



พระบรมราชโองการโปรดเกล้าฯ ให้ตราพระราชบัญญัติขึ้นไว้โดยคำแนะนำและยินยอมของ
สภามหาบัณฑิตแห่งมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์

The Engineering Institute of Thailand under H.M. The King's Patronage

มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ครั้งที่ 1

ธันวาคม 2561

มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม | I



วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์
มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม

ครั้งที่ 1
ธันวาคม 2561

โดย

คณะกรรมการร่างมาตรฐาน

ได้รับการสนับสนุนงบประมาณจากสภาวิศวกร

ปีงบประมาณ 2561

สารบัญ
มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

	หน้า
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์	2
1.3 ขอบเขตมาตรฐาน	2
1.4 กฎหมาย และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานฉบับนี้	3
1.5 ความเข้าใจในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม	4
1.6 ระบบพิกัดอ้างอิงและพื้นหลักฐานประเทศไทย	5
1.7 โครงสร้างเอกสาร	6
บทที่ 2 นิยามศัพท์เทคนิค	
2.1 บทนำ	8
2.2 คำย่อ	8
2.3 นิยามศัพท์เทคนิค	9
บทที่ 3 อากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย	
3.1 บทนำ	22
3.2 ประเภทของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย	22
3.3 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย	27

บทที่ 4 กล้องบันทึกภาพดิจิทัลสำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

4.1 บทนำ	30
4.2 ประเภทของกล้องบันทึกภาพดิจิทัล	30
4.3 ข้อมูลจำเพาะที่สำคัญของกล้องสำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ	31
4.4 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล	33
4.5 การแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลและความถูกต้องเชิงตำแหน่งพิกัดจุดถ่ายภาพ	34

บทที่ 5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

5.1 บทนำ	36
5.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม	36
5.3 เนื้อหาของมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง	40

บทที่ 6 หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

6.1 บทนำ	44
6.2 หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ	44
6.3 ความแตกต่างของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ กับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ	53

บทที่ 7 ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

7.1 บทนำ	55
7.2 การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ	55
7.3 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย	56
7.4 การประมวลผลภาพถ่าย	56

IV | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

	หน้า
7.5 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์	57
บทที่ 8 การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ	
8.1 บทนำ	58
8.2 การวางแผนการบิน	58
8.3 การถ่ายภาพ	62
8.4 ตัวอย่างการวางแผนการบิน และการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ	64
8.5 คุณภาพของภาพถ่าย	66
บทที่ 9 จุดควบคุมภาพถ่าย	
9.1 บทนำ	69
9.2 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย	69
9.3 การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย	71
9.4 ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่าย	71
บทที่ 10 การประมวลผลภาพถ่าย	
10.1 บทนำ	73
10.2 ค่าพารามิเตอร์ของการประมวลผลภาพถ่าย	73
10.3 การประมวลผลภาพถ่ายไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด	78
บทที่ 11 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์	
11.1 บทนำ	79
11.2 การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเชิงตำแหน่ง	79
11.3 ตรวจสอบจากคุณภาพของผลลัพธ์โดยตรง	80

	หน้า
11.4 ตัวอย่างรายงานการตรวจสอบการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ	81
บทที่ 12 เอกสารและข้อมูลที่ส่งมอบ	
12.1 บทนำ	85
12.2 การส่งมอบข้อมูล	85

ฉบับเทคนิคพิจารณา

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญ

ปัจจุบันความก้าวหน้าในการพัฒนาทางเทคโนโลยีด้านอากาศยานไร้คนขับและการค้นพบอัลกอริทึมการประมวลผลภาพในการสร้างแบบจำลองสามมิติจากภาพถ่ายสองมิติทางด้านการคอมพิวเตอร์วิชัน (computer vision) ทำให้มีการพัฒนาระบบการทำแผนที่จากอากาศยานไร้คนขับ (UAV photogrammetry) ขึ้นทำให้การใช้งานง่าย สะดวก และมีความคล่องตัวมากขึ้นเมื่อเทียบกับวิธีการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบเดิม (traditional photogrammetry) อีกทั้งให้ผลลัพธ์หลายลักษณะที่มีรายละเอียดและความถูกต้องแม่นยำสูง ได้แก่ ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (digital surface model) แผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข (true orthophoto) และแบบจำลองสามมิติเชิงเลข (3d texture mesh model) สามารถนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้เป็นอย่างดี ด้วยเหตุนี้จึงทำให้มีการนำอากาศยานไร้คนขับไปใช้ในการทำแผนที่อย่างกว้างขวาง เนื่องจากเทคโนโลยีการทำแผนที่ด้วยอากาศยานไร้คนขับมีลักษณะเป็นระบบอัตโนมัติ จึงทำให้บุคคลทั่วไปนำไปใช้ในการทำแผนที่โดยไม่ต้องมีความรู้ความเข้าใจถึงปัจจัยสำคัญที่ต้องคำนึงถึงในการทำงานเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพตามต้องการ ซึ่งในความเป็นจริงการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจำเป็นต้องมีความรู้พื้นฐานหลายด้าน โดยเฉพาะอย่างยิ่งความรู้ทางด้านการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ เนื่องจากอุปกรณ์ที่ใช้มีหลากหลายระดับคุณภาพ รวมไปถึงเทคนิคการวางแผนการทำงานในแต่ละขั้นตอนล้วนมีผลต่อคุณภาพผลลัพธ์ที่ได้ แต่เนื่องจากยังไม่ปรากฏมีมาตรฐานในการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับทั้งในประเทศไทยและต่างประเทศ มีเพียงผลการศึกษาวิจัยที่กล่าวถึงศักยภาพของอากาศยานไร้คนขับต่อความถูกต้องของข้อมูลที่สามารถทำได้ โดยไม่มีกระบวนการทำงานที่ชัดเจนเหมือนกับกระบวนการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบดั้งเดิม เป็นผลให้การนำอากาศยานไร้คนขับไปใช้งานสำรวจไม่สามารถควบคุมคุณภาพผลลัพธ์ได้ และอาจจะก่อให้เกิดความเสียหายในการนำข้อมูลการสำรวจไปใช้งานวิศวกรรม ดังนั้นเพื่อให้การนำเทคโนโลยีนี้ไปใช้ใน

2 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

การผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีคุณภาพตรงกับความต้องการ และมีกระบวนการทำงานที่ชัดเจน จึงเป็น
ที่มาในการร่างมาตรฐานฉบับนี้

มาตรฐานฉบับนี้สร้างขึ้นเพื่อใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม โดยกล่าวถึงอุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจ โปรแกรมที่ใช้ในการประมวลผล หลักเกณฑ์
การปฏิบัติงาน การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์ และกฎหมายที่บังคับใช้กับอากาศยานไร้คนขับ
ภายในประเทศ ทั้งนี้เพื่อเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่นำอากาศยานไร้คนขับไปใช้ในงานสำรวจเพื่อผลิตข้อมูล
เชิงตำแหน่งได้อย่างมีคุณภาพ รวมถึงผู้ที่นำข้อมูลเชิงตำแหน่งไปใช้ในงานด้านวิศวกรรมได้มีความ
เข้าใจต่อกระบวนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

1.2 วัตถุประสงค์

ใช้เป็นแนวทางในการปฏิบัติสำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม
ได้แก่ การวางแผนการทำงานเพื่อให้สอดคล้องกับคุณภาพผลลัพธ์ที่ต้องการ ทั้งด้านการวางแผนการ
บิน การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบ การประมวลผลด้วยโปรแกรมเฉพาะทางสำหรับ
การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ตลอดจนการส่งมอบข้อมูลการสำรวจและการจัดทำรายงาน
สำหรับผู้ใช้และผู้ผลิต

1.3 ขอบเขตมาตรฐาน

- มาตรฐานนี้ใช้สำหรับกล้องถ่ายภาพดิจิทัลทั่วไป บันทึกช่วงคลื่นสีแดง สีเขียว และสีน้ำเงิน เท่านั้น
- มาตรฐานนี้ไม่รวมกล้องมัลติสเปกตรัล (multispectral camera) หรือกล้องไฮเปอร์สเปกตรัล (hyperspectral camera)
- มาตรฐานนี้ใช้สำหรับการทำงานด้วยโปรแกรมด้านการประมวลผลภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV Photogrammetry) เท่านั้น
- มาตรฐานนี้ใช้เป็นแนวทางปฏิบัติงานและการควบคุมคุณภาพแต่ละขั้นตอนของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม สำหรับประเทศไทย

5. มาตรฐานนี้ใช้ในการประมวลผลเพื่อสร้างแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศที่ทำจากแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข ซึ่งที่นี่จะเรียกว่า “ภาพออร์โธรีจ” ข้อมูลแบบจำลองพื้นผิวเชิงเลข และ พอยท์คลาวด์ (point cloud) เท่านั้น

1.4 กฎหมาย และมาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานฉบับนี้

1.4.1. กฎหมาย

อันเนื่องมาจากอากาศยานไร้คนขับเป็น "อากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก" ซึ่งต้องปฏิบัติตามประกาศกระทรวงคมนาคม มีกฎหมายที่เกี่ยวข้องดังนี้

