ใช้สามารถให้ความละเอียดสูงสุดได้เท่ากับ 640 x 480 พิกเซล ซึ่งในงานวิจัยได้มีการ

กำหนดความละเอียดของภาพ (Resolution) ที่ใช้สำหรับการประมวลผลภาพ เท่ากับ 160×120 พิกเซล เนื่องจากได้มีการทดลองเพื่อหาความละเอียดของภาพที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานต่อในขั้นตอนถัดไปของการประมวลผลภาพและไม่ทำให้เกิดผลกระทบกับผลลัพธ์ที่ได้ ซึ่งเพียงพอกับการคำนวณหาตำแหน่งและทิศทางของการประมวลผลภาพอื่นที่ยังสามารถช่วยลดเวลาในการคำนวณได้อีกด้วย ดังได้แสดงภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการจับรูปภาพได้ตามภาพที่ 33



RGB Image

ภาพที่ 33 ผลลัพธ์จากขั้นตอนการจับรูปภาพ

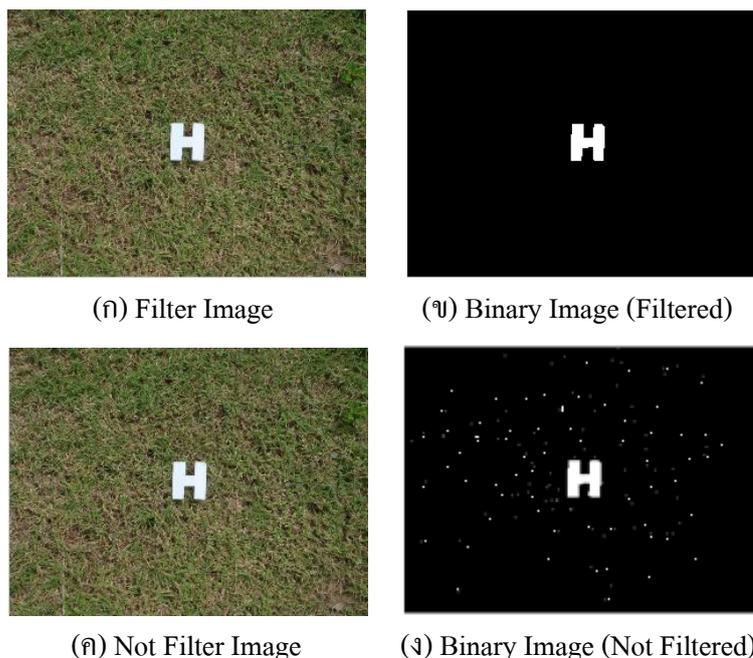
3.2 การกรองข้อมูลภาพ (Filtering Image)

ภาพสี (RGB Image) ที่รับมามีสัญญาณรบกวน (Noise) รวมอยู่ในภาพด้วย สาเหตุเนื่องมาจากแสง สีของสนามหญ้าที่ไม่เหมือนกัน หรือ ภาพของวัตถุแปลกปลอมที่ไม่ใช่ภาพของเป้าหมาย ดังนั้นจึงนำการกรองข้อมูลภาพเข้ามาปรับปรุง ให้ภาพมีคุณสมบัติเหมาะสมแก่การนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปโดยการลดทอนคุณสมบัติบางประการของภาพด้วย วิธีการกรองความถี่ต่ำผ่าน ค่าในการคอนโวลูชัน (Convolution) คือ $1/25$ และเคอร์เนล (Kernel) มีขนาด 5×5 ดังได้แสดงเคอร์เนลที่ใช้กรองข้อมูลได้ตามภาพที่ 34 และภาพผลลัพธ์การกรองข้อมูลได้ตามภาพที่ 35

1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25
1/25	1/25	1/25	1/25	1/25

Kernel

ภาพที่ 34 แสดงเคอร์เนลที่ใช้กรองข้อมูล



ภาพที่ 35 การเปรียบเทียบภาพผลลัพธ์การกรองข้อมูล (ก) ภาพสีที่กรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ($K = 1/25$), (ข) ภาพขาวดำที่กรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ($K = 1/25$), (ค) ภาพสีที่ไม่มีการกรองข้อมูล, (ง) ภาพขาวดำที่ไม่มีการกรองข้อมูล

จากภาพที่ 35 แสดงผลลัพธ์จากการกรองข้อมูลและไม่มีการกรองข้อมูล ภาพ (ค) คือภาพสีที่ไม่มีการกรองข้อมูล และเมื่อผ่านกระบวนการแปลงภาพตามขั้นตอนการประมวลผลภาพ ทำให้ได้ภาพขาวดำคือ ภาพ (ง) จะเห็นว่าหากไม่มีการกรองข้อมูลภาพผลลัพธ์ที่ได้จะมีจุดสีขาวซึ่งถือเป็นสัญญาณรบกวนและไม่พึงประสงค์ของภาพอีกทั้งยังส่งผลกับการประมวลผลภาพทำให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความผิดพลาด ภาพ (ก) คือภาพสีที่ถูกกรองด้วยตัวกรองความถี่ต่ำผ่าน ($K = 1/25$) และเมื่อผ่านกระบวนการแปลงภาพตามขั้นตอนการประมวลผลภาพแล้วทำให้ได้ภาพขาวดำคือ ภาพ (ข) จะเห็นว่าภาพผลลัพธ์จากการกรองข้อมูลทำให้ได้ภาพของเป้าหมายที่ชัดเจนและไม่มีสัญญาณรบกวนในภาพ

3.3 การแปลงจากภาพสี (RGB Image) เป็นภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image)

เมื่อภาพผ่านกระบวนการกรองสัญญาณรบกวน ออกแล้ว จึงทำการแปลงจากภาพสีเป็นภาพระดับสีเทา โดยใช้สมการที่ (1) ซึ่งอ้างอิงได้จาก เอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 109) ดังได้แสดงผลลัพธ์การแปลงตามภาพที่ 36

$$Y = 0.299R + 0.587G + 0.114B \quad (1)$$

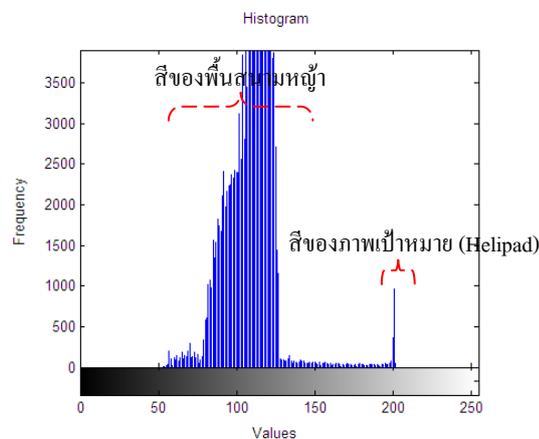


Gray-Scale Image

ภาพที่ 36 ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแปลงเป็นภาพระดับสีเทา

3.4 การแปลงจากภาพระดับสีเทา (Gray Scale Image) เป็นภาพขาวดำ (Binary Image)

หลังจากที่ได้ภาพ ระดับสีเทา แล้ว นำภาพนั้น ไปผ่านกระบวนการ แยกข้อมูลภาพ ออกเป็นส่วนๆ (Segmentation) เพื่อแยกระหว่างภาพของวัตถุเป้าหมายที่ต้องการในการลงจอดและ ภาพของพื้นสนามหญ้าด้วยวิธี Bilevel Luminance Thresholding เนื่องจากลักษณะของภาพ เป้าหมาย มีความเข้มสีคงที่เมื่อเทียบกับพื้นสนามหญ้า โดยการสร้างกราฟฮิสโตแกรมของภาพเพื่อ ใช้สำหรับการเลือกค่าที่เหมาะสมกับการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ



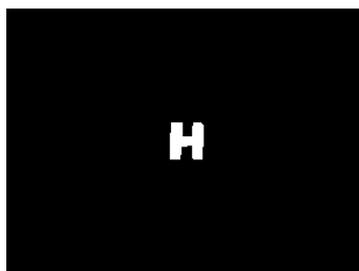
ภาพที่ 37 กราฟฮิสโตแกรมแสดงช่วงค่าความกระจายสีของภาพระดับสีเทา

ในการแปลงภาพระดับสีเทาเป็นภาพขาวดำนั้นจะใช้เทคนิคการทำเทรชโฮลด์เพื่อการ แยกกลุ่มของภาพออกเป็นส่วนๆ กระบวนการทำเทรชโฮลด์นั้นจะทำการเปรียบเทียบค่าของแต่ละ

ฟังก์ชันค่าของ เทรส โฮลด์ ที่เลือก การเลือกค่าเทรส โฮลด์ที่ใช้ในการแยกความแตกต่างของภาพ เป้าหมาย และภาพพื้นสนามหญ้า นั้นได้มาจากกราฟฮิสโทแกรมของภาพ ซึ่งกราฟสามารถบอก ช่วงค่าของภาพเป้าหมายและบอกช่วงค่าของภาพพื้นสนามหญ้า ดังนั้นในการเลือกค่าเทรส โฮลด์ จึงเลือกค่าที่อยู่ตรงกลางระหว่างช่วงค่าทั้งสอง เพื่อใช้ในการแยกข้อมูลภาพ โดยถ้าค่าที่เลือกมากกว่า ค่าในฟังก์ชัน จะเปลี่ยนค่า ในฟังก์ชันที่ตำแหน่งนั้นให้เป็น 1 และถ้าน้อยกว่าจะเปลี่ยนค่าฟังก์ชัน ตำแหน่งนั้นให้เป็น 0 ตามสมการที่ (2) จึงทำให้ได้ภาพที่มีแค่สองระดับคือ 1 (สีขาว) กับ 0 (สีดำ) หรือภาพขาวดำนั่นเอง ดังได้แสดงกราฟฮิสโทแกรมของภาพระดับสีเทาตามภาพที่ 37

$$f(x, y) = \begin{cases} 1 & \text{if } f(x, y) \geq 160 \\ 0 & \text{if } f(x, y) < 160 \end{cases} \quad (2)$$

ผลลัพธ์ของการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ ด้วยเทคนิค การทำเทรสโฮลด์ของภาพ ระดับสีเทาทำให้ได้ภาพที่เป็นภาพขาวดำ ดังได้แสดงไว้ตามภาพที่ 38



Binary image

ภาพที่ 38 ภาพผลลัพธ์จากขั้นตอนการแปลงเป็นภาพขาวดำ

3.5 การคำนวณหาศูนย์กลางและทิศทางของเป้าหมาย

ในการคำนวณหาศูนย์กลางและทิศทางของเป้าหมายในการลงจอดจะกระทำหลังจาก มีการแปลงภาพให้เป็นภาพขาวดำแล้ว โดยจะคำนวณหาศูนย์กลางและทิศทางจากรีเจียนสีขาว หรือ รีเจียนของเป้าหมาย วิธีการ เริ่มจากการหาพื้นที่ทั้งหมดของรีเจียนสีขาว ตามสมการที่ (3) แล้วหา ศูนย์กลางของเป้าหมาย ทางด้านแกน x (แถว) ตามสมการที่ (4) และด้านแกน y (คอลัมน์) ตาม สมการที่ (5) ซึ่งอ้างอิงได้จากเอกสารคู่มือการใช้งานโปรแกรม “Matlab Image Processing Toolbox

version 2” (The MathWork’s Team, 1997: 1128) ดังแสดงผลลัพธ์การหาศูนย์กลางของเป้าหมาย ด้วยเส้นประสีแดงได้ตามภาพที่ 39

$$A = \sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n B[x, y] \quad (3)$$

เมื่อ A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพเป้าหมาย
 $B[x, y]$ คือ พิกเซลสีขาวของภาพเป้าหมาย
 n คือ จำนวนพิกเซลของภาพนับตามแกน x
 m คือ จำนวนพิกเซลของภาพนับตามแกน y

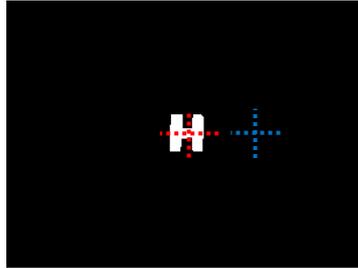
$$\bar{x} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n x B[x, y]}{A} \quad (4)$$

$$\bar{y} = \frac{\sum_{x=1}^m \sum_{y=1}^n y B[x, y]}{A} \quad (5)$$

เมื่อ \bar{x} คือ จุดศูนย์กลางของภาพเป้าหมายตามแนวแกน x
 \bar{y} คือ จุดศูนย์กลางของภาพเป้าหมายตามแนวแกน y
 $x B[x, y]$ คือ จำนวนพิกเซลสีขาวของภาพนับตามแกน x
 $y B[x, y]$ คือ จำนวนพิกเซลสีขาวของภาพนับตามแกน y
 A คือ ขนาดพื้นที่ของภาพเป้าหมาย

การคำนวณหาทิศทางของเป้า หมายถึงในการลงจุด กระทำได้เช่นเดียวกับการคำนวณหาศูนย์กลางของเป้าหมายโดยจะคำนวณหาจากรีเจียนสีขาวหรือรีเจียนของเป้าหมาย และหาทิศทางโดยเฉลี่ยของรีเจียน ตามสมการที่ (6) ดังแสดงผลการหาทิศทาง ของเป้าหมายด้วยเส้นประสีน้ำเงินได้ตามภาพที่ 39

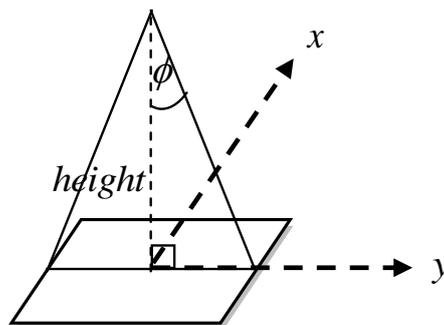
$$\text{major - axis angle} = \tan^{-1} \left(\frac{y_2 - y_1}{x_2 - x_1} \right) \quad (6)$$



ภาพที่ 39 ผลลัพธ์ในขั้นตอนของการหาศูนย์กลางและทิศทางของเป้าหมาย

3.6 การคำนวณหาระยะ (X Distance, Y Distance) ของเฮลิคอปเตอร์เทียบกับเป้าหมาย

การวิเคราะห์ภาพที่ได้เพื่อคำนวณหาระยะและทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอด สามารถ คำนวณหาระยะทางระหว่างเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติและศูนย์กลางของเป้าหมาย เป็นไปตามสมการที่ (7) และสมการที่ (8) ตามลำดับ ดังได้แสดงภาพมุมมองของกล้องตามภาพที่ 40



ภาพที่ 40 แสดงมุมมองของกล้อง

$$X_{heli} = \frac{height \times \tan \frac{\phi_v}{2} \times x_{image}}{\text{resolution of the camera along the x axis}} \quad (7)$$

$$Y_{heli} = \frac{height \times \tan \frac{\phi_h}{2} \times y_{image}}{\text{resolution of the camera along the y axis}} \quad (8)$$

เมื่อ X_{heli}, Y_{heli} คือ ค่าตำแหน่งของเฮลิคอปเตอร์ในแนวแกน X, Y ตามลำดับ

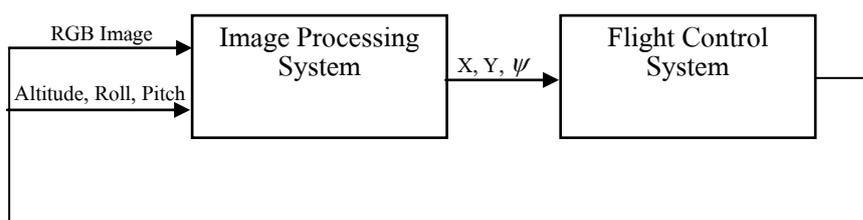
x_{image}, y_{image} คือ จำนวนพิกเซลในแนวแกน X, Y ตามลำดับ

ϕ_v, ϕ_h คือ มุมมองของกล้อง (Field of view) ในแนวแกน X, Y ตามลำดับ

$height$ คือ ค่าความสูงขณะบิน

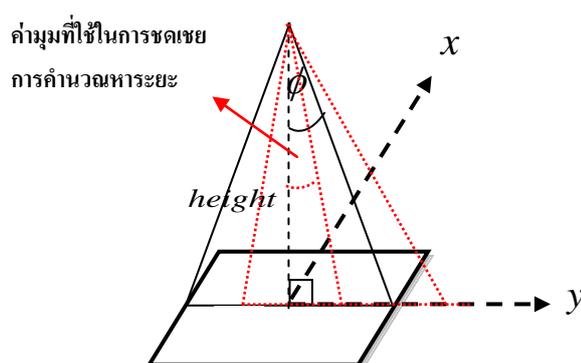
4. การแก้ไขข้อผิดพลาดของการคำนวณระยะด้วยการชดเชยค่า (Compensate)

เนื่องจากการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ นั้น ส่งผลให้ กล้องวิดีโอ CCD ที่ใช้ในการถ่ายภาพเกิดมุมการเคลื่อนที่ตามมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ทำให้เกิดข้อผิดพลาดในเรื่องของระยะที่คำนวณได้จากภาพถ่าย ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงทำการศึกษาเพิ่มเติมถึงลักษณะการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่เกิดขึ้น ทำให้ทราบถึงมุมเอียงตัวและมุมเงย ที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แนวทาง ในการแก้ปัญหาข้อผิดพลาด โดยการนำค่ามุมเอียงตัวและมุมเงยที่เกิดขึ้นมาชดเชยค่า ระยะที่ผิดพลาดจากมุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะ ได้จากระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ ดังได้แสดงแผนภาพบล็อกการทำงานเพื่อคำนวณค่าระยะชดเชยตามภาพที่ 41



ภาพที่ 41 แผนภาพบล็อกการทำงานของระบบเพื่อคำนวณค่าระยะชดเชย

จากภาพที่ 41 แผนภาพบล็อก (Block Diagram) เป็นการแสดงการทำงานในขั้นตอน การนำ ความสูง , ค่ามุมเอียงตัว และ มุมเงย จากระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ ป้อนกลับให้ระบบการประมวลผลภาพ (Image Processing System) ทำการแก้ไขข้อผิดพลาดของการคำนวณระยะ ที่เกิดขึ้นเพื่อให้ได้ค่าของระยะที่ถูกต้อง



ภาพที่ 42 แสดงมุมมองของกล่องที่มีการเคลื่อนที่ตามมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ

จากภาพที่ 42 แสดงภาพมุมมองของกล่อง ที่มีการเคลื่อนที่ตามมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่ส่งผลให้ระบบการประมวลผลภาพเกิดข้อผิดพลาด ในการคำนวณหาระยะของเฮลิคอปเตอร์เทียบกับเป้าหมาย เมื่อเฮลิคอปเตอร์ อัตโนมัติเกิดมุม เอียงตัวหรือมุมเงยซึ่งแสดงได้ตามเส้นประ สามารถคำนวณค่าของระยะเพื่อการชดเชยได้ตามสมการที่ (9) และสมการที่ (10)

$$X_{heli_compensate} = X_{heli} + height \times \tan(\phi_{pitch}) \quad (9)$$

$$Y_{heli_compensate} = Y_{heli} - height \times \tan(\phi_{roll}) \quad (10)$$

เมื่อ $X_{heli_compensate}, Y_{heli_compensate}$ คือ ค่าตำแหน่งที่ได้ชดเชยค่าจากมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ในแนวแกน X, Y ตามลำดับ
 $\phi_{pitch}, \phi_{roll}$ คือ มุมการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์

5. การวัดประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

การตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของ ขั้นตอนวิธี โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีคือ ค่าของระยะ (X Distance, Y Distance) กับผลการทำงานจากระบบ ดิจิทัล ในส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีคือ ทิศทาง (Orientation) กับผลการทำงานของไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเอียง (Yaw) ในส่วนของทิศทางเป้าหมาย

การนำ ระบบ ดิจิพีเอส มาเปรียบเทียบ เพื่อหาประสิทธิภาพ ทำโดยการติดตั้งเครื่องรับสัญญาณจีพีเอสที่ตำแหน่งกึ่งกลางเป้าหมาย เมื่อเป้าหมายมีการเคลื่อนที่ไปตามพิกัดต่างๆ จีพีเอสจะแสดงค่าพิกัดละติจูด (Latitude) และลองจิจูด (Longitude) เพื่อบอกตำแหน่งของเป้าหมายบนพื้นโลก ซึ่งผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธี ค่าของ X Distance เปรียบเทียบกับค่าระยะที่คำนวณได้จากพิกัดของละติจูด และผลลัพธ์จากขั้นตอนวิธี ค่าของ Y Distance เปรียบเทียบกับค่าระยะที่คำนวณได้จากพิกัดของลองจิจูด ดังแสดงภาพอุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสและสายอากาศ (Antenna) ได้ตามภาพที่ 43



ภาพที่ 43 อุปกรณ์รับสัญญาณจีพีเอสและสายอากาศ

งานวิจัยนี้ได้ใช้การเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีกับผลการทำงานของระบบดิจิพีเอส โดยใช้วิธีทางสถิติการหาค่าความคลาดเคลื่อน รากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE: Root Mean Square Error) การหาค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยของ X Distance เปรียบเทียบกับผลการทำงานของระบบดิจิพีเอสด้วยค่าระยะที่คำนวณได้จากพิกัดของละติจูดและ Y Distance เปรียบเทียบกับผลการทำงานของระบบดิจิพีเอสด้วยค่าระยะที่คำนวณได้จาก พิกัดของลองจิจูด ได้ตามสมการที่ (11) และสมการที่ (12) ตามลำดับ และการเปรียบเทียบในลักษณะการเคลื่อนที่ 2 มิติ ด้วยวิธีทางเวกเตอร์ ได้ตามสมการที่ (13)

$$RMSE - X_{heli_compensate} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_{compensate_i} - X_{DGPS_i})^2} \quad (11)$$

$$RMSE - Y_{heli_compensate} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Y_{compensate_i} - Y_{DGPS_i})^2} \quad (12)$$

$$RMSE - XY_{heli} = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N \left(\left(\sqrt{X_{compensate_i}^2 + Y_{compensate_i}^2} \right) - \left(\sqrt{X_{DGPS_i}^2 + Y_{DGPS_i}^2} \right) \right)^2} \quad (13)$$

- เมื่อ $RMSE_X_{heli_compensate}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยตำแหน่งของ
เฮลิคอปเตอร์ในแนวแกน X
- $RMSE_Y_{heli_compensate}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยของตำแหน่ง
เฮลิคอปเตอร์ในแนวแกน Y
- $RMSE_XY_{heli}$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยตำแหน่งของเฮลิคอปเตอร์
ในแนวแกน X และ Y ในลักษณะการเคลื่อนที่ 2 มิติ ด้วยวิธีเวกเตอร์
- $X_{compensate_i}, Y_{compensate_i}$ คือ ค่าตำแหน่งที่ได้ชดเชยค่าจากมุมการเคลื่อนที่ของ
เฮลิคอปเตอร์ที่ได้จากผลของขั้นตอนวิธีในแนวแกน X
และในแนวแกน Y ตามลำดับ
- X_{DGPS_i}, Y_{DGPS_i} คือ ค่าตำแหน่งที่ได้จากผลการทำงานของระบบจีพีเอสในละติจูดและ
ลองจิจูด ตามลำดับ
- N คือ จำนวนเฟรม

การเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีในส่วนของทิศทางเป้าหมาย โดยใช้วิธีทางสถิติการ
หาค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยของมุมที่ได้จากจำนวน ทิศทางเป้าหมายเปรียบเทียบกับ
ผลการทำงานของไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเฉลี่ย ดังแสดงได้ตามสมการที่ (14)

$$RMSE_Orientation = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (Orientation_i - GyroYaw_i)^2} \quad (14)$$

- เมื่อ $RMSE_Orientation$ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนรากกำลังสองเฉลี่ยทิศทางของ
เฮลิคอปเตอร์
- $Orientation_i$ คือ ค่าทิศทางของเฮลิคอปเตอร์ที่ได้จากผลของขั้นตอนวิธี
- $GyroYaw_i$ คือ ค่าทิศทางที่ได้จากผลการทำงานของไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเฉลี่ย
- N คือ จำนวนเฟรม

6. การหาความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์ที่เหมาะสม

ในการประมวลผลภาพ การกำหนดความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์มีผล
โดยตรงกับความเร็ว ในการประมวลผล ถ้ากำหนดความละเอียดของภาพสูงจะใช้เวลาในการ
ประมวลผลมาก ทำนองเดียวกับการกำหนดขนาดของเซลล์ ถ้าเซลล์มีขนาดใหญ่จะส่งผลให้ใช้

เวลาในการประมวลผลเหมือนกัน ในงานวิจัยนี้ต้องการให้ได้ความเร็วในการประมวลผลที่เร็วที่สุดเท่าที่จะสามารถทำได้ แต่ด้วยข้อจำกัดของระบบรับส่งข้อมูลไร้สาย (Radio Frequency Modem) ที่ใช้รับส่งข้อมูลระหว่างคอมพิวเตอร์ภาคพื้นและเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ทำให้สามารถรับส่งข้อมูลได้ด้วยความเร็วสูงสุด 8 Hz ดังนั้นในการกำหนดความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์ จึงเลือกค่าที่สามารถทำให้ระบบประมวลผลภาพสามารถประมวลผลได้ที่ความเร็ว 8 Hz

ในการเลือกค่าความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์ที่เหมาะสม ได้ทำการทดลองด้วยการติดตั้งกล้องไว้ที่ความสูง 1 เมตร และกำหนดเป้าหมายไว้ที่จุดกึ่งกลางของภาพในทิศทาง 0 องศา แล้วทำการปรับเปลี่ยนค่าความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์เพื่อหาค่าที่ทำให้สามารถทำการประมวลผลได้ที่ความเร็ว 8 Hz ผลการทดลองทำให้ได้ความเร็วในการประมวลผลและค่าความคลาดเคลื่อนของทิศทางที่มีความสัมพันธ์กับความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 ตารางแสดงความละเอียดของภาพและขนาดของเซลล์

ความละเอียดของภาพ	ขนาดของเซลล์	ความเร็วในการประมวลผล	ความคลาดเคลื่อน
640 x 480 พิกเซล	9 x 9	2 Hz	± 0.1 องศา
640 x 480 พิกเซล	7 x 7	3 Hz	± 4 องศา
640 x 480 พิกเซล	5 x 5	4 Hz	± 7.3 องศา
320 x 240 พิกเซล	9 x 9	3 Hz	± 5.4 องศา
320 x 240 พิกเซล	7 x 7	4 Hz	± 2.1 องศา
320 x 240 พิกเซล	5 x 5	6 Hz	± 8 องศา
160 x 120 พิกเซล	9 x 9	5 Hz	± 8.6 องศา
160 x 120 พิกเซล	7 x 7	6 Hz	± 5 องศา
160 x 120 พิกเซล	5 x 5	8 Hz	± 1.5 องศา

ในการทดลองได้เริ่มต้นกำหนดความละเอียดของภาพที่ความละเอียด 640 x 480 พิกเซล แล้วทำการลดขนาดของเซลล์จากขนาด 9x9 เป็นขนาด 7x7 และขนาด 5x5 ตามลำดับ ทำให้ได้ความเร็วในการประมวลผลสูงสุด 4 Hz จึงได้ทำการลดความละเอียดของภาพลงเหลือ 320 x 240 พิกเซล และลดขนาดของเซลล์ในลักษณะเช่นเดิม ทำให้ได้ความเร็วในการประมวลผลสูงสุด

6 Hz ซึ่งทั้งสองกรณียังไม่สามารถทำให้ได้ความเร็วในการประมวลผลตามที่ต้องการ ดังนั้นจึงทำการลดความละเอียดของภาพลงเหลือ 160 x 120 พิกเซล และลดขนาดของเซลล์ในลักษณะเช่นเดิม ผลการทดลองในการกำหนดขนาดของเซลล์ขนาด 5 x 5 ทำให้ได้ความเร็วในการประมวลผล 8 Hz และค่าความคลาดเคลื่อนของทิศทาง ± 1.5 องศา ดังนั้นจึงเลือกใช้ความละเอียดของภาพที่ 160 x 120 พิกเซล และขนาดของเซลล์ที่ขนาด 5 x 5 ในการใช้งาน