1. พระราชบัญญัติการเดินอากาศ (ฉบับที่ ๑๒) พ.ศ. ๒๕๕๓
2. พระราชบัญญัติว่าด้วยความผิดบางประการต่อการเดินอากาศ พ.ศ. ๒๕๕๘
3. กฎกระทรวง กำหนดวัตถุซึ่งไม่เป็นอากาศยาน พ.ศ. ๒๕๕๘
4. ประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. ๒๕๕๘

5. ประกาศคณะกรรมการกิจการกระจายเสียง กิจการโทรทัศน์และกิจการโทรคมนาคมแห่งชาติเรื่อง หลักเกณฑ์และเงื่อนไขการอนุญาตให้ใช้คลื่นความถี่สำหรับอากาศยานซึ่งไม่มีนักบินสำหรับใช้งานเป็นการทั่วไป พ.ศ. ๒๕๖๑

หมายเหตุ กฎหมายและข้อกำหนดอาจมีการเปลี่ยนแปลงตามกาลเวลาและข้อกำหนดอาจแปรเปลี่ยนไปตามบริเวณพื้นที่ที่ดำเนินการ

1.4.2. มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

รายการเอกสารต่อไปนี้เป็นเอกสารที่คณะทำงานได้รวบรวมเพื่อศึกษา ทบทวน และพิจารณา ในการจัดทำร่างมาตรฐานฉบับนี้

1. สภาวิศวกร (2551), มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) แผนที่ภูมิประเทศ เพื่องานวิศวกรรม สภาวิศวกร

4 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

2. สภาวิศวกร (2558), มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจเพื่องานวิศวกรรม สภาวิศวกร
3. ASPRS (1990), ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps, March 1990
4. ASPRS (2014), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, November 2014
5. FGDC (1998), Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy
6. FGDC (2002), Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National
7. FGDC (2008), Geographic Information Framework Data Content Standard Part 2: Digital Orthoimagery
8. FGDC (2008), Geographic Information Framework Data Content Standard Part 3: Elevation

1.5 ความเข้าใจในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

เนื่องจากในอดีตงานสำรวจข้อมูลเชิงตำแหน่งเพื่องานวิศวกรรมจะการใช้แผนที่มาตราส่วนขนาดต่าง ๆ ลงบนกระดาษเป็นหลักโดยมีมาตรฐานสำหรับการใช้แผนที่มาตราส่วนที่เหมาะสมตรงตามความต้องการกับประเภทงานวิศวกรรม แต่ในปัจจุบันคอมพิวเตอร์เข้ามาเป็นเครื่องมือสำคัญในการประยุกต์ใช้ข้อมูลดิจิทัลสำหรับงานวิศวกรรมตั้งแต่การศึกษาวางแผน การออกแบบ การประมวลผล ตลอดจนการก่อสร้าง โดยที่คำนึงถึงความถูกต้องทางตำแหน่งมากกว่าการใช้มาตราส่วนในการทำงาน ดังนั้นข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับทำให้ได้ผลลัพธ์ข้อมูลเชิงตำแหน่งในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัลที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมที่คำนึงถึงความถูกต้องทางตำแหน่งในปัจจุบันได้เป็นอย่างดี แต่เนื่องด้วยร่างมาตรฐานเกณฑ์การปฏิบัติงานด้านการสำรวจเพื่องานวิศวกรรม และ Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) ได้กำหนดเกณฑ์ความถูกต้องเชิงตำแหน่งในงานวิศวกรรมต่าง ๆ โดยพบว่า

ในงานวิศวกรรมบางส่วนที่ใช้มาตราส่วนเช่นเดียวกัน แต่มีค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ยอมรับได้แตกต่างกัน เช่น งานสร้างผังรายละเอียดงานโครงสร้างสาธารณูปโภคและงานออกแบบอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างใช้มาตราส่วน 1:500 เช่นเดียวกันเพียงแต่ค่าความคลาดเคลื่อนแนวราบของงานสร้างผังรายละเอียดงานโครงสร้างสาธารณูปโภคมีค่า 100 มิลลิเมตร ส่วนงานออกแบบอาคารหรือสิ่งปลูกสร้างมีค่าความคลาดเคลื่อนแนวราบ 25 มิลลิเมตร เป็นต้น

ดังนั้นมาตราส่วนในงานทางด้านวิศวกรรมแม้จะใช้มาตราส่วนเดียวกัน ค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่ยอมรับได้อาจจะแตกต่างกันตามความต้องการแต่ละประเภทของโครงการวิศวกรรมนั้น ทำให้การกำหนดเกณฑ์ความถูกต้องทางตำแหน่งตามการใช้งานมีความเหมาะสมในการระบุความต้องการความถูกต้องของข้อมูลดิจิทัลที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งเป็นส่วนสำคัญของการวางแผนในการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่อให้ได้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องเพียงพอสำหรับงานวิศวกรรม

1.6 ระบบพิกัดอ้างอิงและพื้นหลักฐานประเทศไทย

1.6.1. ระบบพิกัดอ้างอิงทางราบ

ระบบพิกัดอ้างอิงแผนที่ (Spatial Reference System) สำหรับข้อมูลแผนที่ในประเทศไทย แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ ระบบพิกัดภูมิศาสตร์ (Geographic Coordinate System) และระบบกริด (Grid Coordinate System) โดยพื้นหลักฐานอ้างอิงที่ใช้ในประเทศไทย ได้แก่ พื้นหลักฐาน Indian1975 ปี พ.ศ.2518 องค์การแผนที่ กระทรวงกลาโหมสหรัฐอเมริกา (Defense Mapping Agency Hydrographic/Topographic Center : DMAHTC) และพื้นหลักฐาน WGS84 (World Geodetic System 1984) พื้นหลักฐานนี้อาจเรียกได้ว่าเป็น ระบบพื้นหลักฐานสากล ซึ่งที่ตั้งประเทศไทยจะครอบคลุมอยู่ในโซน 47N และ 48N ของแผนที่ในระบบ UTM WGS84

1.6.2. ระบบพิกัดอ้างอิงทางตั้ง

ค่าระดับสูง (Elevation) คือระยะในแนวตั้งเปรียบเทียบกับระดับทะเลปานกลาง (Mean Sea Level: MSL หรือ ร.ท.ก.) โดยประเทศไทยใช้ระดับทะเลปานกลางที่สถานีวัดน้ำ ตำบลเกาะหลัก จังหวัดประจวบคีรีขันธ์ เป็นค่าอ้างอิง

6 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

หมายเหตุ รายละเอียดเพิ่มเติมอ้างอิงตามมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจเพื่องานวิศวกรรม - ข้อกำหนดทั่วไป

1.7 โครงสร้างเอกสาร

เอกสารร่างมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมฉบับนี้ประกอบด้วย

บทที่ 1 บทนำ

กล่าวถึงที่มา ความสำคัญ และวัตถุประสงค์ในการจัดทำร่างมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม และข้อมูลเบื้องต้นตลอดจนกฎหมาย มาตรฐานต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องโดยสังเขป โครงสร้างเนื้อหามาตรฐานฉบับนี้

บทที่ 2 คำย่อ และนิยามศัพท์เทคนิค

คำย่อ และนิยามศัพท์เทคนิคที่กล่าวถึงในมาตรฐานฉบับนี้

บทที่ 3 อากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

การแบ่งประเภทอากาศยานไร้คนขับตามคุณลักษณะจำเพาะของการใช้งาน ส่วนประกอบสำคัญของอากาศยานไร้คนขับ และ ระบบควบคุมการทำงาน

บทที่ 4 กล้องบันทึกภาพดิจิทัลสำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

รายละเอียดเกี่ยวกับคุณสมบัติจำเพาะของกล้องที่ใช้ในการสำรวจ

บทที่ 5 มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลเพื่อใช้ในการวิศวกรรม รวมถึงการวางแผนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

บทที่ 6 หลักการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ

หลักการประมวลผลของโปรแกรม UAV ที่สอดคล้องกับทฤษฎีของโฟโตแกรมเมตรี เช่น การสร้างคีย์พอยท์ (keypoint), Auto tie point การคำนวณปรับแก้ การประมาณค่าพารามิเตอร์กล้องบันทึกภาพ ตลอดจนการสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DSM) และภาพออร์โธรีจิง เป็นต้น

บทที่ 7 ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ขั้นตอนในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูลที่มีคุณภาพตามต้องการ ไม่ว่าจะเป็นการวางแผนการบิน การกำหนดตำแหน่งหมุดบังคับภาพถ่าย ข้อกำหนดในการตั้งค่าและช่วงเวลาในการถ่ายภาพ การควบคุมคุณภาพการประมวลผล

บทที่ 8 การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การวางแผนการบินและการถ่ายภาพ ประกอบด้วยหลักเกณฑ์การวางแผนการบินให้ได้ภาพถ่ายที่มีคุณภาพ และการตั้งค่ากล้องบันทึกภาพเพื่อการสำรวจ

บทที่ 9 จุดควบคุมภาพถ่าย

การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย และการเลือกตำแหน่งจุดควบคุมภาพให้เหมาะสม โดยจุดควบคุมภาพถ่ายนั้นมีส่วนสำคัญต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

บทที่ 10 การประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายประกอบด้วย การตั้งค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขั้นตอน การตรวจสอบค่าการประมวลผล และปรับปรุงพารามิเตอร์ให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามที่วางแผนไว้