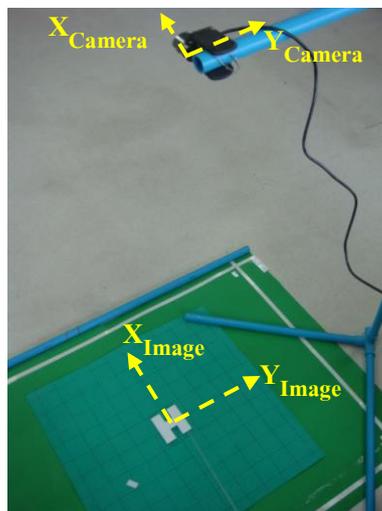
ผลและวิจารณ์

ผล

ผลลัพธ์ของ ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้นในงานวิจัยนี้คือ การแสดง ค่าของ ระยะและทิศทางของ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ที่เทียบกับเป้าหมายในการลงจอด เพื่อส่งผลที่ได้ให้กับระบบควบคุม การบินอัตโนมัติของ เฮลิคอปเตอร์สำหรับการควบคุมให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบินอยู่เหนือเป้าหมายในการลงจอดและทำการลดระดับความสูงเพื่อการลงจอดต่อไป ดังนั้นจึงได้มีการจำลอง การทดสอบ การทำงานของ ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้น ด้วยการจำลองการทดสอบภายในห้องทดลองและภายนอกห้องทดลอง จากนั้นจึงทำการทดสอบ ขั้นตอนวิธี กับการบินของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติจริง ซึ่งผลการดำเนินงานแสดงรายละเอียดตามต่อไปนี้

1. ผลการจำลองการทดสอบภายในห้องทดลอง

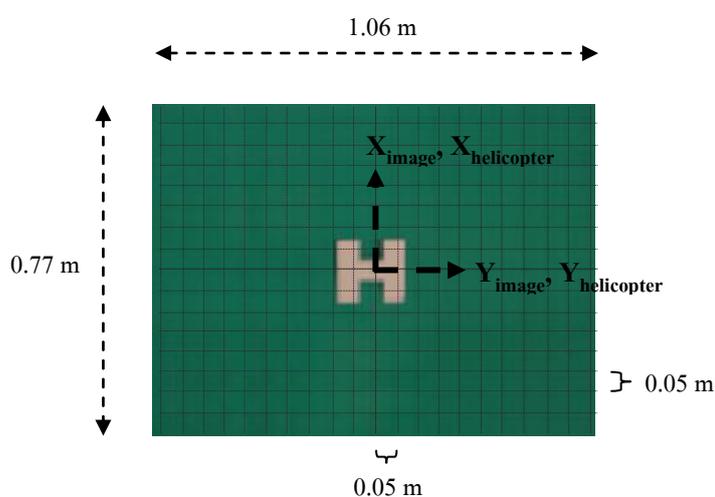
การจำลองการทดสอบในขั้นตอนนี้ เป็นการทดสอบ ขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้น ซึ่งดำเนินการ โดยการนำกล้อง วิดีโอ CCD มาแขวน ในแนวระนาบ กับเสาที่ใช้แทนความสูงในการบินของ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ที่ความสูง 1 เมตร ปรับมุมของกล้อง ให้ขนานกับแกนแนวตั้งโดยกล้อง ตั้งฉากกับพื้น และจากมุมมองของกล้อง มีขอบเขตในแนวนอน 1.06 เมตร และในแนวตั้ง 0.77 เมตร ดังได้แสดงการจำลองการทดสอบภายในห้องตามภาพที่ 43



ภาพที่ 44 การจำลองการทดสอบภายในห้องทดลอง

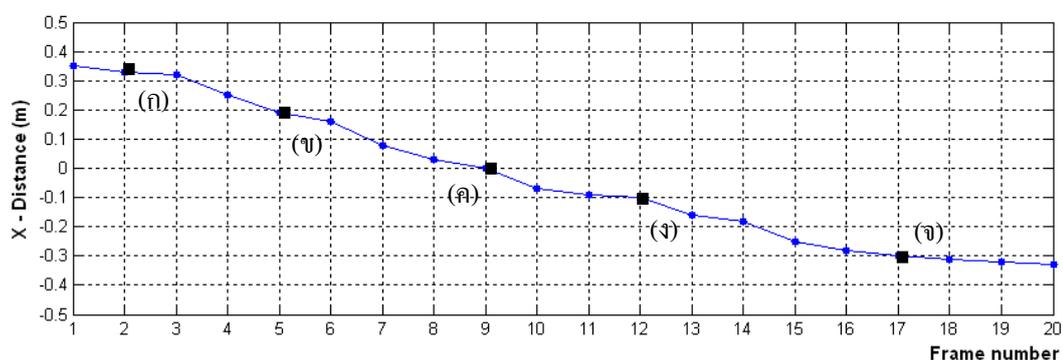
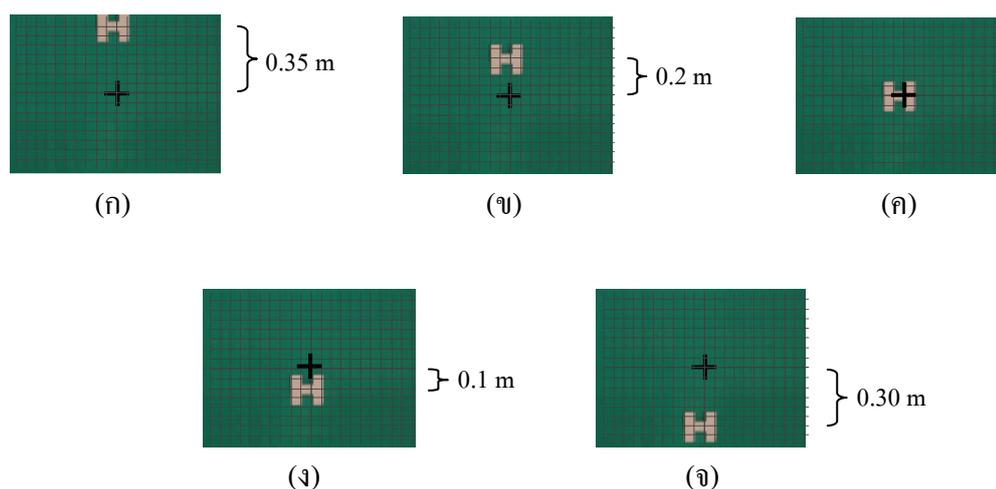
เพื่อเป็นการตรวจสอบผลที่ได้จากระบบการประมวลผลภาพ เป้าหมายถูกเคลื่อนที่ไปตาม พิกัดต่างๆ เพื่อตรวจสอบความถูกต้องของระยะตามแนวแกน X และระยะตามแนวแกน Y รวมทั้ง มีการหมุนเป้าหมายเพื่อตรวจสอบความถูกต้องของทิศทาง ทั้งหมดเพื่อแทนการเคลื่อนที่ของ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ

ภาพที่ 45 แสดงอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ การเคลื่อนที่ของเป้าหมาย โดยแผ่นตาราง สีเขียวใช้แทน สนามหญ้า ซึ่งแต่ละช่องของตาราง คือพิกัดที่ใช้สำหรับตรวจสอบ ค่าของระยะ ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y ที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่ สร้างขึ้น เพื่อทดสอบ การเคลื่อนที่ของ เป้าหมาย ดังได้แสดงผลการทดสอบภายในห้องทดลองตามต่อไปนี้



ภาพที่ 45 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย

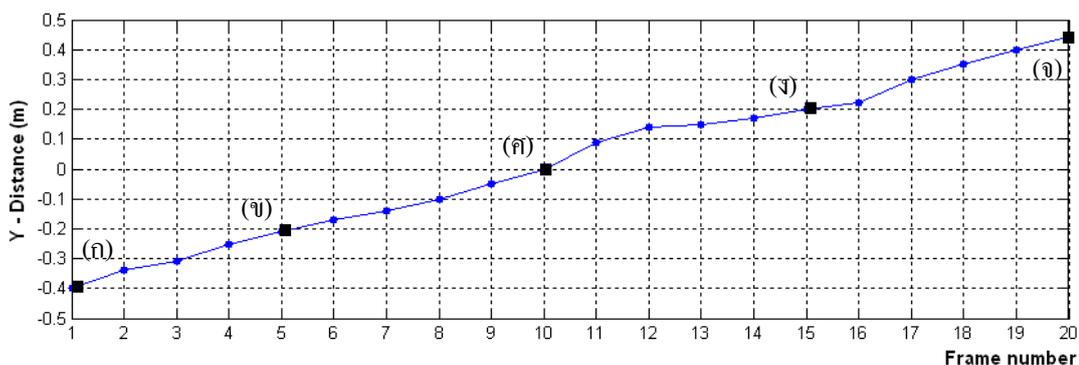
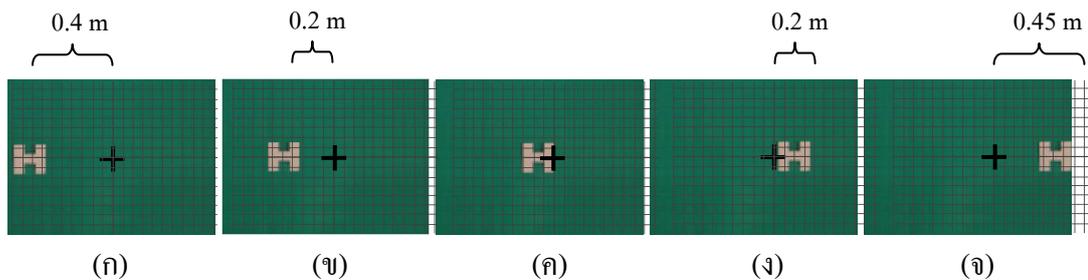
ผลจากการจำลอง การทดสอบ การเคลื่อนที่ เป้าหมายตาม แนวแกน X โดยไม่ มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เป้าหมาย ตามแนวแกน Y และทิศทางของเป้าหมายยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง มุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเป็นศูนย์ ดังได้แสดงกราฟผลการทดลอง ตามภาพที่ 46



ภาพที่ 46 กราฟผลการทดสอบ โดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X ภายในห้องทดลอง
(Y Distance = 0, Pitch Angle = 0, Roll Angle = 0)

จากภาพกราฟที่ 46 แสดงผลการทดลอง โดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X จากผลการทดลองสามารถสังเกตกราฟได้ว่า เมื่อเป้าหมายมีการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X โดยให้เป้าหมายเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเคลื่อนที่จากบนลงล่างของภาพ (ตามภาพที่ 46 (ก)-(จ)) และกราฟแสดงระยะทางการเคลื่อนที่เป้าหมาย ตามแนวแกน X (การวัดระยะทาง วัดจากจุดกึ่งกลางของภาพไปตามแนวแกน X)

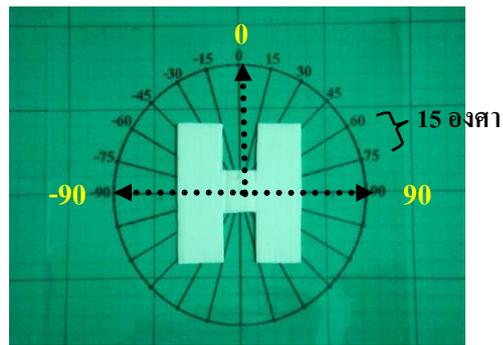
ผลจากการจำลอง การทดสอบการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y โดยไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X และทิศทางของเป้าหมายยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง มุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเป็นศูนย์ ดังได้แสดงกราฟผลการทดลองตามภาพที่ 47



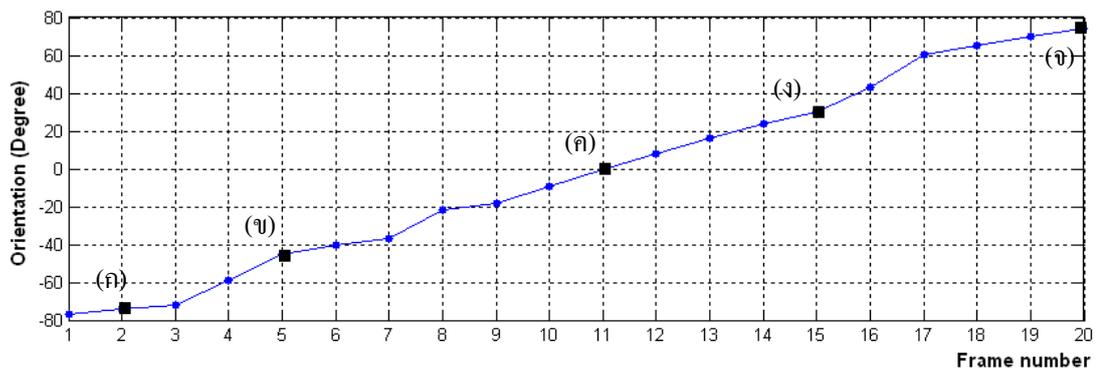
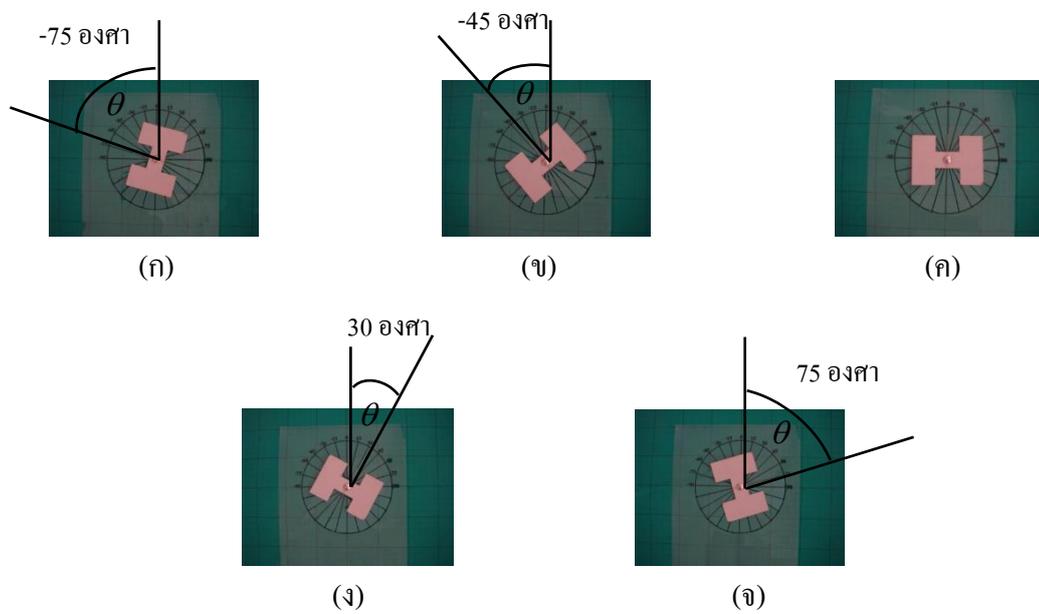
ภาพที่ 47 กราฟผลการทดสอบโดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y ภายในห้องทดลอง
(X Distance = 0, Pitch Angle = 0, Roll Angle = 0)

จากภาพกราฟที่ 47 แสดงผลการทดลองโดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y ผลการทดลองให้ผลเช่นเดียวกันกับในภาพ กราฟ ที่ 45 แตกต่างกันเพียงแนว แกนที่เป้าหมายทำการเคลื่อนที่เท่านั้น เป้าหมายมีการเคลื่อนที่ ตามแนวแกน Y โดยให้เป้าหมายเปลี่ยนแปลงตำแหน่งเคลื่อนที่จากซ้ายไปขวาของภาพ (ตามภาพที่ 47 (ก)-(จ)) และกราฟแสดง ระยะทาง การเคลื่อนที่ เป้าหมายตามแนวแกน Y (การวัดระยะทางวัดจากจุดกึ่งกลางของภาพไปตามแนวแกน Y)

ผลการทดสอบพบว่า ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้น ให้ผลตรงกันกับการเคลื่อนที่เป้าหมายไปตาม พิกัดตำแหน่ง ต่างๆ ตามแนวแกน ได้อย่างถูกต้อง ตามการเคลื่อนที่ ซึ่งมีความผิดพลาดของแต่ละ พิกัดเกิดขึ้น โดยจะ คำนวณความผิดพลาดในส่วนการทดลองเพื่อหาประสิทธิภาพต่อไป จากนั้นจึง ทำการทดสอบหมุนเป้าหมายเพื่อตรวจสอบ ผลความถูกต้องของทิศทาง เป้าหมายเมื่อเทียบกับแกน X ของภาพ ดัง ได้แสดงภาพอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหมุนเป้าหมาย ตามภาพที่ 48 และกราฟ ผลการทดลองแสดงตามภาพที่ 49



ภาพที่ 48 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหมุนเป้าหมาย



ภาพที่ 49 กราฟผลการทดสอบโดยการหมุนเป้าหมายภายในห้องทดลอง

จากภาพ กราฟที่ 49 แสดงผลการทดลองโดยการหมุนเป้าหมาย พบว่าเมื่อจัดให้ตำแหน่งของเป้าหมายคงที่ไม่มีมีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตาม แนวแกน X และตามแนวแกน Y โดยให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะทิศทางของเป้าหมายด้วยการหมุนเป้าหมาย (ตามภาพที่ 49 (ก)-(จ)) และกราฟแสดงองศาตามการหมุนเป้าหมาย ซึ่งมีการเปลี่ยนแปลงตามลักษณะการหมุนเป้าหมายในทิศทางตามเข็มนาฬิกา

จากผลการทดสอบขั้นตอนวิธีภายในห้องทดลองพบว่าขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นให้ค่าที่เป็นไปตามการเคลื่อนที่ ขั้นตอนต่อไปจึง ทำทดสอบภายนอกห้องทดลองและ ทดลองใช้ร่วมกับอุปกรณ์ต่อเชื่อมเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติ ดังได้แสดงในขั้นตอนต่อไป

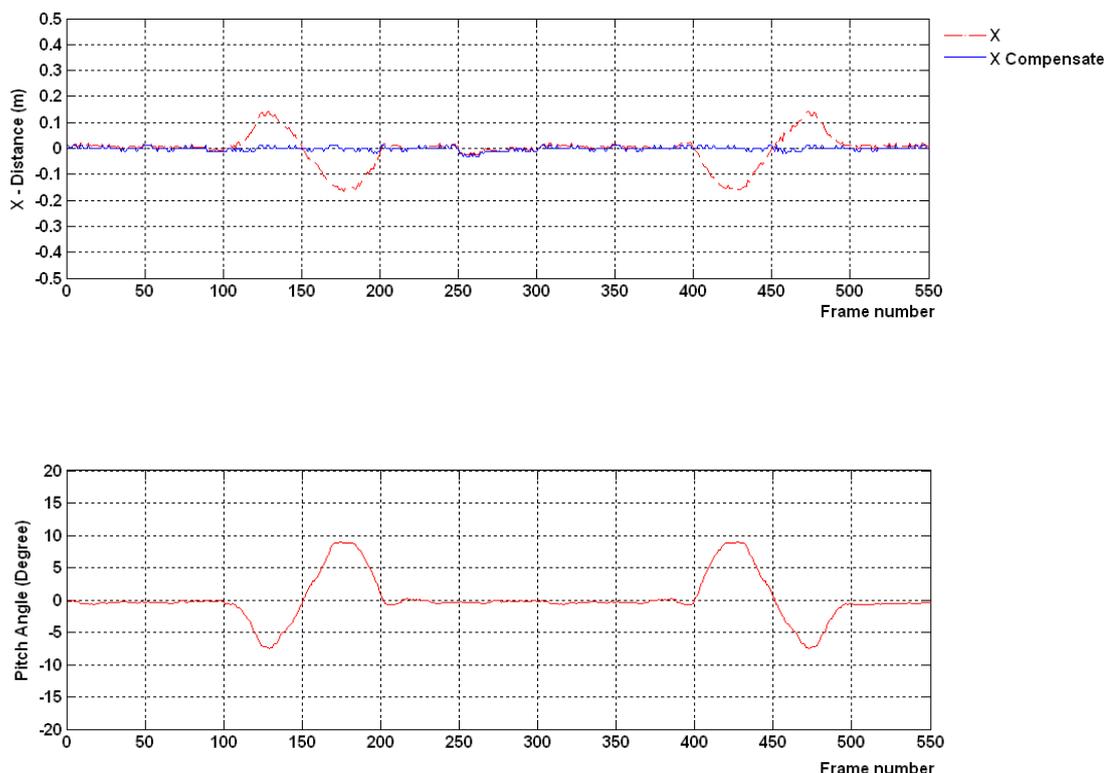
2. ผลการจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลอง

การจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลองต้องอาศัยการปรับแต่งค่าพารามิเตอร์ต่างๆ เช่น ค่าเทรสโฮลด์เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริง ตามความสว่างของแสงและสภาพของพื้นที่ในการทำงาน รวมทั้งเป็นการทดลองการเชื่อมต่อกับอุปกรณ์ต่างๆ ในขั้นตอนนี้จึงมีความคล้ายคลึงกับการทดลองใช้งานกับเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติ ผลการจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลองแสดงตามต่อไปนี้

2.1 ผลการจำลองการทดสอบ โดยการพิจารณาค่ามุมการเคลื่อนที่ของเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติ

การจำลองการทดสอบนี้เป็นการทดสอบขั้นตอนวิธีที่สร้างโดยการพิจารณาค่ามุมการเคลื่อนที่ของเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติที่เกิดขึ้นขณะบิน เตรียมการทดสอบโดยการนำกล้อง วีดีโอ CCD ติดกับไจโรเซนเซอร์ โดยให้เลนส์ของกล้องขนานกับแนวระนาบของ ไจโรเซนเซอร์ เพื่อให้ไจโรเซนเซอร์แสดงค่ามุมเอียงตัวและมุมยก เมื่อมีการเอียงซ้ายหรือเอียงขวา มีการก้มหรือเงยจากแนวระดับ (แทนมุมการเคลื่อนที่ของเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก) จากนั้นนำกล้องวีดีโอ CCD ดังกล่าว มาแขวนในแนวระนาบกับเสาที่ใช้แทนความสูงในการบินของเสลิกอปเตอร์อัตโนมัติที่ความสูง 1 เมตร ปรับมุมของกล้องให้ขนานกับแกนแนวดิ่งโดยกล้อง ตั้งฉากกับพื้น ฉายตรงมาที่เป้าหมายในการลงจอดบนสนามหญ้า ซึ่งเป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ และจากมุมมองของกล้องมีขอบเขตในแนวนอน 1.06 เมตร และในแนวตั้ง 0.77 เมตร ดังได้แสดงผลการทดลองตามต่อไปนี้

ผลจากการจำลองการทดสอบ โดยให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y มุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่ส่งผลกระทบต่อระยะ ที่คำนวณได้ตามแนวแกน X ดังได้แสดงกราฟผลการทดลองตามภาพที่ 50



ภาพที่ 50 กราฟผลการทดสอบแสดงระยะที่ได้รับผลกระทบจากมุมเงย ด้วยค่าของ X Distance และ X Distance Compensate

จากภาพกราฟที่ 50 แสดงผลการทดลองโดยการ กำหนดให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ แล้วทำการขยับเฉพาะมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ ในมุมเงย เพื่อตรวจสอบระยะทางตามแนวแกน X ซึ่งระยะทางที่คำนวณได้รับผลกระทบจากมุมเงย โดยที่ X Distance คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเงย (แสดงด้วยเส้นประสีแดง) และ X Distance Compensate คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเงย (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-100 เป้าหมาย อยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0001 เมตร

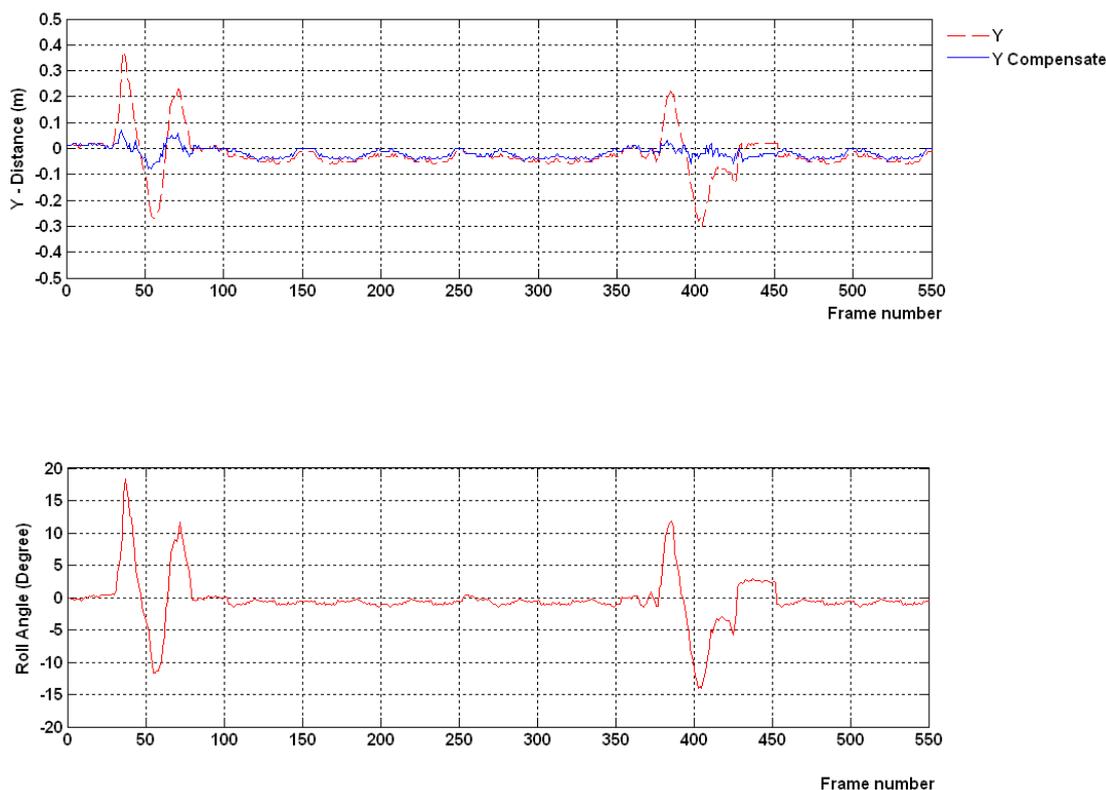
ในช่วงเฟรมที่ 101-200 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0015 เมตร ค่าของ X Distance แสดงระยะทางตามการเปลี่ยนแปลงของมุมเงย ดังได้แสดงตามภาพที่ 50

ในช่วงเฟรมที่ 201-400 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0002 เมตร

ในช่วงเฟรมที่ 401-500 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0022 เมตร ค่าของ X Distance แสดงระยะทางตามการเปลี่ยนแปลงของมุมเงย ดังได้แสดงตามภาพที่ 50

ในช่วงเฟรมที่ 501-550 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0003 เมตร

ผลจากการจำลองการทดสอบ โดย การกำหนด ให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y มุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่ส่งผลกระทบต่อระยะที่ กำหนดได้ตามแนวแกน Y ดังได้แสดงกราฟผลการทดลองตามภาพที่ 51



ภาพที่ 51 กราฟผลการทดสอบแสดงระยะที่ได้รับผลกระทบจากมุมเอียงตัว ด้วยค่าของ Y Distance และ Y Distance Compensate

จากภาพกราฟที่ 51 แสดงผลการทดลองโดยการ กำหนดให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางของภาพ แล้วทำการขยับเฉพาะมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ ในมุมเอียงตัว เพื่อตรวจสอบระยะทางตามแนวแกน Y ซึ่งระยะทางที่คำนวณ ได้รับผลกระทบจากมุมเอียงตัว โดยที่ Y Distance คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเอียงตัว (แสดงด้วยเส้นประสีแดง) และ Y Distance Compensate คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเอียงตัว (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-24 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0032 เมตร