บทที่ 11 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์

ประกอบด้วย การตรวจสอบคุณภาพแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (DSM) และภาพออร์โธจรี โดยคำนึงถึงความถูกต้องทางตำแหน่ง คุณภาพของภาพ ความชัดของภาพ และสีของภาพ

บทที่ 12 เอกสารและข้อมูลที่ส่งมอบ

ขอบเขตของข้อมูลที่ส่งมอบ ประเภทของข้อมูล นามสกุลข้อมูล เช่น ข้อมูลภาพออร์โธจรี ข้อมูลพอยท์คลาวด์ เป็นต้น นอกจากนี้จะอธิบายแนวทางการจัดทำรายงานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

บทที่ 2

นิยามศัพท์เทคนิค

2.1 บทนำ

บทนี้เป็นการกล่าวถึงคำย่อและนิยามศัพท์เทคนิคที่ใช้ในมาตรฐานฉบับนี้ เพื่อที่จะได้เข้าใจความหมายของคำศัพท์ และ มีความเข้าใจใน คำศัพท์ หรือ คำย่อของคำศัพท์ ซึ่งจะส่งผลให้ผู้อ่านมีความเข้าใจในความหมายของคำศัพท์และคำย่อของศัพท์ เมื่อมีการกล่าวถึงในบทอื่นๆของร่างมาตรฐานการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับ

2.2 คำย่อ

AT	Aerial Triangulation
DEM	Digital Elevation Model
DSM	Digital Surface Model
DTM	Digital Terrain Model
EO	Exterior Orientation
FC	Fiducial Center
FOV	Field of View
GCP	Ground Control Point
GNSS	Global Navigation Satellite System
GSD	Ground Sample Distance
IMU	Inertial Measurement Unit
INS	Inertial Navigation System

IO	Interior Orientation
MSL	Mean sea level
PP	Principal Point
RMSE	Root Mean Square Error
RTK	Real Time Kinematic
SIFT	Scale Invariant Feature Transform
SfM	Structure from Motion
TIN	Triangulated Irregular Network
UAV	Unmanned Aerial Vehicle

2.3 นิยามศัพท์เทคนิค

Aerial Photograph

ภาพถ่ายทางอากาศ คือ ภาพที่ถ่ายโดย แกนของกล้องจะต้องอยู่ในแนวตั้งมากที่สุดโดยความเอียงของแกนกล้องนี้โดยปกติจะน้อยกว่า 1 องศา และ ไม่เกิน 3 องศา

Aerial Triangulation

โครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ คือ กระบวนการทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศโดยใช้ทฤษฎี Bundle Adjustment ซึ่งจะต้องประกอบด้วย Tie points และ Pass points ในการหาค่าองค์ประกอบการจัดภาพภายนอก (Exterior Orientation) ของภาพทุกใบในบล็อก

Aileron

ปีกแก้อียงของเครื่องบิน เป็นพื้นผิวที่ติดตั้งอยู่บริเวณขายปีกหลังส่วนปลายปีกที่เคลื่อนไหวได้เพื่อใช้สำหรับควบคุมการเอียงตัวของลำ (Roll) หรือการหมุนรอบแกนลองจิจูดินอล (longitudinal axis)

10 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Airframe

โครงเครื่องบิน เป็นโครงสร้างของเครื่องอากาศยานไร้คนขับ ซึ่งอาจมีรูปร่างที่แตกต่างกันตามลักษณะการออกแบบ รวมถึงในส่วนของวัสดุที่ใช้ก็มีลักษณะที่แตกต่างกัน เช่น พลาสติกผสมคาร์บอนไฟเบอร์ผสม หรือ โฟม เป็นต้น

Aperture

รูรับแสงใช้ในการควบคุมปริมาณแสงที่จะเข้าสู่กล้อง ซึ่งรูรับแสงที่มีขนาดใหญ่แสงก็จะยิ่งผ่านได้มาก ในทางกลับกันถ้ารูรับแสงมีขนาดเล็กแสงก็จะเดินทางผ่านเข้าไปได้น้อยลง ซึ่งลักษณะในการควบคุมปริมาณแสงนี้จะมีความสำคัญต่อการถ่ายภาพที่ต้องใช้แสงในการบันทึกภาพ หากแสงมีปริมาณน้อยเกินไปก็จะส่งผลให้ภาพที่ถ่ายมืด ในทางตรงกันข้ามหากแสงมีปริมาณมากเกินไปก็จะส่งผลทำให้ภาพสว่าง

Bundle Block Adjustment

การปรับแก้โครงข่ายบล็อกลำแสงของภาพถ่าย เป็นการสร้างระบบสมการร่วมเส้นของจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดโยงยึด เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ได้แก่ พารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก ของภาพถ่าย และ ค่าพิกัดบนภูมิประเทศจริงของจุดโยงยึด โดยการปรับแก้โครงข่ายบล็อกลำแสงของภาพถ่ายจะทำการสร้างสมการร่วมเส้น ขึ้นตามจำนวนของจุดควบคุมและจุดโยงยึดในแต่ละภาพ ซึ่งหากสามารถสร้างจำนวนสมการได้มากกว่าจำนวนพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ก็จะสามารถ หาค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่าได้ทั้งหมด โดยการปรับแก้ด้วยวิธี Least Square Adjustment

Camera Calibration

การวัดสอบกล้องถ่ายภาพ คือการวัดสอบทางเรขาคณิตที่ทำให้ทราบค่าพารามิเตอร์สำหรับการวางทิศทางภายใน (Interior Orientation) ของกล้องถ่ายภาพ อันได้แก่ ตำแหน่งของจุด Principal Point ความยาวโฟกัส และ ความบิดเบี้ยวของเลนส์ทั้งในแนวรัศมีและแนวตั้งฉากภาพ

Camera constant

ค่าคงที่ของกล้องถ่ายภาพ ซึ่งจะมีค่าเท่ากับ ความยาวโฟกัส (focal length) ในกรณีที่กล้องถูกกำหนดค่าโฟกัสที่ระยะอนันต์ มิฉะนั้นค่าคงที่ของกล้องถ่ายภาพจะมีค่าน้อยกว่า ความยาวโฟกัส

Check Point

จุดตรวจสอบ คือจุดตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย โดยจุด Check Point จะเป็นจุดที่ต้องทำการรังวัดค่าพิกัดตำแหน่งในระบบพิกัดภูมิประเทศจริง และ รังวัดค่าพิกัดในผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลของภาพถ่าย เพื่อที่จะตรวจสอบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล

Collinearity Condition

สภาวะร่วมเส้น หมายถึง สภาวะที่ตำแหน่งถ่ายภาพ จุดวัตถุ และ จุดภาพของวัตถุบนภาพถ่าย อยู่บนระนาบเส้นตรงเดียวกัน เป็นสภาวะที่เกิดขึ้นขณะถ่ายภาพ ซึ่งสามารถสร้างสมการที่แสดงความสัมพันธ์ของตำแหน่งถ่ายภาพ จุดภาพ และจุดวัตถุในสภาวะดังกล่าว เรียกว่า “ สมการสภาวะร่วมเส้น ”

Confidence Level

ระดับความเชื่อมั่น หมายถึง ค่าที่แสดงความมั่นใจต่อการสรุปผลได้อย่างถูกต้อง ซึ่งโดยทั่วไปแล้วในการวิจัยจะมีการกำหนดค่าของระดับความเชื่อมั่นไว้เท่ากับ 95 หรือ 99%

Control System

ระบบควบคุมเครื่องบิน หมายถึง ระบบที่ควบคุมการทำงานของอากาศยานไร้คนขับได้แก่ การบังคับแบบใช้เครื่องควบคุมวิทยุจากภาคพื้น หรือการใช้คอมพิวเตอร์สั่งการอัตโนมัติ

Datum

พื้นหลักฐาน คือ จุดที่ใช้อ้างอิงเพื่อใช้วัดตำแหน่งบนพื้นผิวโลก ซึ่งจุดอ้างอิงนี้จะใช้เป็นตำแหน่งเริ่มต้นของการให้เส้นรุ้งและเส้นแวง

12 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Digital Elevation Model

แบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข คือ การจำลองความสูงของภูมิประเทศ และจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลราสเตอร์ โดยมีการกำจัดข้อมูลความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกออกจากแบบจำลองภูมิประเทศเชิงตัวเลข

Digital Surface Model

คือ การสร้างแบบจำลองความสูงของภูมิประเทศ และจัดเก็บข้อมูลให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลราสเตอร์ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น

Drag

แรงต้าน เป็นแรงที่กระทำตรงข้ามกับการเคลื่อนที่ เช่น แรงเสียดทานที่อากาศกระทำ แรงดึงดูดเนื่องจากอากาศแทนที่

Elevator

ปีกปรับระดับการบิน คือ พื้นผิวที่เคลื่อนไหวได้อยู่บริเวณชายหลังของแพนหาง ซึ่งมีหน้าที่ยกหรือลดระดับด้านหน้าลำ หรือการหมุนรอบแกนแลทเทอร์รัล (lateral axis)