ในช่วงเฟรมที่ 25-75 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0074 เมตร ค่าของ Y Distance แสดงระยะทางตามการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงตัว ดังได้แสดงตามภาพที่ 51

ในช่วงเฟรมที่ 76-375 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0064 เมตร

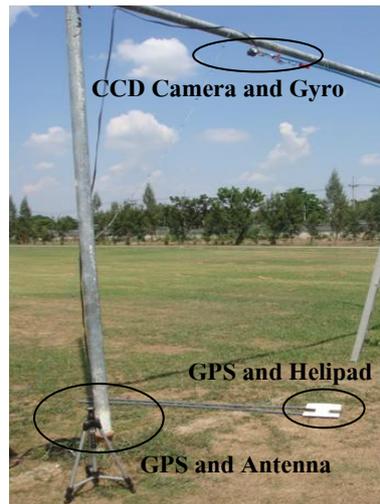
ในช่วงเฟรมที่ 376-450 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0069 เมตร ค่าของ Y Distance แสดงระยะทางตามการเปลี่ยนแปลงของมุมเอียงตัว ดังได้แสดงตามภาพที่ 51

ในช่วงเฟรมที่ 451-550 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0048 เมตร

จากผลการทดลองให้ผลสรุปว่าการคำนวณค่าชดเชยสามารถแก้ไขข้อบกพร่องของระยะที่เกิดจากการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติได้

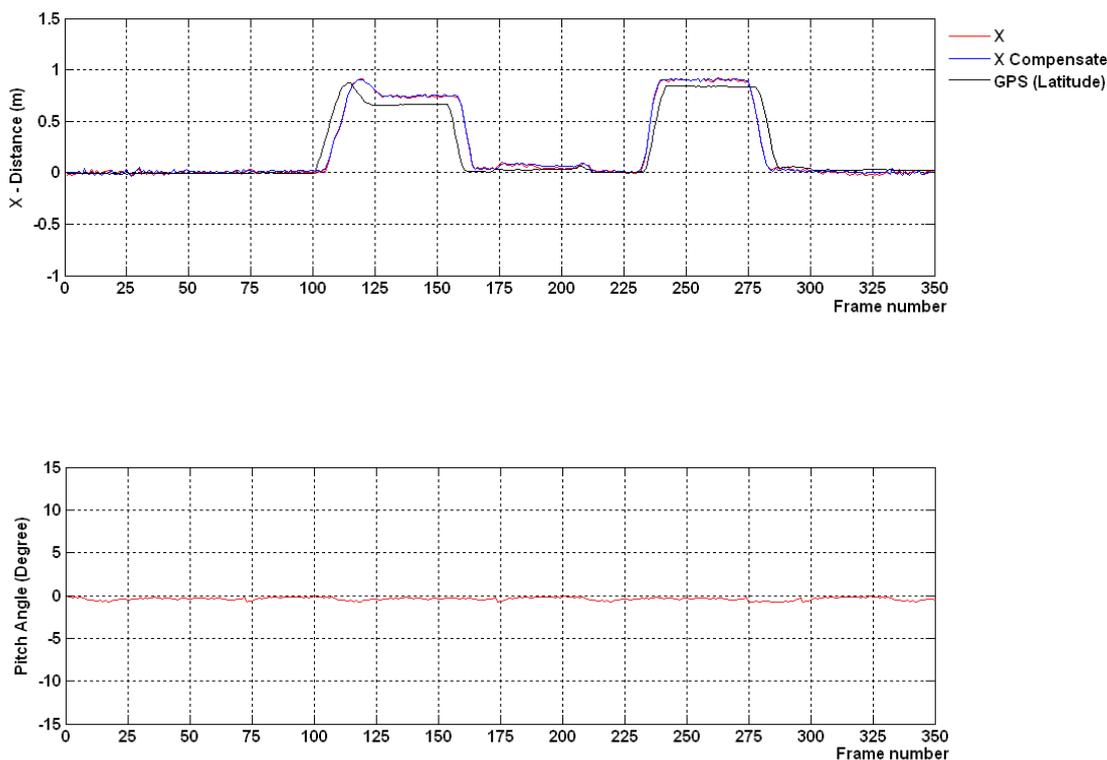
2.2 ผลการจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลองเพื่อการเปรียบเทียบผลการทำงานกับระบบดีจีพีเอส

การจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลอง เตรียมการทดสอบโดยการนำกล้องวิดีโอ CCD ติดกับไจโรเซนเซอร์โดยให้เลนส์ของกล้องขนานกับแนวระนาบของไจโรเซนเซอร์ จากนั้นนำกล้องวิดีโอ CCD ดังกล่าว มาแขวนในแนวระนาบกับเสาที่ใช้แทนความสูงในการบินของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติที่ความสูง 3 เมตร โดยกล้องจะตั้งฉากกับพื้น ฉายตรงมาที่เป้าหมายในการลงจอดบนสนามหญ้า (เป้าหมายมีขนาด 21×30 เซนติเมตร) และจากมุมมองของกล้อง มีขอบเขตในแนวนอน 3.05 เมตร และในแนวตั้ง 2.26 เมตร ทำการเคลื่อนที่เป้าหมายไปยังพิกัดต่างๆ ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y พร้อมทั้งหมุนเป้าหมายเพื่อทดสอบทิศทาง (การเคลื่อนที่และหมุนเป้าหมายแทนการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก) การทดสอบนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับผลการทำงานของระบบดีจีพีเอส ในส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเอียง ในส่วนของทิศทางของเป้าหมาย เพื่อเป็นการตรวจสอบประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้น ดังได้แสดงภาพการจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลองตามภาพที่ 52 และผลการทดลองตามต่อไปนี้



ภาพที่ 52 การจำลองการทดสอบภายนอกห้องทดลอง

ผลจากการจำลองการทดสอบโดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตาม แนวแกน X ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y ทิศทางของเป้าหมายยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเป็นศูนย์ ดังได้ แสดงระยะในการเคลื่อนที่ด้วย X Distance, X Distance Compensate และ GPS Latitude Distance ตามภาพที่ 53



ภาพที่ 53 กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระยะระหว่าง X Distance, X Distance Compensate และ GPS Latitude Distance

จากภาพกราฟที่ 53 แสดงผลการทดลองโดย การเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X กราฟเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X ระหว่าง X Distance คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุม เียง (แสดงด้วยเส้น สีแดง), X Distance Compensate คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุม เียง (แสดงด้วยเส้นที่ราบสีน้ำเงิน) และ GPS Latitude Distance คือระยะทางที่ได้จากผล การทำงานของ ระบบ ดิจิทัลเอส ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-100 ได้กำหนดให้ เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0167 เมตร และ GPS Latitude Distance แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0122 เมตร

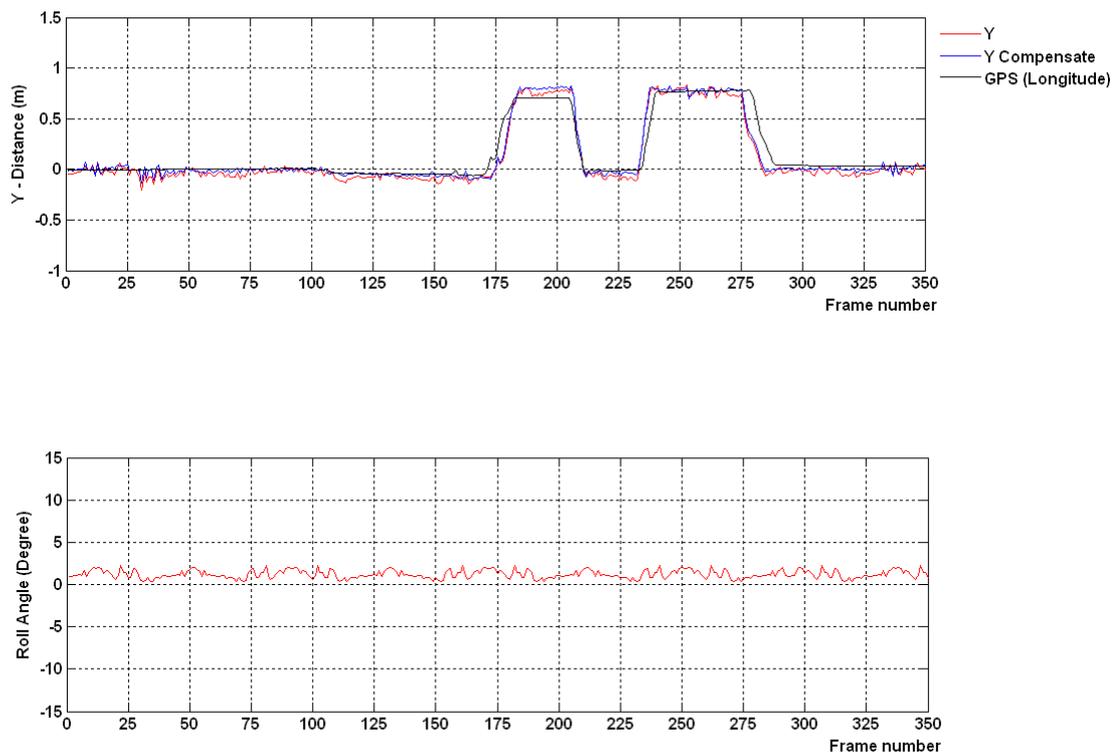
ในช่วงเฟรมที่ 101-288 ได้ทำการ เคลื่อนที่เป้าหมายจากจุดกึ่งกลางของภาพ ขึ้นตาม แนวแกน X และลงมายังจุดกึ่งกลางของภาพตามลำดับ ค่าของ X Distance Compensate แสดง

ระยะทางการเคลื่อนที่ ตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และ GPS Latitude Distance แสดงระยะทางการเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเช่นกัน ดังได้แสดงตามภาพที่ 53

ในช่วงเฟรมที่ 289-350 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0173 เมตร และ GPS Latitude Distance แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0509 เมตร

จากการทำการทดลองเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X จะเห็นได้ว่ากราฟแสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของ X Distance Compensate และ GPS Latitude Distance ให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน

ผลจากการจำลองการทดสอบ โดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y ไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X ทิศทางของเป้าหมายยังคงเดิมไม่มีการเปลี่ยนแปลง และมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเป็นศูนย์ ดังได้ แสดงระยะในการเคลื่อนที่ด้วย Y Distance, Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance ตามภาพที่ 54



ภาพที่ 54 กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบระยะระหว่าง Y Distance, Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance

จากภาพกราฟที่ 54 แสดงผลการทดลองโดยการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y กราฟเปรียบเทียบระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y ระหว่าง Y Distance คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุม เอียงตัว (แสดงด้วยเส้นสีแดง), Y Distance Compensate คือระยะทางที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุม เอียงตัว (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) และ GPS Longitude Distance คือระยะทางที่ได้จากผลการทำงานของระบบ ดิจิทัลเอส ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-170 ได้กำหนดให้ เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย -0.0144 เมตร และค่าของ GPS Longitude Distance แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0197 เมตร

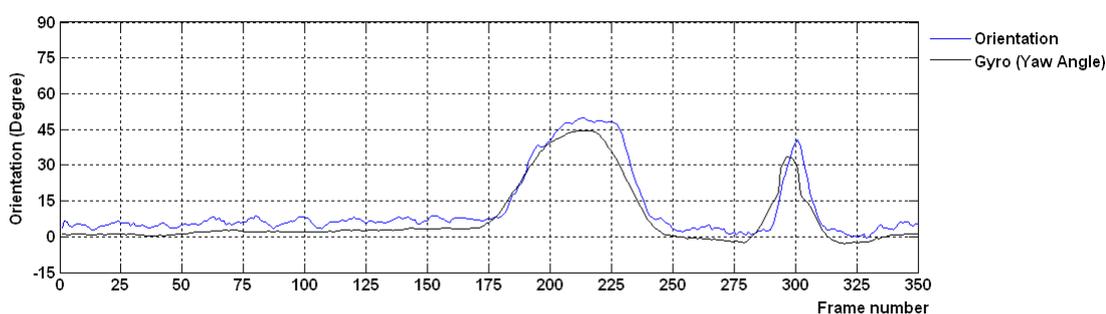
ในช่วงเฟรมที่ 171-288 ได้ทำการเคลื่อนที่เป้าหมายจากจุดกึ่งกลางของภาพ ไปทางขวาตามแนวแกน Y และกลับมายังจุดกึ่งกลางของภาพตามลำดับ ค่าของ Y Distance Compensate แสดง

ระยะทางการเคลื่อนที่ ตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และค่าของ GPS Longitude Distance แสดง ระยะทางการเคลื่อนที่ตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายเช่นกัน ดังได้แสดงตามภาพที่ 54

ในช่วงเฟรมที่ 289-350 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0183 เมตร และค่าของ GPS Longitude Distance แสดงระยะทางการเคลื่อนที่เฉลี่ย 0.0567 เมตร

จากผลการทดลองเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y จะเห็นได้ว่ากราฟแสดงมุมเอียงตัวมีค่าไม่คงที่ ทั้งนี้เนื่องมาจากอุปกรณ์ที่ใช้ในการจับยึดกล้องมีการขยับตัว ซึ่งส่งผลกับระยะทางที่ระบบประมวลผลภาพคำนวณ ได้เกิดความคลาดเคลื่อนตามไปด้วย แต่จากกราฟแสดงระยะทางการเคลื่อนที่ของ Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance ยังสามารถให้ค่าที่ใกล้เคียงกัน เนื่องจากค่าของ Y Distance Compensate ได้มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเอียงตัวที่เกิดขึ้นแล้ว

การตรวจสอบความถูกต้องในส่วนของทิศทาง (Orientation) โดยการใช้ค่ามุมเอียงตัว (Yaw) ที่ได้จาก ไจโรเซนเซอร์ เปรียบเทียบกับผลของทิศทางที่ได้จาก ขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้น ดังได้แสดงผลการทดลองตามภาพที่ 55



ภาพที่ 55 กราฟผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง แสดงการเปรียบเทียบทิศทางระหว่าง Orientation กับ ไจโรเซนเซอร์ (มุมเอียง (Yaw))