Exterior Orientation

ค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก คือ ค่าพารามิเตอร์ที่ใช้ในการแปลงระบบพิกัดระหว่างระบบพิกัดบนภูมิประเทศจริง และ ระบบพิกัดภาพถ่าย ซึ่งค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก จะประกอบด้วยตำแหน่ง (Position) และ การเอียง (Orientation) ของภาพถ่ายในระวางวัตถุ ตำแหน่งถ่ายภาพ กำหนดโดยพิกัดวัตถุของ จุด Perspective Center ส่วนการเอียง อธิบายโดยใช้การเอียงของแกนกล้องขณะถ่ายภาพ (ขณะเปิดหน้ากล้อง) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (Spatial Relationship) ระหว่างระบบพิกัดบนภูมิประเทศจริง กับ ระบบพิกัดภาพถ่าย

Fiducial Mark

จุดดัชนี คือ จุดที่มีการทำเครื่องหมายอย่างชัดเจน อาจประกอบด้วยจำนวนจุด 4 หรือ 8 จุด อยู่บริเวณมุมหรือด้านข้างของกรอบภาพ ซึ่งจะถูกนำมาประยุกต์ใช้สำหรับกล้องถ่ายภาพแบบ อนาคต หรือ กล้องฟิล์ม จุดดัชนีจะถูกนำมาใช้ในการหาค่าพิกัดตำแหน่งของจุดมุมสำคัญของ ภาพถ่าย และ ระบบพิกัดของภาพถ่าย แต่สำหรับกล้องถ่ายภาพแบบดิจิตอล จะไม่มีความจำเป็นที่ จะต้อง มี จุดดัชนี เนื่องจาก ภายในกล้องถ่ายภาพแบบดิจิตอลมีเซนเซอร์ (Sensor) ที่สามารถสร้าง ระบบพิกัด ได้อย่างเสถียร

Field of View

มุมรับภาพและองศารับภาพ คือค่าขอบเขตการมองเห็น ซึ่งเป็นสมบัติที่แสดงถึงพื้นที่การ มองเห็นวัตถุของกล้องถ่ายภาพ

Fixed – wing UAV

เป็นอากาศยานไร้คนขับที่มีลักษณะภายนอกการทำงานคล้ายคลึงกับเครื่องบิน จึงจำเป็นที่ จะต้อง มีพื้นที่ทางยาวสำหรับการใช้ขึ้นและลงของลำ ซึ่งอากาศยานไร้คนขับสามารถบินได้นาน และ บรรทุกอุปกรณ์ที่น้ำหนักมากได้

Flap

คือ พื้นผิวที่ติดตั้งอยู่ชายปีกหลังส่วนใกล้ลำ ทำหน้าที่เพิ่มหรือลดแรงยกของปีก

Flight Altitude

ระดับความสูงบิน คือระดับความสูงของอากาศยานไร้คนขับที่อ้างอิงเหนือระดับทะเลปาน กลาง (MSL)

Flight Strip

คือ การถ่ายภาพเป็นแนวนาน หรือ เรียกว่าแนวนบิน

14 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Focal Lengt

ระยะโฟกัสของเลนส์ คือ ระยะที่สั้นที่สุดระหว่าง Projection center และ ระนาบของภาพถ่าย

Georectified

คือ ภาพถ่ายที่ผ่านกระบวนการแก้ไขและกำจัดค่าความคลาดเคลื่อนผิดพลาดต่างๆ

Global Navigation Satellite System

ระบบโครงข่ายการรังวัดด้วยดาวเทียม คือ ระบบนำทางด้วยดาวเทียม เป็นคำมาตรฐานทั่วไปที่ใช้เรียกแทนคำว่า Satellite Navigation System (Sat Nav) ซึ่งทำหน้าที่ให้ข้อมูลค่าพิกัดบนผิวโลก โดยใช้อุปกรณ์อิเล็กทรอนิกส์เป็นตัวรับสัญญาณเพื่อคำนวณและแสดงพิกัดตำแหน่ง ณ จุดที่ตัวรับสัญญาณตั้งอยู่

Ground Control Point

จุดควบคุมภาพถ่าย คือ จุดใด ๆ ที่ทราบค่าพิกัดในระบบพิกัดภูมิประเทศ เพื่อเป็นตัวกลางที่ทำให้สามารถจัดภาพให้มีความสัมพันธ์อ้างอิง กับพื้น ภูมิประเทศ

Ground Control Station

ระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้น มีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานและตรวจสอบข้อมูลสถานะต่าง ๆ ที่ส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับ

Ground Sample Distance

หมายถึง ตัวเลขระยะที่บอกขนาดของตัวอย่างบนพื้นดินคิดที่ 1 จุดภาพ (pixel)

Hovering

คือ การลอยตัวนิ่งบนอากาศ โดยตัวลำจะไม่หมุนไปทางซ้ายหรือทางขวา

Inertial Measurement Unit

หน่วยวัดความเฉื่อย เป็นระบบหนึ่ง ซึ่งบรรจุในระบบนำทางเฉื่อย (Inertial Navigation System : INS) ซึ่งมีส่วนประกอบหลักที่สำคัญ คือ เครื่องวัดความเร่ง ที่ทำหน้าที่วัด ทั้งความเร่งเชิงมุม และความเร่งเชิงเส้น อีกทั้งหน่วยวัดความเฉื่อย ยังประกอบด้วย ไจโรสโคป (เพื่อรักษาให้อยู่ในแนวอ้างอิงที่ถูกต้อง)

Inertial Navigation System

ระบบนำทางเฉื่อย คือระบบนำทางสำหรับหลายระบบ โดย ไม่ต้องอาศัยอุปกรณ์อ้างอิงภายนอก

Interior Orientation

ค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายใน คือ ค่าคงที่ของกล้องถ่ายภาพ ได้แก่ ค่าพารามิเตอร์ของค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์ ตำแหน่งจุดมยุขสำคัญของภาพถ่าย เป็นต้น ซึ่งค่าพารามิเตอร์จัดการภาพภายใน จะถูกนำมาคำนวณในการแปลงระบบพิกัดจากระบบภาพถ่าย 2 มิติ เป็น ระบบพิกัด 3 มิติ ดังนั้นจึงต้องมีการวัดสอบกล้องถ่ายภาพ เพื่อทำการหาค่าพารามิเตอร์การจัดภาพภายใน

Image base

คือ ระยะระหว่าง Projection Centers ของตำแหน่งกล้องถ่ายภาพของคู่ภาพสเตอริโอ ซึ่งการเปลี่ยนความยาวของฐานภาพ ทำให้สามารถวัดขนาด สเกล ในแบบจำลอง 3 มิติ

ISO

คือ ค่าความไวแสง ที่ทำหน้าที่ควบคุมระดับความไวต่อแสงที่มากกระทบของเซนเซอร์ภาพ ซึ่งการตั้งค่า ISO ที่สูงจะทำให้เซนเซอร์กล้องไวต่อแสงมากขึ้นทำให้ถ่ายภาพในขณะที่มีมืดได้ นอกจากนี้ค่า ISO ยังส่งผลต่อการตั้งค่าความเร็วชัตเตอร์และความเร็วของรูรับแสงด้วย

Keypoint

จุดสำคัญ คือ จุดที่ได้จากการประมวลผลภาพถ่าย ซึ่งข้อมูลจุดที่ได้นี้จะเป็นข้อมูลจุดสำคัญนี้จะแสดงถึงลักษณะเฉพาะของข้อมูล เช่น สี รูปทรงของข้อมูล เป็นต้น

16 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Lateral Axis

คือ แกนที่ลากผ่านตั้งแต่ปลายปีกด้านหนึ่งถึงอีกด้านหนึ่ง

Launch

การส่งอากาศยานไร้คนขับขึ้นบิน สามารถทำได้โดยหลากหลายวิธีการ เช่น การยิงจากเครื่องส่ง การส่งด้วยมือ การขึ้นบินแนวตั้ง เป็นต้น

Lens Distortion

ความเพี้ยนของเลนส์ คือ ความผิดเพี้ยนของเลนส์ที่อาจเกิดขึ้นในขั้นตอนกระบวนการผลิตเลนส์ภาพถ่ายของกล้อง ซึ่งจะต้องทำการวัดสอบเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ค่าแก้ความผิดเพี้ยนของเลนส์

Lift

แรงยก เป็นแรงยกที่เกิดจากการบิน โดยความกดอากาศที่แตกต่างกันระหว่างพื้นผิวด้านบนกับพื้นด้านล่าง

Longitudinal Axis

คือ แกนที่ลากผ่านส่วนหัวของลำจนถึงท้ายลำ

Mosaic

โมเสค คือ ภาพต่อของภูมิประเทศ ที่สร้างขึ้นโดยการนำภาพถ่ายแต่ละภาพมา ตัดต่อรวมเข้าด้วยกันเป็นพื้นเดียว

Motion Blur

คือ ภาพเบลอขณะเคลื่อนไหวซึ่งเกิดจากการกำหนดค่าความเร็วชัตเตอร์ให้ทำงานช้าจนส่งผลให้เกิดภาพถ่ายที่มีความเบลอ

Navigation System

ระบบนำร่องและนำทาง เป็นส่วนสำคัญของอากาศยานไร้คนขับที่ใช้ในการระบุตำแหน่งและการวางแผนการบิน

Orthophoto

ภาพของภูมิประเทศที่สร้างจากคู่ภาพที่ซ้อนทับกันโดยมีการขจัดลักษณะเรขาคณิตแบบการฉายจากจุดศูนย์ทิวทัศน์ของภาพออกไป ภาพออร์โธสามารถนำมาใช้ได้ในลักษณะเดียวกับแผนที่ทางราบ (Planimetric Map) เนื่องจากมีมาตราส่วนคงที่ และถ้าหากนำเส้นชั้นความสูงมาซ้อนทับบนภาพออร์โธ ก็จะได้เป็นแผนที่ภาพออร์โธที่สามารถนำมาใช้เช่นเดียวกับแผนที่ภูมิประเทศ (Topographic Map)

Overlap

ส่วนซ้อนของภาพ คือ ภาพที่อยู่ประชิดกันในแต่ละแนวนบินซึ่งจะครอบคลุมพื้นที่เหลื่อมกันเป็นบางส่วน

Pass points

คือ จุดที่อยู่บริเวณใกล้เคียงกับจุดमुखสำคัญ โดยจุด Pass points จะถูกนำมาประมวลผลในกระบวนการทำโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ

Payload

น้ำหนักบรรทุก คือ น้ำหนักของสัมภาระที่อากาศยานไร้คนขับสามารถบรรทุกได้

Photogrammetry

โฟโตแกรมเมตรี เป็น ศิลปวิทยาการและเทคโนโลยีในการทำให้ได้มาซึ่งสารสนเทศที่มีความน่าเชื่อถือ จากการบันทึกภาพโดยไม่สัมผัส หรือจากระบบตรวจจับ ในเรื่องที่เกี่ยวข้องกับโลกและสภาพแวดล้อม รวมทั้งวัตถุทางกายภาพอื่น ๆ และประมวลผลโดยผ่านกระบวนการบันทึก การรังวัด การวิเคราะห์ และการแสดงผล

Pitch

คือ การหมุน หรือ การเคลื่อนที่ของลำตัวเครื่องอากาศยานไร้คนขับรอบแกน Lateral Axis

18 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Pixel Size

ขนาดของจุดภาพ คือ ขนาดพิกเซลบนภาพถ่ายที่สามารถบอกถึงค่าความละเอียดของภาพถ่าย

Point Cloud

พอยท์คลาวด์ คือ กลุ่มของจุดสามมิติ ที่เก็บค่าของตำแหน่ง และ ค่าพิกัดตำแหน่ง ค่าระดับ เพื่อใช้ในการประมวลผลเป็นผลลัพธ์เชิงตำแหน่ง พอยท์คลาวด์สามารถเก็บได้ในรูปแบบของฐานข้อมูล หรือ เท็กซ์ไฟล์ใน ลักษณะ CSV

Principal Point

จุดमुखยสำคัญของภาพถ่าย คือ จุดกึ่งกลางเลนส์กล้องถ่ายภาพทางอากาศในแนวตั้งฉากบนระนาบภาพ

Projection center

คือ จุดรวมของลำแสงที่พาดผ่านเข้ามาทั้งหมด ซึ่งจะถูกกำหนดเป็นจุดอ้างอิงของระบบพิกัดกล้องถ่ายภาพเพื่อที่จะสามารถนำไปคำนวณทางคณิตศาสตร์

Radial Lens Distortion

ความคลาดเคลื่อนของเลนส์ในแนวรัศมี คือความเพี้ยนเลนส์ตามแนวรัศมี เกิดจากการขัดผิวเลนส์ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ทำให้ตำแหน่งจุดภาพปรากฏคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมตามแนวรัศมีจากจุดमुखยสำคัญ (cx,cy) จึงทำให้ต้องมีการวัดสอบและทำการปรับแก้ด้วยค่าพารามิเตอร์ $K_0 K_1 K_2$

Rectified Imagery

ภาพตัดแก้ คือ ภาพที่ได้รับการจัดอิทธิพลของการเอียงของกล้องในขณะถ่ายภาพออกไปแต่ยังมีอิทธิพลของความสูงต่ำของภูมิประเทศ (Relief) ปรากฏอยู่ จึงทำให้มาตราส่วนที่แท้จริงในภาพ

แปรผันไปตามลักษณะของภูมิประเทศ เช่นเดียวกับในกรณีของภาพหรือรูปถ่ายดั้งเดิมและในกรณีของโมเสค

Relief Displacement

ความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งของจุดภาพ คือ ค่าความคลาดเคลื่อนที่เกิดขึ้นเมื่อพื้นที่ที่ทำการบันทึกภาพถ่ายมีค่าระดับความสูงแตกต่างกัน ส่งผลให้การปรากฏของจุดภาพบนภาพถ่ายคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งที่ควรจะเป็นบนพื้นหลักฐานอ้างอิงเดียวกัน ซึ่งจะมีลักษณะเคลื่อนที่ออกจากจุดमुखยสำคัญตามแนวรัศมีและแปรผันตามค่าความสูงที่เทียบกับพื้นหลักฐานอ้างอิงนั้น

Reprojection Error

คือ ค่าความผิดพลาดทางเรขาคณิตที่ขึ้นอยู่กับระยะระหว่างจุดที่ฉายลงบนภาพถ่ายและจุดที่ทำการรังวัด ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนนี้สามารถแก้ไขได้โดยการวัดสอบกล้องถ่ายภาพและการรังวัดจุดบนภาพถ่าย

Rolling Shutter Effect

คือความผิดพลาดที่ส่งผลให้ความแม่นยำของภาพต่ำลง อันเนื่องมาจากเมื่อความเร็วในการเคลื่อนที่ของกล้อง มีความเร็วกว่าการบันทึกภาพของกล้องจึงทำให้ภาพเกิดการบิดเบี้ยวเมื่อนำไปประมวลผลในทาง Photogrammetry อันเนื่องด้วยการกระจัดของพิกเซลจะทำให้ส่งผลเกิดปัญหาในการจับค่าคุณลักษณะ และพารามิเตอร์ของกล้องได้ไม่ถูกต้อง

Rudder

คือ พื้นผิวที่ติดอยู่ท้ายหลังของกระโดงหาง ซึ่งทำให้ลำหันซ้ายหรือขวา หรือการหมุนรอบแกนตั้ง (vertical axis)

Shutter

ชัตเตอร์ เป็น ตัวควบคุมเวลาที่เปิดให้แสงเข้ามาที่ฟิล์มของกล้องถ่ายภาพ

20 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Shutter Speed

ความเร็วของม่านชัตเตอร์ ซึ่งเป็นอีกหนึ่งปัจจัยหลักในการควบคุมปริมาณแสงและลักษณะของภาพถ่าย เมื่อแสงเดินทางผ่านเลนส์เข้ามายังตัวกล้อง ชัตเตอร์จะเป็นประตูเปิด-ปิดเพื่อกั้นแสงที่จะเดินทางต่อไปยังเซนเซอร์รับภาพที่อยู่ด้านหลังต่อไป

Side lap

ส่วนเกย คือ ส่วนทับซ้อนของภาพที่เกิดจากการเหลื่อมกันของแต่ละแนวนบิน

Stereo model

หากคู่ภาพถ่ายมีส่วนที่ซ้อนทับกัน ส่วนที่ทับซ้อนกันสามารถใช้สำหรับการวัดสเตอริโอ ซึ่งสามารถนำมาประมวลผลในรูปแบบ Stereo model ที่สามารถมองเห็น และ รั่ววัดค่า ได้ในแบบ 3 มิติ

Tangential Lens Distortion

ความคลาดเคลื่อนของเลนส์ตามแนวสัมผัส คือความเพี้ยนเลนส์ตามแนวสัมผัส เกิดจากการจัดวางเลนส์โดยที่แกนทัศนเลนส์แต่ละเลนส์ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ทำให้ตำแหน่งจุดภาพปรากฏคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมตามแนวสัมผัสกับรัศมีจากจุดमुख्यสำคัญและทำการปรับแก้ด้วยค่าพารามิเตอร์ P_1 P_2 ที่ได้จากการวัดสอบ

Throttle

การเร่งเครื่อง คือการเคลื่อนที่ขึ้นลงตามแกนตั้ง โดยอาศัยทางเร่งหรือลดกำลังของใบพัด

Tie point

จุดโยงยึด เป็นจุดบนภาพถ่ายเชิงเลขหรือภาพถ่ายทางอากาศซึ่งปรากฏบนภาพถ่ายเชิงเลขหรือภาพถ่ายทางอากาศที่อยู่ใกล้เคียง จุดโยงยึดใช้สำหรับเชื่อมจุดภาพในการจัดภาพสัมพันธ์ในขั้นตอนการปรับแก้โครงข่ายบล็อกลำแสง (bundle block adjustment)

Triangulated Irregular Network

โครงข่ายสามเหลี่ยมไม่สม่ำเสมอ คือ ข้อมูลพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ที่แสดงลักษณะของ พื้นผิวโดยใช้รูปสามเหลี่ยมหลายรูปซึ่งมีด้านประชิดกัน และใช้จุดยอดร่วมกันเรียงต่อเนื่องกันไปโดยค่าระดับที่จัดเก็บอยู่ที่จุดยอดของสามเหลี่ยม จุดเหล่านี้จะกระจายตัวไม่สม่ำเสมอโดยพื้นที่ที่มีความแตกต่างของค่าระดับมากๆ จุดจะอยู่ใกล้กัน แต่หากพื้นที่ที่มีค่าระดับไม่แตกต่างกันนัก จุดจะอยู่ห่างกัน