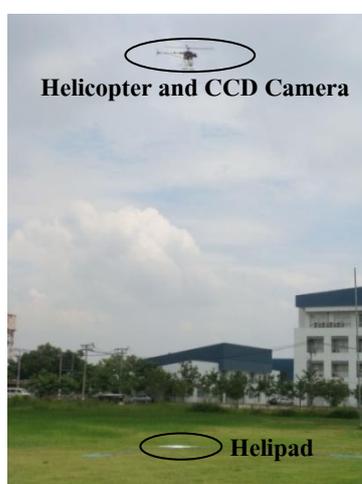
จากภาพ กราฟที่ 55 แสดงผลการทดลองการหมุนเป้าหมาย โดยจัดให้ตำแหน่งของเป้าหมายไม่มีการเปลี่ยนแปลงการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X และตามแนวแกน Y ให้มีการเปลี่ยนแปลงเฉพาะทิศทางของเป้าหมายด้วยการหมุนเป้าหมาย เพื่อ เปรียบเทียบทิศทางระหว่างค่า

Orientation ที่ได้จาก ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้นกับมุมเลี้ยวที่ได้จากใจโรเซนเซอร์ จะเห็นได้ว่ากราฟ แสดงองศาที่มีค่าที่ใกล้เคียงกัน

จากผลการทดสอบภายนอกห้องทดลอง การทดสอบนี้ได้มีการเปรียบเทียบผลที่ได้ จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับผลการทำงานของระบบดีจีพีเอสในส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของ เป้าหมาย และเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับใจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเลี้ยวใน ส่วนของทิศทางของเป้าหมาย เพื่อการตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของ ขั้นตอนวิธี ซึ่งจาก ผลการทดสอบสามารถ สรุปได้ว่าขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้นให้ผลที่ใกล้เคียง กับการทำงานของระบบ ดีจีพีเอส และ ใจโรเซนเซอร์

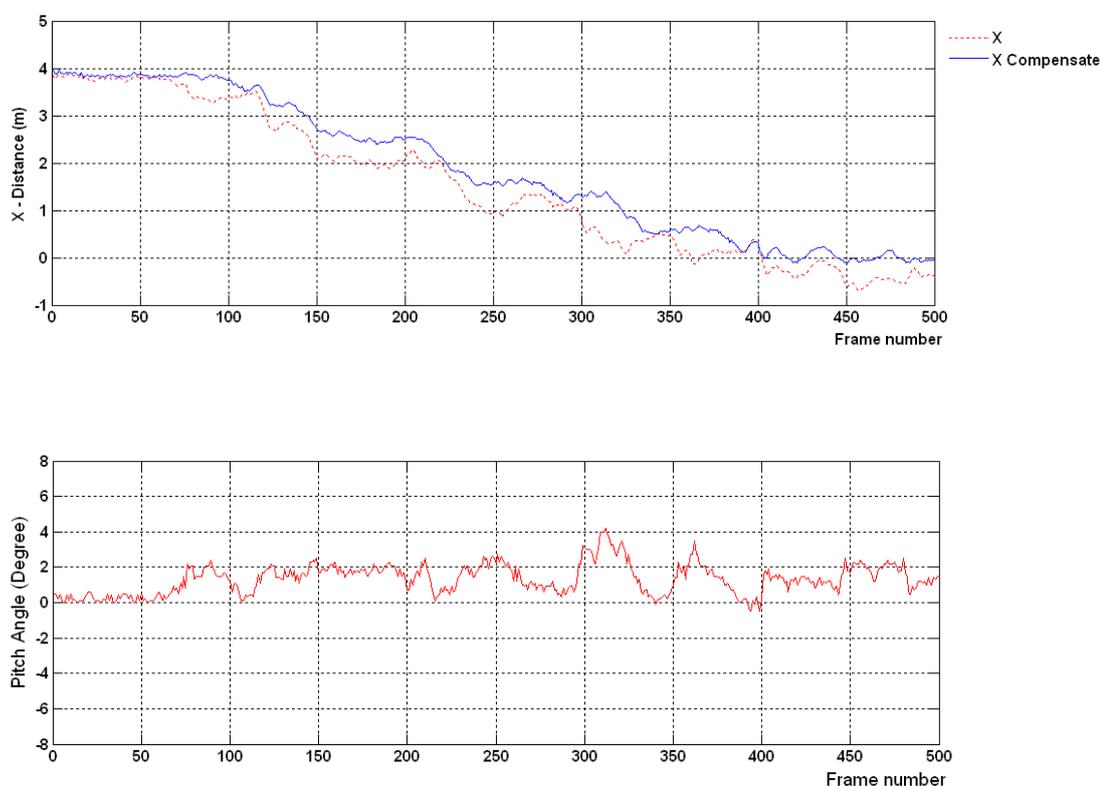
3. ผลการทดสอบขั้นตอนวิธีกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

จากผลการทดสอบที่ผ่านมาให้ผลลัพธ์ที่ถูกต้องตาม การเคลื่อนที่ จึงดำเนินการทดสอบกับ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก การทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กกำหนดที่ความสูง 15 เมตร ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติแสดงค่ามุมเงย 0 องศาและมุมเอียงตัว 0 องศา ขณะที่ เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติตั้งอยู่ที่พื้นสนาม (เป้าหมายมีขนาด 170x200 เซนติเมตร) และจากมุมมอง ของกล้องมีขอบเขตในแนวนอน 11.58 เมตร และในแนวตั้ง 8.25 เมตร ทำการเคลื่อนที่เป้าหมาย จากมุมบนขวาของภาพมาที่จุดศูนย์กลางของภาพพร้อมทั้งหมุนเป้าหมายจากมุม 50 องศา ไปที่ 0 องศา (แทนการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก) เพื่อทดสอบตำแหน่งและทิศทาง ดัง ได้แสดงภาพการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติตามภาพที่ 56 และผลการทดสอบตามต่อไปนี้



ภาพที่ 56 การทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก

ผลจากการทดสอบ กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ โดยส่วนของ การเคลื่อนที่เป้าหมาย ตามแนวแกน X ดังได้แสดงระยะ ทางในการเคลื่อน ที่เป้าหมาย ด้วย X Distance และ X Distance Compensate ตามภาพที่ 57



ภาพที่ 57 กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ด้วยระยะทางการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน X

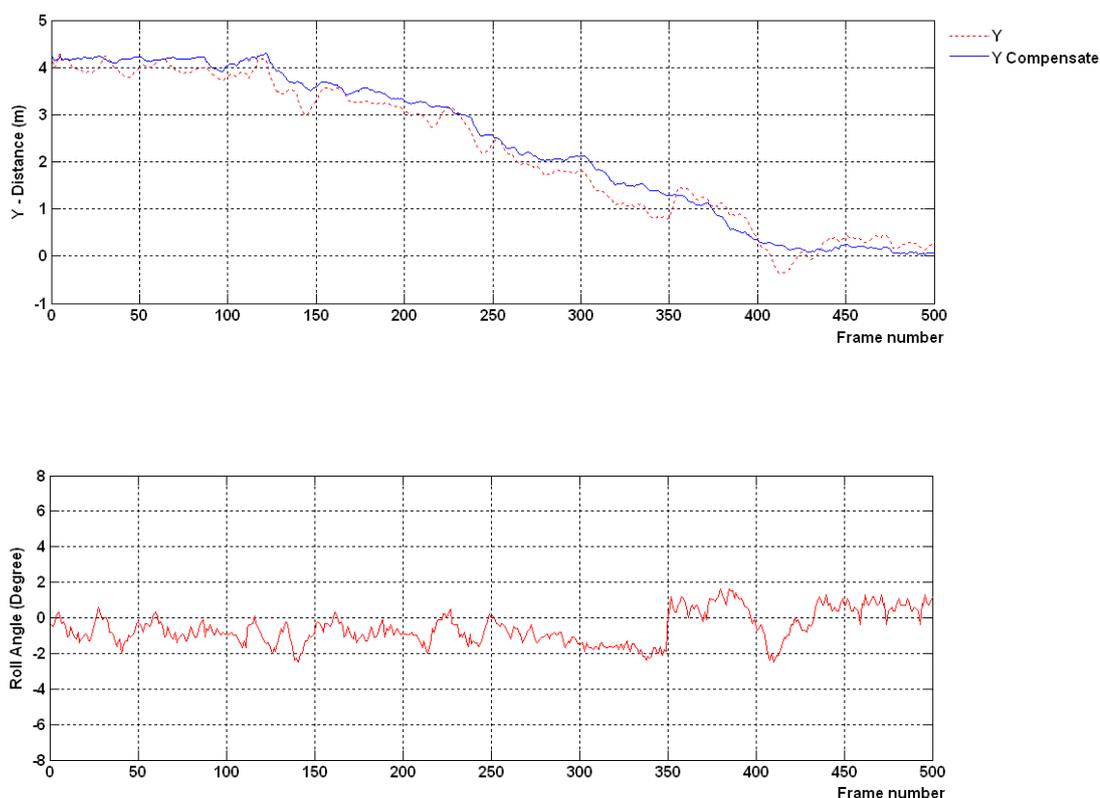
จากภาพกราฟที่ 57 แสดงผลการทดสอบในส่วนของ ระยะทางการเคลื่อนที่เป้าหมาย ตามแนวแกน X โดยที่ X Distance คือระยะที่ได้จากการประมวลผลภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเงย (แสดงด้วยเส้นประสีแดง) และ X Distance Compensate คือระยะที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเงย (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-100 ได้กำหนดให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่ง ของระยะ 4 เมตร ในแนวแกน X ค่าของ X Distance แสดงระยะทางเฉลี่ย 3.66 เมตร และค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางเฉลี่ย 3.84 เมตร เนื่องจากค่าของ X Distance Compensate ได้มีการชดเชยค่ามุมเงยที่เกิดขึ้นขณะบินด้วยค่ามุมเงยเฉลี่ย 0.67 องศา

ในช่วงเฟรมที่ 101-400 ได้ทำการเคลื่อนที่เป้าหมายลงตามแนวแกน X เพื่อมายังจุดกึ่งกลางของภาพ โดยค่าของ X Distance แสดงระยะทางลดลงตามการเคลื่อนที่ลงของเป้าหมาย และค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางที่ลดลงตามการเคลื่อนที่ลงของเป้าหมายเช่นกัน

ในช่วงเฟรมที่ 401-500 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของ X Distance แสดงระยะทางเฉลี่ย -0.37 เมตร และค่าของ X Distance Compensate แสดงระยะทางเฉลี่ย 0.02 เมตร เนื่องจากค่าของ X Distance Compensate ได้มีการชดเชยค่ามุมเงยที่เกิดขึ้นขณะบินด้วยค่ามุมเงยเฉลี่ย 1.49 องศา

ผลจากการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติโดย ส่วนของการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y ดังได้แสดงระยะในการเคลื่อนที่เป้าหมาย ด้วย Y Distance และ Y Distance Compensate ตามภาพที่ 58



ภาพที่ 58 กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ด้วยระยะทางการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y

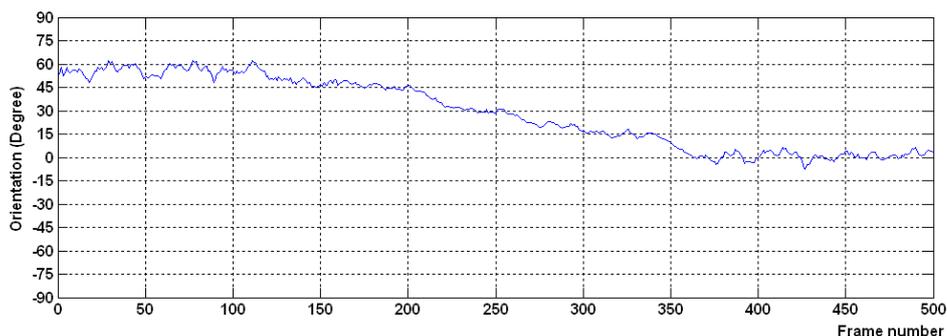
จากภาพกราฟที่ 58 แสดงผลการทดสอบ ในส่วนของ ระยะทางการเคลื่อนที่เป้าหมายตามแนวแกน Y โดยที่ Y Distance คือระยะที่ได้จากการประมวลผล ภาพที่ไม่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเอียงตัว (แสดงด้วยเส้นประสีแดง) และ Y Distance Compensate คือระยะที่ได้จากการประมวลผลภาพที่มีการคำนวณชดเชยค่ามุมเอียงตัว (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) ซึ่งสามารถอธิบายกราฟได้ตามต่อไปนี้

ในช่วงเฟรมที่ 0-100 ได้กำหนดให้เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งของระยะ 4 เมตร ในแนวแกน Y ค่าของ Y Distance แสดงระยะทางเฉลี่ย 3.97 เมตร และค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางเฉลี่ย 4.15 เมตร เนื่องจากค่าของ Y Distance Compensate ได้มีการชดเชยค่ามุมเอียงตัวที่เกิดขึ้นขณะบินด้วยค่ามุมเอียงตัวเฉลี่ย -0.70 องศา

ในช่วงเฟรมที่ 101-400 ได้ทำการเคลื่อนที่เป้าหมายไปทางซ้ายตามแนวแกน Y เพื่อมายังจุดกึ่งกลางของภาพ โดยค่าของ Y Distance แสดงระยะทางลดลงตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายไปทางซ้าย และค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางลดลงตามการเคลื่อนที่ของเป้าหมายไปทางซ้ายเช่นกัน

ในช่วงเฟรมที่ 401-500 เป้าหมายอยู่ที่ตำแหน่งกึ่งกลางภาพ ค่าของระยะ Y Distance แสดงระยะทางเฉลี่ย 0.18 เมตร และค่าของ Y Distance Compensate แสดงระยะทางเฉลี่ย 0.14 เมตร เนื่องจากค่าของ Y Distance Compensate ได้มีการชดเชยค่ามุมเอียงตัวที่เกิดขึ้นขณะบินด้วยค่ามุมเอียงตัวเฉลี่ย 0.14 องศา

ผลจากการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติโดย ส่วนของ การหมุนเป้าหมายจากมุม 50 องศา ไปที่ 0 องศา ดังได้แสดงผลการทดสอบตามภาพที่ 59