True Orthophoto

การประมวลผลสร้าง True Orthophoto จะใช้ Surface model ซึ่งประกอบด้วยข้อมูลของวัตถุที่อยู่เหนือพื้นดิน หรือ อาจใช้ DSM(Digital Surface Model) ในการนำมาประมวลผลแก้ไขและขจัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างจากภาพ Orthophoto ที่จะทำการแก้ไขความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตด้วยข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ อันได้แก่ Digital Terrain Model (DTM) , Digital Elevation Model (DEM) ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความผิดเพี้ยนของวัตถุที่อยู่ในระดับพื้นดินเท่านั้นที่จะถูกแก้ไข

Unmanned aerial vehicle

อากาศยานไร้คนขับ คือ อากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง ซึ่งเป็นอากาศยานที่ไม่ต้องใช้คนขับหรือนักบินภายในเครื่อง แต่สามารถควบคุมได้ โดยในปัจจุบันได้มีการนำอากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายเพื่อนำมาประมวลผลในด้านของ Photogrammetry

Vertical Axis

คือ แกนที่ลากผ่านด้านบนของลำจนถึงส่วนของท้องเครื่อง

Yaw

คือ การหันเห การหมุน หรือ การเคลื่อนที่ของลำตัวเครื่องอากาศยานไร้คนขับรอบแกน Vertical Axis

บทที่ 3

อากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

3.1 บทนำ

อากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่ายเป็นอุปกรณ์สำหรับทำงานถ่ายภาพทางอากาศ โดยตัวเครื่องสามารถทำงานได้อย่างเป็นระบบ โดยผ่านการกำหนดพื้นที่ในการเก็บข้อมูลภาพถ่าย การกำหนดแนวบิน การกำหนดจุดบินขึ้น-ร่อนลง จากผู้ใช้งานในเบื้องต้น การควบคุมและแสดงผลการทำงานผ่านสถานีควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Station) โดยผู้ปฏิบัติงานสามารถทราบตำแหน่งของเครื่องอากาศยานไร้คนขับว่าอยู่ตำแหน่งใด สถานะเชื่อมต่อ สถานะดาวเทียม สถานะของพลังงานแบตเตอรี่ อีกทั้งผู้ปฏิบัติงานสามารถสั่งการให้อากาศยานไร้คนขับบินไปยังจุดที่ต้องการ เพิ่ม-ลดระดับความสูง การร่อนลงฉุกเฉินตามลักษณะเหตุการณ์เฉพาะหน้าได้ โดยเมื่อหลังจากที่บินถ่ายภาพในพื้นที่เสร็จสิ้นตามขั้นตอนแล้ว จะต้องนำข้อมูลทั้งหมดมาทำการประมวลผลภาพถ่ายด้วยโปรแกรมหรือซอฟต์แวร์ เพื่อให้ได้มาซึ่งข้อมูล Orthophoto และ Digital Surface Model (DSM) เพื่อนำผลของข้อมูลดังกล่าวไปใช้งานตามจุดประสงค์ต่าง ๆ ต่อไป

3.2 ประเภทของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

ในปัจจุบัน อากาศยานไร้คนขับมีการแบ่งประเภทที่สามารถกำหนดรูปแบบการจัดได้หลายลักษณะ ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับความมุ่งหมายในการนำไปใช้ การกิจ คุณลักษณะเฉพาะของอากาศยานไร้คนขับเองที่ถูกพัฒนาขึ้นสำหรับการใช้งานสำหรับภารกิจใดภารกิจหนึ่ง หรือสำหรับสภาวะของภูมิประเทศในการนำไปใช้ นอกจากนั้นในข้อพิจารณาดังกล่าว จะต้องคำนึงถึงว่าอากาศยานไร้คนขับดังกล่าว ผู้นำไปใช้เป็นองค์กรใด มีการใช้เพื่อความมุ่งหมายและเหตุผลใด ซึ่งนักวิชาการไทยได้กล่าวถึงการแบ่งประเภทของอากาศยานไร้คนขับไว้ 8 ประเภท ดังนี้

1. แบ่งตามความต้องการของการใช้
2. แบ่งตามลักษณะการควบคุม
3. แบ่งตามลักษณะประเภทของการบิน

4. แบ่งตามขีดความสามารถของระยะปฏิบัติการ
5. แบ่งตามความสูงของเพดานบินและห้วงเวลาในการครองอากาศ
6. แบ่งตามระดับของการปฏิบัติการ
7. แบ่งตามลักษณะการสร้าง
8. แบ่งตามการสนับสนุนและการส่งกำลังบำรุง

โดยมาตรฐานฉบับนี้จะแบ่งประเภทอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่ายสามารถแบ่งออกเป็น 4 ประเภท ดังนี้

3.2.1. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing)

อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing) เป็นอากาศยานที่มีลักษณะคล้ายกับเครื่องบินทั่วไป ใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 30-60 นาที สามารถบินครอบคลุมพื้นที่ได้มากกว่าอากาศยานไร้คนขับแบบปีกหมุน ในการลงจอดจะต้องอาศัยพื้นที่โล่งกว้างพอสมควร



รูปที่ 3.1 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing)

24 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ที่มา: Jojo. (March 2017). Types of Drones – Explore the Different Models of UAV's. Retrieved July 11, 2018, from <http://www.circuitstoday.com/types-of-drones>

3.2.2. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)

อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor) เป็นอากาศยานขึ้นลงแนวดิ่งอาศัยการหมุนของใบพัดในการขึ้นลงและขับเคลื่อนไปในทิศทางต่าง ๆ ประกอบด้วยใบพัดจำนวน 3, 4, 6 และ 8 ใบพัด โดยทั่วไปใช้ระยะเวลาการบินประมาณ 10-20 นาที



รูปที่ 3.2 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)

ที่มา: Photo Modeler. (23 January 2018). Why use Photogrammetry for Surveying and Mapping?. Retrieved July 11, 2018, from <http://www.droneomega.com/types-of-drones/>.

3.2.3. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter)

อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter) เป็นอากาศยานที่มีรูปร่างและโครงสร้างคล้ายเฮลิคอปเตอร์ ไม่เหมือนอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน มีใบพัดขนาด

ใหญ่เพียงใบเดียวที่ใช้ในการเคลื่อนที่และมีใบพัดขนาดเล็กอยู่บนหางของอากาศยานเพื่อควบคุมทิศทางในการบิน ซึ่งจะมีประสิทธิภาพมากกว่าอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนบางรุ่น



รูปที่ 3.3 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter)

ที่มา: Andrew Chapman. Types of Drones: Multi-Rotor vs Fixed-Wing vs Single Rotor vs Hybrid VTOL. Retrieved July 11, 2018, from <https://www.auav.com.au/articles/drone-types/>.

3.2.4. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง (Fixed-Wing Hybrid)

อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง (Fixed-Wing Hybrid) เป็นอากาศยานที่ได้รับการพัฒนาขึ้นมาใหม่ มีลำตัวอากาศยานเป็นแบบอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง แต่สามารถขึ้นลงแนวดิ่งได้ ซึ่งเป็นการนำเอาข้อดีของประเภทอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงมารวมกับอากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน

26 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม



รูปที่ 3.4 อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง (Fixed-Wing Hybrid)

ที่มา: Drone Omega. The Different Types of Drones Explained. Retrieved July 11, 2018, from <http://www.droneomega.com/types-of-drones/>.

อากาศยานไร้คนขับแต่ละชนิดมีความแตกต่างกันในรูปลักษณะและความเหมาะสมในการเลือกใช้ เปรียบเทียบข้อดี-ข้อเสียของแต่ละชนิดได้จากตารางที่ 5.1

ตารางที่ 3.1 เปรียบเทียบข้อดีข้อเสียของอากาศยานไร้คนขับประเภทต่าง ๆ

ประเภทของอากาศยานไร้คนขับ	ข้อดี	ข้อเสีย
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง	ระยะเวลาในการบินได้นาน ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง บินด้วยความเร็วสูง ทนต่อแรงลม	ใช้พื้นที่ขึ้นลงมาก ราคาสูง ใช้งานยาก

อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน	ง่ายต่อการใช้งาน ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย ราคาถูก	บินช้า ระยะเวลาในการบินน้อย
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว	ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย ระยะเวลาในการบินได้นาน	ราคาสูง ใช้งานยาก
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวดิ่ง	ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย ระยะเวลาในการบินได้นาน ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง บินด้วยความเร็วสูง ทนต่อแรงลม	ราคาสูง ใช้งานยาก

3.3 ส่วนประกอบของอากาศยานไร้คนขับสำหรับงานสำรวจด้วยภาพถ่าย

จากคำจำกัดความของอากาศยานไร้คนขับหมายถึง เครื่องบินที่สามารถบินได้ด้วยระบบอัตโนมัติ โดยไม่ใช้นักบิน จะเห็นว่าลักษณะของอากาศยานไร้คนขับจะกำหนดได้จากการออกแบบการสร้างระบบต่าง ๆ ในอากาศยานไร้คนขับและระบบสนับสนุนที่อยู่บนพื้นดิน ซึ่งสิ่งเหล่านี้ได้มาจากความต้องการหลัก 5 ประการ คือ ระยะเวลาบิน ความเร็ว รัศมีทำการ ความสูง และน้ำหนักรวม เมื่อพิจารณาโดยรวมทั้งระบบแล้วระบบอากาศยานไร้คนขับจะแยกได้ 10 ส่วน คือ

28 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

1. โครงเครื่องบิน (Airframe) มีรูปร่างที่แตกต่างกันตามแต่ละประเภทของอากาศยานไร้คนขับ ในลำตัวประกอบด้วย เฟรม มอเตอร์ ใบพัด ชุดอิเล็กทรอนิกส์ควบคุมรอบมอเตอร์หรือเซอร์โวสำหรับเครื่องบินปีกแข็ง ส่วนวัสดุที่ใช้ก็มีหลายแบบ เช่น โลหะ พลาสติกผสม คาร์บอนไฟเบอร์ผสม
2. ระบบควบคุม (Control System) เป็นระบบการบังคับโดยใช้วิทยุจากพื้นดิน หรือควบคุมการบินด้วยระบบคอมพิวเตอร์ ชุดควบคุมการบิน ประกอบด้วย ตัวแก้อียง IMU ทำงานร่วมกับ GPS และตัวตรวจจับอื่นๆ เพื่อรักษาระดับความสูงและตำแหน่ง
3. กล้อง (Camera) เป็นอุปกรณ์สำหรับการถ่ายภาพทางอากาศ
4. ระบบการปล่อยและลงจอด (Launch and Landing System) การปล่อยอากาศยานไร้คนขับขึ้นบินทำได้หลายวิธี เช่น การยิงจากเครื่องส่ง (Launch) การวิ่งขึ้นจากทางวิ่ง การโยน และการลงจอดก็มีหลายวิธี เช่น การจับด้วยตาข่าย การใช้ร่มชูชีพ การใช้พาราพอยล์ และการบังคับลงบนรันเวย์
5. ระบบนำร่องและนำวิถี (Navigation and Guidance System) จะใช้ GNSS เป็นอุปกรณ์ทำงานด้านระบบนำร่องและนำวิถี ซึ่งเป็นส่วนที่สำคัญของอากาศยานไร้คนขับ
6. ระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้น (Ground Control Station) หลักการทำงานคล้ายๆ กับระบบควบคุมภาคพื้นของอากาศยานทั่วไป โดยมีหน้าที่ตรวจสอบการทำงานและตรวจข้อมูลต่าง ๆ ที่ส่งมาจากอากาศยานไร้คนขับ
7. ช่อ่งสัมภาระที่บรรทุกได้ (Payload) เช่น กล้องถ่ายภาพ แบตเตอรี่
8. ระบบการเชื่อมต่อและเก็บข้อมูล (Data Link and Storage System) ระบบเชื่อมต่อระหว่างอากาศยานไร้คนขับและระบบควบคุมและสนับสนุนภาคพื้น ใช้หลายย่านความถี่ เช่น ย่านความถี่สูง (HF) ย่านความถี่สูงมาก (VHF) และย่านไมโครเวฟ
9. ระบบป้องกันตนเอง (Self-Protection Systems) อากาศยานจะมีระบบป้องกันตนเองเบื้องต้นเพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายกับอากาศยานในระหว่างการบิน เช่น เมื่อแบตเตอรี่ใกล้หมดแต่ยังไม่ถึงจุดร่อนลง อากาศยานจะร่อนลงเองอัตโนมัติเพื่อไม่ให้เกิดการทิ้งตัวในระหว่างการบิน

10. ผู้ควบคุมอากาศยาน (Pilot) ต้องเป็นผู้ที่มีประสบการณ์สูง และได้รับการฝึกมาเป็นอย่างดี เพื่อไม่ให้เกิดความเสียหายระหว่างการบินและได้ข้อมูลภาพถ่ายที่สามารถนำมาประมวลผลได้อย่างมีประสิทธิภาพ

ฉบับเทคนิคพิจารณา

บทที่ 4

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

4.1 บทนำ

กล้องถ่ายภาพดิจิทัลสำหรับติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่สุดในการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ โดยในปัจจุบันกล้องดิจิทัลมีให้เลือกใช้หลากหลาย มีขนาดตั้งแต่เล็กที่ติดมากับอากาศยานไร้คนขับบางรุ่นหรือกล้องขนาดใหญ่อย่าง DSLR (Digital Single Lens Reflex Camera) โดยเทคโนโลยีในปัจจุบันภาพถ่ายที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้นอาจมีอยู่ในกล้องขนาดเล็กถึงขนาดกลาง ดังนั้นการศึกษาข้อมูลจำเพาะที่จำเป็นต่อการถ่ายภาพทางอากาศจึงเป็นส่วนที่จำเป็นในการเลือกใช้กล้องถ่ายภาพดิจิทัล

4.2 ประเภทของกล้องบันทึกภาพดิจิทัล

กล้องดิจิทัลเป็นกล้องบันทึกภาพผ่านเซนเซอร์ลงในสื่ออิเล็กทรอนิกส์ เช่น การ์ดหน่วยความจำจัดเก็บข้อมูล เป็นต้น โดยหลักการทำงานของกล้องดิจิทัลนั้นคือการใช้เลนส์รับแสงสะท้อน ขณะที่รับรู้รับแสง และชัตเตอร์ สำหรับควบคุมปริมาณแสงที่เข้าสู่เซนเซอร์อย่างเหมาะสม ซึ่งมาตรฐานฉบับนี้จะกล่าวถึงประเภทกล้องดิจิทัลทั่วไปดังนี้

4.2.1. กล้องคอมแพค (Compact Camera)

กล้องคอมแพคหรือกล้องดิจิทัลขนาดเล็กไม่สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ โดยคุณภาพของกล้องคอมแพคนั้นมีตั้งแต่ระดับต่ำจนถึงระดับสูง โดยมีฟังก์ชันการทำงานไม่หลากหลายเทียบเท่ากับกล้อง DSLR

4.2.2. กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว (Digital Single Lens Reflex, DSLR Camera)

กล้อง DSLR คือกล้องที่ได้รับการพัฒนามาจากกล้องฟิล์มโดยยังใช้กระจกเพื่อสะท้อนแสงจากเลนส์ไปยังปริซึมบนกระโหลกกล้องแล้วสะท้อนต่อไปยังช่องมองภาพและเมื่อกดชัต

เตอร์ กระจกสะท้อนภาพจะถูกพับขึ้นไปปิดช่องมองภาพเพื่อเปิดทางให้แสงวิ่งเข้าไปยังเซ็นเซอร์รับภาพ ทั้งนี้กล้อง DSLR สามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ตามความต้องการของผู้ใช้งาน และมีฟังก์ชันการทำงานที่ให้ผู้ใช้งานตั้งค่าต่าง ๆ ได้ตามความต้องการมากขึ้น

4.2.3. กล้องมิลเลอร์เลส (Mirrorless Camera)

กล้อง Mirrorless คือกล้องดิจิทัลที่นำจุดเด่นของกล้องคอมแพ็ค และกล้อง DSLR มารวมกัน โดยกล้อง Mirrorless จะสามารถเปลี่ยนเลนส์ได้ แต่จะไม่ใช้กระจกเพื่อสะท้อนแสงไปยังช่องมองภาพ ซึ่งภาพที่ปรากฏในช่องมองภาพจะเป็นภาพเดียวกันกับจอ LCD ด้านหลังกล้อง

4.3 ข้อมูลจำเพาะที่สำคัญของกล้องสำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การเลือกกล้องดิจิทัลที่ใช้สำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น จะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติและข้อมูลจำเพาะของกล้องดิจิทัลเพื่อให้ได้ไฟล์ภาพที่มีคุณภาพดี และติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับแต่ละรุ่นได้ โดยมีข้อมูลจำเพาะที่ต้องทราบดังนี้

4.3.1. ขนาดเซนเซอร์ (Image Sensor Size)

ขนาดของเซนเซอร์มีความสำคัญต่อการวางแผนการบินที่จะกล่าวต่อไปในบทที่ 8 ทั้งขนาดเซนเซอร์ในปัจจุบันประกอบด้วยขนาดต่าง ๆ ดังนี้

1. 1/2.3 นิ้ว จะมีขนาดด้านกว้าง 4.54 มิลลิเมตร และด้านสูง 3.42 มิลลิเมตร
2. 1 นิ้ว จะมีขนาดด้านกว้าง 13.2 มิลลิเมตร และด้านสูง 8.8 มิลลิเมตร
3. 4/3 นิ้ว จะมีขนาดด้านกว้าง 17.3 มิลลิเมตร และด้านสูง 13 มิลลิเมตร
4. APS-C จะมีขนาด ด้านกว้าง 23.6 มิลลิเมตร และด้านสูง 15.8 มิลลิเมตร
5. Full Frame จะมีขนาดด้านกว้าง 36 มิลลิเมตร และด้านสูง 24 มิลลิเมตร

โดยเซนเซอร์ที่มีขนาดใหญ่มักจะให้คุณภาพไฟล์ที่ดี และสามารถถ่ายภาพในที่ที่มีแสงน้อยได้ดีขึ้น แต่เซนเซอร์ขนาดใหญ่ย่อมจะต้องบรรจุอยู่ภายในกล้องขนาดใหญ่ และเลนส์ขนาดใหญ่ ทำให้มีน้ำหนักมาก สำหรับงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับควรใช้กล้องดิจิทัลที่มีเซนเซอร์ที่มีขนาดอย่างน้อย 1 นิ้วขึ้นไป