ภาพที่ 59 กราฟผลการทดสอบกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แสดงทิศทางของเป้าหมาย

จากภาพ กราฟที่ 59 แสดงผลการทดสอบโดย ส่วนของ การหมุนเป้าหมายเพื่อทดสอบ ทิศทางของเป้าหมาย โดยการตั้งเป้าหมายให้เอียงไป ที่มุม 50 องศา จากแกน X ของเฮลิคอปเตอร์ จากนั้นหมุนเป้าหมายกลับมาที่ 0 องศา (หมุนทวนเข็มนาฬิกา) ค่าทิศทางของเป้าหมายแสดงองศา ลดลงตามการหมุนเป้าหมาย

จากผลการทดสอบขั้นตอนวิธีกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กดังที่ได้แสดงตามภาพที่ 57-59 โดยทำการเคลื่อนที่เป้าหมายจากมุมบนขวาของภาพมาที่จุดศูนย์กลางของภาพพร้อมทั้งหมุน เป้าหมายจากมุม 50 องศา ไปที่ 0 องศา เพื่อทดสอบตำแหน่งและทิศทางนั้น จากผลการทดสอบ พบว่าผลลัพธ์ที่ได้มีแนวโน้มที่ดีสำหรับการนำไปใช้งานกับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ แต่ยังคงมีการ พัฒนาขั้นตอนวิธีเพิ่มเติมในส่วนของการประมวลผลภาพ เช่น การเลือกค่าเทรสโฮลด์โดยอัตโนมัติ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงตามความเข้มแสงหรือกับทุกๆสภาพแวดล้อม ซึ่งใน งานวิจัยใช้วิธีการป รับแต่งค่าด้วยมือ และการหาขอบภาพเพื่อให้ภาพเป้าหมายมีความสมบูรณ์ ชัดเจนมากขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์กับการคำนวณหาทิศทางของเป้าหมาย และเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงานของระบบประมวลผลภาพให้มากขึ้นด้วย

วิจารณ์

จากผลการทดสอบภายในห้องทดลองและภายนอกห้องทดลอง รวมทั้ง การทดสอบ ขั้นตอนวิธี กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กนั้น ให้ผลการทดสอบที่ถูกต้องเป็นไปตาม การเคลื่อนที่ การแก้ไขข้อบกพร่องด้วยการชดเชยค่า สามารถแก้ไขข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในส่วน ของระยะทางที่เกิด จากมุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติได้

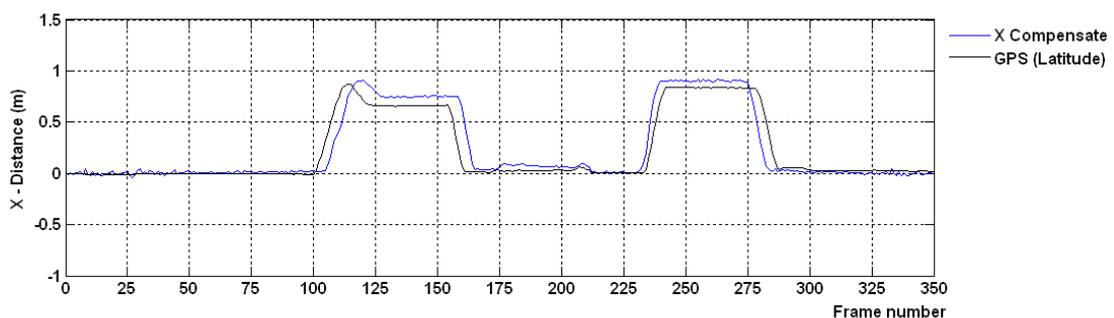
รวมทั้งการตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของตำแหน่งโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธี กับผลการทำงานของ ระบบดีจีพีเอส ในส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย และการตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้องของทิศทางโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธี กับใจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเฉลี่ย ในส่วนของทิศทางของเป้าหมาย ให้ประสิทธิภาพในการทำงาน ดัง ได้แสดงตามต่อไปนี้

1. ผลจากการแก้ไขข้อบกพร่องด้วยการชดเชยค่า

จากที่ได้กล่าวไว้ในบทของอุปกรณ์และวิธีการ อธิบายถึงวิธีการคำนวณค่าชดเชยจากมุมเอียงตัว และมุมเงย ที่เกิดขึ้นจากการรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ การคำนวณค่าชดเชย ด้วยวิธีดังกล่าว สามารถแก้ไขปัญหาข้อผิดพลาดที่เกิดขึ้นในเรื่องของ ระยะทางการเคลื่อนที่ในแนวแกน X และแนวแกน Y จากมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ได้ ซึ่งผลลัพธ์ที่ได้จากการแก้ไขข้อผิดพลาดดังกล่าวช่วยให้ระบบการประมวลผลภาพมีประสิทธิภาพมากขึ้น

2. ผลของประสิทธิภาพของขั้นตอนวิธี

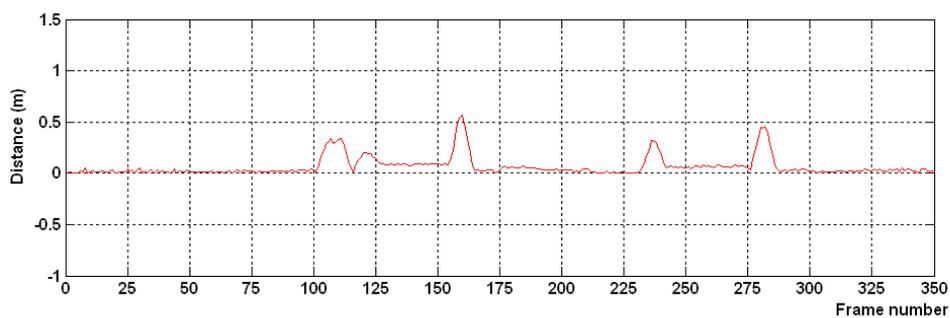
จากที่ได้กล่าวไว้ในบทของอุปกรณ์และวิธีการ อธิบายถึงวิธีการตรวจสอบประสิทธิภาพความถูกต้อง โดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จาก ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้นกับผลการทำงานของ ระบบดีจีพีเอส ซึ่งมีความแม่นยำสูง โดยใช้วิธีทางสถิติการหาค่าความคลาดเคลื่อน รากกำลังสองเฉลี่ย (RMSE) แสดงผลลัพธ์ตามต่อไปนี้



ภาพที่ 60 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่าง X Distance Compensate และ GPS Latitude

Distance

จากภาพกราฟที่ 60 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้น คือ X Distance Compensate (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) กับผลการทำงานของระบบจีพีเอส คือ GPS Latitude Distance (แสดงด้วยเส้นทึบสีดำ) เนื่องจากแนวแกน X ของเฮลิคอปเตอร์จะสอดคล้องกับตำแหน่งในเส้น ละติจูด เมื่อหัวของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ (Heading) หันไปทางทิศเหนือ กราฟแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่ที่เป้าหมายไปยังพิกัดต่างๆ ตาม แนวแกน X ซึ่งให้ผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน ดังได้แสดงกราฟค่าความแตกต่างตามภาพที่ 61



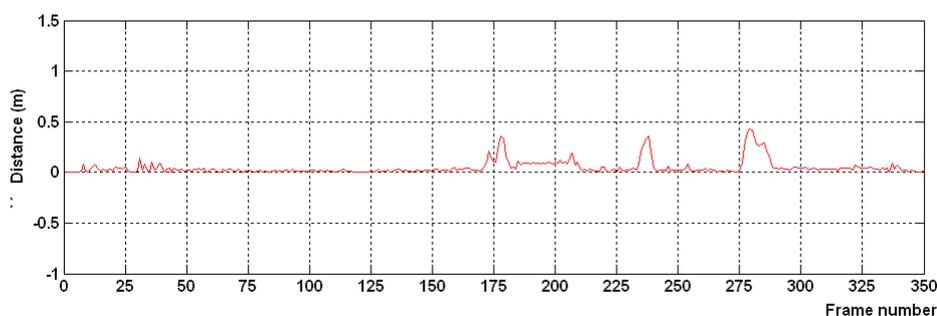
ภาพที่ 61 กราฟแสดงค่าความความแตกต่างของระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน X

โดยสามารถหาค่า RMSE ของ X Distance Compensate เปรียบเทียบกับ GPS Latitude Distance ได้เท่ากับ 0.0534 เมตร



ภาพที่ 62 กราฟแสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่าง Y Distance Compensate และ GPS Longitude Distance

จากภาพกราฟที่ 62 แสดงผลการเปรียบเทียบค่าระหว่างผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่พัฒนาขึ้น คือ Y Distance Compensate (แสดงด้วยเส้นทึบสีน้ำเงิน) กับผลการทำงานของ ระบบดีจีพีเอส คือ GPS Longitude Distance (แสดงด้วยเส้นทึบสีดำ) เนื่องจากแนวแกน Y ของเฮลิคอปเตอร์จะ สอดคล้องกับตำแหน่งในเส้น ลองจิจูด เมื่อหัวของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ (Heading) หันไปทางทิศ เหนือ กราฟแสดงให้เห็นการเคลื่อนที่เป้าหมายไปยัง พิกัดต่างๆ ตามแนวแกน Y ซึ่งให้ผลการ ทำงานที่ใกล้เคียงกัน ดังได้แสดงกราฟค่าความแตกต่างตามภาพที่ 63

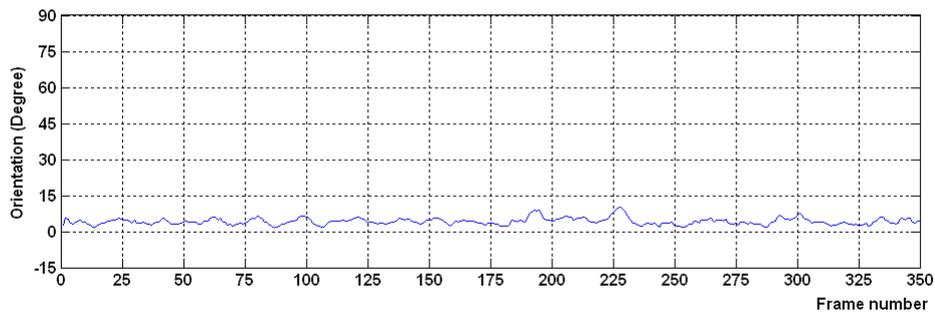


ภาพที่ 63 กราฟแสดงค่าความแตกต่างของระยะทางการเคลื่อนที่ตามแนวแกน Y

โดยสามารถหาค่า RMSE ของ Y Distance Compensate เปรียบเทียบกับ GPS Longitude Distance ได้เท่ากับ 0.0485 เมตร

โดยสามารถหาค่า RMSE ของ X Distance Compensate เปรียบเทียบกับ GPS Latitude Distance และ Y Distance Compensate เปรียบเทียบกับ GPS Longitude Distance ในลักษณะการ เคลื่อนที่ 2 มิติ ด้วยวิธีทางเวกเตอร์ได้เท่ากับ 0.0709 เมตร

จากผลการทดสอบการหมุนเป้าหมายโดย การเปรียบเทียบทิศทางระหว่างค่าทิศทาง ที่ได้ จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับมุม ลีวที่ได้จากใจโรเซนเซอร์ ให้ผลการทำงานที่ใกล้เคียงกัน แสดง กราฟค่าความแตกต่างได้ตามต่อไปนี้



ภาพที่ 64 กราฟแสดงค่าความความแตกต่างของทิศทาง

โดยสามารถหาค่า RMSE ของ Orientation เปรียบเทียบกับ Gyro (Yaw Angle) ได้เท่ากับ 4.3569 องศา

จากผลการเปรียบเทียบข้างต้น ค่าความผิดพลาดที่คำนวณได้แสดงถึงประสิทธิภาพของ ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้น ซึ่งสามารถนำ ขั้นตอนวิธี ที่สร้างขึ้น ไปใช้เพื่อการ ลงจอดของเฮลิคอปเตอร์ อัต โนมัดขนาดเล็กด้วยวิธีการประมวลผลภาพได้

สรุปและข้อเสนอแนะ

สรุป

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์หลักเพื่อพัฒนาระบบประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก ซึ่งเป็นวิธีการวิเคราะห์ภาพจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่บริเวณด้านล่างและขนานกับแกนแนวตั้งของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็ก เพื่อค้นหาตำแหน่งและทิศทางให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติสามารถลงจอดลงบนเป้าหมายตามที่ต้องการได้ ในงานวิจัยทำการสร้างขั้นตอนวิธีขึ้นเพื่อค้นหาตำแหน่งและทิศทาง การบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ โดยการนำภาพจากกล้องวิดีโอที่ติดตั้งอยู่กับเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กมาทำการกรองสัญญาณรบกวนออกด้วยวิธีการกรองความถี่ต่ำผ่าน จากนั้นจึงเข้าสู่กระบวนการแยกข้อมูลภาพออกเป็นส่วนๆ เพื่อแยกส่วนของภาพเป้าหมายที่ต้องการออกมาจากส่วนภาพพื้น หลัง แล้วทำการคำนวณหาระยะ และทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายในการลงจอด และเนื่องจากการเคลื่อนที่เพื่อรักษาเสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัตินั้น ส่งผลให้กล้องที่ใช้ในการถ่ายภาพเกิดมุมการเคลื่อนที่ตามมุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ทำให้ภาพที่ถ่ายได้มีข้อผิดพลาดในเรื่องของระยะ ด้วยปัญหาดังกล่าวจึงได้แก้ไขข้อผิดพลาด โดยการนำค่ามุม เอียงตัว และมุมเงยที่เกิดขึ้นมาชดเชยค่า ระยะ ที่ผิดพลาดจากมุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ซึ่งข้อมูลดังกล่าวจะได้จากระบบควบคุมการบินอัตโนมัติ จากนั้นส่งผลลัพธ์ที่ได้จากการชดเชยค่า ให้กับระบบ ควบคุมเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติในการควบคุมให้เฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติบินอยู่เหนือเป้าหมาย พร้อมสำหรับการลงจอด ซึ่งจากผลการวิจัยพบว่าการพัฒนาระบบการประมวลผลภาพสำหรับการบินลงจอดของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติขนาดเล็กที่ สร้างขึ้น สามารถค้นหา ระยะและทิศทางของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติเทียบกับเป้าหมายที่ต้องการในการลงจอดได้อย่างถูกต้อง ซึ่งอ้างอิงได้จากการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับผลการทำงานของระบบดีจีพีเอส ในส่วนของระยะทางการเคลื่อนที่ของเป้าหมาย โดยใช้วิธีทางสถิติการหาค่าความคลาดเคลื่อน รากกำลังสองเฉลี่ย ในแนวแกน X ได้เท่ากับ 0.0534 เมตร ในแนวแกน Y ได้เท่ากับ 0.0485 เมตร และในลักษณะการเคลื่อนที่ 2 มิติ ด้วยวิธีทางเวกเตอร์ได้เท่ากับ 0.0709 เมตร และการตรวจสอบประสิทธิภาพโดยการเปรียบเทียบผลที่ได้จากขั้นตอนวิธีที่สร้างขึ้นกับไจโรเซนเซอร์ด้วยค่าของมุมเฉลี่ย ในส่วนของทิศทางของเป้าหมายโดยใช้วิธีทางสถิติการหาค่าความคลาดเคลื่อน รากกำลังสองเฉลี่ย ได้เท่ากับ 4.3569 องศา ทั้งหมดที่ความสูง 3 เมตร

การทำงานตามขั้นตอนทั้งหมดให้ผลเป็นที่น่าพอใจและสามารถทำการวิจัยต่อในส่วนของ การพัฒนาการค้นหาเป้าหมายและระบบควบคุมการลงจอด แบบอัตโนมัติ ซึ่งเป็นงานวิจัยต่อไปในอนาคตได้

ข้อเสนอแนะ

จากการวิจารณ์การทำงาน ปัญหาสำคัญที่พบคือ มุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่เพื่อรักษา เสถียรภาพของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติ ส่งผลให้กล้อง วิดีโอ CCD ที่ใช้ในการถ่ายภาพเกิดมุมการ เคลื่อนที่ตาม มุมการเคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์ ทำให้ค่าที่ได้จากการคำนวณ ภาพที่ถ่าย ได้มี ข้อผิดพลาดในเรื่องของตำแหน่ง ปัญหาดังกล่าว ได้ทำการแก้ไขเบื้องต้น โดย นำค่ามุมเอียงตัวและ มุมเงยที่เกิดขึ้นมาชดเชยค่าตำแหน่งที่ผิดพลาดจากมุมที่ใช้ในการเคลื่อนที่ ซึ่งเป็นการแก้ปัญหา เพียงวิธีหนึ่งเท่านั้น และการพัฒนาขั้นตอนวิธีเพิ่มเติมในส่วนของ การประมวลผลภาพ เช่น การ เลือกค่าเทรสโพลด์โดยอัตโนมัติเพื่อให้เหมาะสมกับสภาพการใช้งานจริงตามความเข้มแสงหรือกับ ทุกๆสภาพแวดล้อม ซึ่งในงานวิจัยใช้วิธีการปรับแต่งค่าด้วยมือ และการหาขอบภาพเป้าหมาย เพื่อให้ภาพเป้าหมายมีความสมบูรณ์ชัดเจนมากขึ้นซึ่งจะเป็นประโยชน์กับการคำนวณหาตำแหน่ง และทิศทางของเป้าหมาย รวมทั้งการ ใช้กล้องที่มีระบบที่ป้องกันการสั่นสะเทือน เพื่อเป็นการเพิ่ม ประสิทธิภาพการทำงาน of ระบบประมวลผลภาพให้มากยิ่งขึ้น

ความเร็วในการประมวลผลภาพ 8 Hz ที่ได้จากการวัด สัญญาณความเร็วใน การทำงานเพื่อ การรับส่งข้อมูล ระหว่าง ระบบควบคุมการบินอัตโนมัติกับระบบการประมวลผลภาพ หากสามารถ เพิ่มค่าความเร็ว ในการประมวลผลภาพให้มีค่าสูงมากขึ้น จะทำให้สัญญาณที่ส่งไปควบคุมการ เคลื่อนที่ของเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติมีความต่อเนื่องและสามารถควบคุมเฮลิคอปเตอร์อัตโนมัติได้ อย่างมีประสิทธิภาพมากยิ่งขึ้นตาม ไปด้วย ซึ่งบางส่วนอาจจะเป็นการแก้ไขข้อจำกัดโดยการ ใช้ซีพียู (CPU) ที่มีความเร็วสูง หรือคอมไพเลอร์ (Compiler) อื่นๆ เพื่อการประมวลผลที่เร็วขึ้น

เอกสารและสิ่งอ้างอิง

สิทธิโชค ขอดระชัย. 2550. การเขียนโปรแกรม **Digital Image Processing** ด้วย **Visual Basic**.

สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), กรุงเทพฯ.

Christopher J. and T. Richardson. 2008. **Vision Based Target Tracking Using Rotary Wing**

Vehicle. SEAS DTC Technical Conference 3rd.

Green W.E., K.W. Sevcik and Y. Oh. Paul. 2005. **A Competition to Identify Key Challenges**

for Unmanned Aerial Robots in Near-Earth Environments. Proceeding of IEEE.

Joshua R., Timothy W.M., Randal W.B., and C. Taylor. 2006. **Vision-based Target Localization**

from a Fixed-wing Miniature Air Vehicle. In IEEE Transactions on Robotics and Automation.

Koren Y. and J. Borenstein. 1991. **Potential Field Methods and Their Inherent Limitations for**

Mobile Robot Navigation. The University of Michigan, Ann Arbor.

Mejias L., Saripalli S., Campoy P. and S.S. Gaurav. 2006. **Visual Servoing of an**

Autonomous Helicopter in Urban Areas Using Feature Tracking. Journal of Field Robotics.

Rafael C.G., Richard E.W. and S.L. Eddins. 2004. **Digital Image Processing using Matlab**.

Pearson Education, Inc., New Jersey.

Srikanth S., James F.M. and S.S. Gaurav. 2002. **Vision-based Autonomous Landing of an**

Unmanned Aerial Vehicle, pp. 2799-2804. Proceedings In IEEE International Conference on Robotics and Automation.

Srikanth S., James F.M. and S.S. Gaurav. 2003. **Vision Guided Landing of an Unmanned Aerial Vehicle**, Vol. 19, No. 3, pp. 371-381. Proceeding In IEEE Transactions of Robotics and Automation.

The MathWork's Team. 1997. **Matlab Image Processing Toolbox version 2**. The MathWorks, Inc., Massachusetts.

Vaughan R.T., G.S. Sukhatme, J. Mesa-Martinez and J.F. Montgomery. 2000. **Fly spy: Lightweight localization and target tracking for cooperative ground and air robots**. Distributed Autonomous Robot Systems, Knoxville, Tennessee.

ภาคผนวก

**Algorithm of Development of A Visually-Guided Landing
of A Small-Scaled Autonomous Helicopter.**

```

=====
%-----Open a serial port-----
s1=serial('COM8','BaudRate',19200,'DataBits',8,'DataTerminalReady','off','RequestToSend','off','InputBufferSize',14)
fopen(s1);
%-----End Open a serial port-----
%-----Image Processing-----
vid = videoinput('winvideo',1,'YUY2_160x120');
triggerconfig(vid,'manual');
set(vid,'FramesPerTrigger',1 );
set(vid,'TriggerRepeat',Inf);
start(vid);
for k = 1:ing
    %-----Receive Data Serial port-----
    while(Data_True==0)
        rx = 0;
        if (State == 1)
            rx = fread(s1,1,'uint8');
            if rx == 165
                State=2;
            end
        elseif State == 2
            rx = fread(s1,1,'uint8');
            if rx == 90
                State=3;
            else
                State=1;
                Data_True=0;
            end
        end
    end
end

```

```
elseif State == 3
    rx = fread(s1,1,'uint8');
    if rx == 11
        State=4;
    else
        State=1;
        Data_True=0;
    end
elseif State == 4
    rx = fread(s1,1,'uint8');
    if rx == 200
        State=5;
    else
        State=1;
        Data_True=0;
    end
elseif State == 5
    rx = fread(s1,1,'int16');
    Roll_temp = rx;
    ChkSum_Re = rx;
    State = 6;
elseif State == 6
    rx = fread(s1,1,'int16');
    Pitch_temp = rx;
    ChkSum_Re = ChkSum_Re + rx;
    State = 7;
elseif State == 7
    rx = fread(s1,1,'uint16');
    Heading_temp = rx;
    ChkSum_Re = ChkSum_Re + rx;
    State = 8;
```

```

elseif State == 8
    rx = fread(s1,1,'uint16');
    Heigh_temp = rx;
    ChkSum_Re = ChkSum_Re + rx;
    State = 9;
elseif State == 9
    rx = fread(s1,1,'int16');
    if rx == ChkSum_Re
        theta_Roll = Roll_temp*0.01;
        theta_Pitch = Pitch_temp*0.01;
        theta_Heading = Heading_temp*0.1;
        Height = Heigh_temp*0.01;
        Data_True=1;
        State=1;
    else
        Data_True=0;
        State=1;
    end
end %if (State == 1)
end %while (Data_True==0)
if (Data_True==1)
    Data_True=0;
end
%-----End Receive Data Serial port-----
trigger(vid);
imRGB = getdata(vid,1);
%figure(1),imshow(imRGB);
lp=ones(5,5)/25;
imfil=imfilter(imRGB,lp);
%figure(7),imshow(g1);
imGRAY = rgb2gray(imfil);

```

```
%imEq = histeq(imGRAY, 256);
%figure(4),imhist(imGRAY);
%figure(2),imshow(imGRAY);
sizeGray = size(imGRAY);
temp = imGRAY;
thresh = 155;
for i = 1:sizeGray(1,1)
    for j = 1:sizeGray(1,2)
        if temp(i,j) < thresh
            temp(i,j) = 0;
        else
            temp(i,j) = 255;
        end
    end
end
figure(16),imshow(temp);
L = bwlabel(temp,8);
s = regionprops(L,'Centroid','Area','Orientation');
if[s.Centroid]
    [max_area,idx] = max([s.Area]);
    centroid = cat(1,[s(idx).Centroid]);
    orientation = [s(idx).Orientation];
else
    centroid = [0 0];
    orientation = [0];
end
if orientation < 0
    orientation = orientation*(-1);
elseif orientation > 0
    orientation = orientation*(-1);
else
```

```

orientation = orientation;
end

centroid(1) = ((height_m * Height)* ((horizontal_m * Height)/(height_m * Height)) *
centroid(1))/ horizontal_pixel;

centroid(2) = ((height_m * Height)* ((vertical_m * Height)/(height_m * Height)) *
centroid(2))/ vertical_pixel;

x(k) = ((-horizontal_m * Height)/2)+centroid(1);
y(k) = ((vertical_m * Height)/2)-centroid(2);
z(k) = orientation ;

yDistance=x(k); %กำหนดแกนimageให้ขึ้นไปตามแกนของhelicopter (x(k)) ให้เป็น Yheli
xDistance=y(k); %กำหนดแกนimageให้ขึ้นไปตามแกนของhelicopter (y(k)) ให้เป็น Xheli

%theta_Roll = theta_Roll - (-8.5); %offset
%theta_Pitch = theta_Pitch - (5); %offset
%theta_Heading = theta_Heading - (121); %offset

yDistance_com=x(k) - Height * tan(theta_Roll*pi/180);
xDistance_com=y(k) + Height * tan(theta_Pitch*pi/180);

%-----Send Data update Serial port-----

fprintf(s1,'%c',65); %1 byte ascii 'A'
fprintf(s1,'%c',53); %1 byte ascii '5'
fprintf(s1,'%6.2f',yDistance); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',yDistance_com); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',xDistance); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',xDistance_com); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',z(k)); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',theta_Pitch); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',theta_Roll); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',theta_Heading); %6 byte
fprintf(s1,'%6.2f',Height); %6 byte

%-----End Send Data update Serial port-----

end %for k = 1:frame

%-----End mage Processing-----

```

```
%-----Close a Serial port-----  
fclose(s1);  
clear s1;  
%-----End Close a Serial port-----  
stop(vid),delete(vid),clear vid;
```

Protocol

Gyro-Stabilized Euler Angles: 3DM-GX1

Function:	The 3DM-GX1™ will transmit the gyro-stabilized Euler Angles
Command Byte:	0x0E
Command Data:	None
Response:	11 bytes defined as follows
Byte 1	Header byte = 0x0E
Byte 2	Roll MSB
Byte 3	Roll LSB
Byte 4	Pitch MSB
Byte 5	Pitch LSB
Byte 6	Yaw MSB
Byte 7	Yaw LSB
Byte 8	TimerTicks MSB
Byte 9	TimerTicks LSB
Byte 10	Checksum MSB
Byte 11	Checksum LSB

Gyro-Stabilized Euler Angles: Flight Control

Function:	The Flight Control will transmit the gyro-stabilized Euler Angles
Command Byte:	0xA5, 0x5A
Command Data:	None
Response:	14 bytes
Byte 1	Header byte = 0xA5
Byte 2	Header byte = 0x5A
Byte 3	Size
Byte 4	Type of packet
Byte 5	Roll Hi
Byte 6	Roll Lo
Byte 7	Pitch Hi
Byte 8	Pitch Lo
Byte 9	Heading Hi
Byte 10	Heading Lo
Byte 11	Height Hi
Byte 12	Height Lo
Byte 13	Checksum Hi
Byte 14	Checksum Lo

ประวัติการศึกษา และการทำงาน

ชื่อ -นามสกุล	นางสาวนิตา ฟันเพ็ง
วัน เดือน ปี ที่เกิด	วันที่ 16 มิถุนายน 2524
สถานที่เกิด	นครราชสีมา
ประวัติการศึกษา	ปริญญาตรี สาขาวิทยาการคอมพิวเตอร์ คณะวิทยาศาสตร์ ประยุกต์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนคร เหนือ
ตำแหน่งหน้าที่การงานปัจจุบัน	-
สถานที่ทำงานปัจจุบัน	-
ผลงานดีเด่นและรางวัลทางวิชาการ	-
ทุนการศึกษาที่ได้รับ	-