4.3.2. จำนวนพิกเซล (Effective Pixel)

การกำหนดขนาดของภาพมาจากอัตราส่วนของพิกเซลที่ถูกใช้งานในการถ่ายภาพ (Effective Pixel) ทั้งนี้การเลือกกล้องดิจิทัลที่มีจำนวนพิกเซลมากจะมีแนวโน้มว่าจะได้ภาพที่มีคุณภาพมากกว่ากล้องดิจิทัลที่มีจำนวนพิกเซลน้อย สำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรมนั้น ควรใช้กล้องที่มีจำนวนพิกเซลอย่างน้อย 16 ล้านพิกเซล

4.3.3. ชนิดของเลนส์ (Lens Type)

การถ่ายภาพทุกครั้งแสงที่สะท้อนวัตถุจะผ่านเลนส์เป็นลำดับแรก เลนส์ที่มีคุณภาพสูงย่อมทำให้ภาพมีความคมชัด และมีความเพี้ยนจากเลนส์ต่ำ โดยเลนส์ที่ใช้งานแบ่งเป็น 2 ประเภท ได้แก่ เลนส์ซูมหรือเลนส์ที่สามารถปรับทางยาวโฟกัสได้ (Zoom lens) และเลนส์เดี่ยวหรือเลนส์ที่มีทางยาวโฟกัสคงที่ (Prime Lens)

โดยเลนส์ที่เหมาะสมแก่การนำมาใช้ในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับควรจะต้องเป็นเลนส์เดี่ยว เนื่องจากมีขนาดเล็ก น้ำหนักเบา ความคมชัดสูง และมีความยาวโฟกัสคงที่ตลอดการบินถ่ายภาพ

4.3.4. ประเภทของชัตเตอร์ (Shutter Type)

ชัตเตอร์ที่ใช้ในการถ่ายภาพของกล้องดิจิทัลได้แก่ แมคคานิคชัตเตอร์ และอิเล็กทรอนิกส์ชัตเตอร์ ซึ่งกลไกการทำงานของชัตเตอร์แต่ละประเภทจะส่งผลกับคุณภาพที่ต่างกัน โดยจะกล่าวต่อไปในบทที่ 8

4.3.5. น้ำหนัก (Weight)

กล้องดิจิทัลคืออุปกรณ์ที่อากาศยานไร้คนขับต้องบรรทุกน้ำหนักไว้บนตัวลำโพงสำรวจ ดังนั้นคุณสมบัติของอากาศยานไร้คนขับเป็นสิ่งที่ต้องคำนึงถึง เพื่อใช้ในการตัดสินใจเลือกใช้กล้องดิจิทัลนั้นในการสำรวจ โดยน้ำหนักโดยประมาณของแต่ละประเภทเป็นดังนี้

1. กล้องคอมแพ็ค น้ำหนักโดยประมาณ 80 – 300 กรัม
2. กล้องดิจิทัลชนิดสะท้อนภาพเลนส์เดี่ยว น้ำหนักโดยประมาณ 500 – 1300 กรัม

3. กล้องมิลเลอร์เลส น้ำหนักโดยประมาณ 400 – 800 กรัม

4.4 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายจากกล้องดิจิทัล

การบันทึกค่าพิกัดตำแหน่งภาพถ่ายจะเกิดขึ้นพร้อมกับการถ่ายภาพขณะทำการบิน โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดที่บันทึกจะขึ้นกับเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ ทั้งนี้การรับสัญญาณดาวเทียมบนอากาศยานไร้คนขับ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ การหาตำแหน่งจุดเดียว (single point positioning) และการรับวัดแบบจลน์ (kinematic positioning)

4.4.1. การหาตำแหน่งจุดเดียว (single point positioning)

การหาตำแหน่งจุดเดียว คือการใช้เครื่องรับสัญญาณดาวเทียมเครื่องเดียวในการรับวัด โดยใช้ข้อมูลชุดโคเรนจ์ (DGPS) จากดาวเทียมอย่างน้อย 4 ดวง โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากการหาตำแหน่งจุดเดียวทางราบเท่ากับ 5 – 10 เมตร และทางตั้งเท่ากับ 10-20 เมตร ซึ่งการหาตำแหน่งจุดเดียวของดาวเทียมที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับจะถูกนำมาใช้ทั้งระบบนำทางของอากาศยานไร้คนขับและการบันทึกภาพถ่าย

4.4.2. การรับวัดแบบจลน์ (kinematic positioning)

การรับวัดแบบจลน์ คือการหาตำแหน่งแบบสัมพัทธ์ ขณะที่เครื่องรับสัญญาณเคลื่อนที่ โดยจะต้องมีสถานีฐาน (base station) และสถานีลูก (rover station) หรือเครื่องรับสัญญาณที่ติดตั้งบนอากาศยานไร้คนขับ และเครื่องรับสัญญาณดาวเทียมที่สามารถรับวัดแบบจลน์ จะต้องสามารถรับวัดโดยใช้ข้อมูลเฟสของคลื่นส่ง อย่างน้อย 1 ความถี่ได้ ปัจจุบันการบันทึกภาพถ่ายด้วยการรับวัดแบบจลน์ ประกอบด้วย การรับวัดแบบจลน์ด้วยการรับค่าปรับแก้จากสถานีฐานทันที (real time kinematic) และการรับวัดแบบจลน์ด้วยการประมวลผลภายหลัง (post processing kinematic) โดยความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพถ่ายที่ได้จากการรับวัดแบบจลน์ ทางราบเท่ากับ 2 – 5 เซนติเมตร และทางตั้งเท่ากับ 10-20 เซนติเมตร

4.5 การแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลและความถูกต้องเชิงตำแหน่งพิกัดจุดถ่ายภาพ

เนื่องจากกล้องดิจิทัลมีผลโดยตรงต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ดังนั้นมาตรฐานฉบับนี้จะแบ่งประเภทกล้องดิจิทัลตามความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูลที่ผลิตได้โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้แบ่งประกอบด้วย ประเภทของชัตเตอร์ ชนิดของเลนส์ ขนาดของเซนเซอร์ ค่าความละเอียดของภาพถ่าย และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดภาพถ่าย

สามารถแบ่งประเภทของกล้องดิจิทัลได้ดังนี้

1. Consumer Grade
2. Professional Grade
3. Survey Grade

โดยประเภทของกล้องดิจิทัลแต่ละประเภทจะเป็นไปตามตารางที่ 4.1

มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม | 35

ตารางที่ 4.1 ชนิดของกล้องดิจิทัลที่ใช้สำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

ประเภทของ กล้องถ่ายภาพ	ประเภท ของ ชัตเตอร์	ชนิด ของ เลนส์	ขนาด ของ เซนเซอร์	ค่าความ ละเอียดของ ภาพถ่าย	การรังวัด พิกัด ภาพถ่าย	ค่าความถูกต้อง ทางราบ ที่ระดับความ เชื่อมั่นที่ 95%	ค่าความถูกต้อง ทางตั้ง ระดับความ เชื่อมั่นที่ 95%
Consumer grade	Rolling Shutter	N/A	< 1"	< 16 MP	DGPS	5 GSD	6 GSD
Professional grade	global Shutter	Prime Lens	≥ 1"	≥ 16 MP	DGPS	2 GSD	3.5 GSD
Survey grade	global Shutter	Prime Lens	≥ 1"	≥ 16 MP	PPK/RTK	2 GSD	3 GSD

บทที่ 5

มาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

5.1 บทนำ

เพื่อที่จะเข้าใจในการวางแผนการทำงาน หลักการปฏิบัติ หลักการประมวลผล และการตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์ จะต้องมีการศึกษาและเข้าใจในมาตรฐานที่เกี่ยวข้องและใช้อ้างอิงในร่างมาตรฐานการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับ ทั้งนี้เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการวางแผนงาน เช่น วางแผนการบิน วางแผนความสูงในการบิน วางแผนการทำงาน เพื่อให้ผลลัพธ์ที่ได้มานั้นมีความละเอียดและความถูกต้องเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้ ตามมาตรฐานได้กำหนดเกณฑ์ความถูกต้องทางตำแหน่งกับการนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นการวางแผนการทำงานจะนำมาซึ่งวิธีการปฏิบัติงานและการประมวลผลภาพถ่าย ซึ่งทำให้การศึกษามาตรฐานงานที่เกี่ยวข้อง มีความสำคัญอย่างมากต่อการวางแผนกระบวนการทำงานและขั้นตอนกระบวนการประมวลผล รวมไปถึงการตรวจสอบผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่จะสามารถระบุได้ว่าความถูกต้องของผลลัพธ์อยู่ในเกณฑ์ความถูกต้องที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางวิศวกรรมตามที่มาตรฐานกำหนดหรือไม่

5.2 มาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

5.2.1. สภาวิศวกร (2558), มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice)

เกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจเพื่องานวิศวกรรม สภาวิศวกร

มาตรฐานชุดนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดแนวทางปฏิบัติงานของวิชาชีพวิศวกรรมสำรวจ ซึ่งจะกล่าวถึงเกณฑ์ความถูกต้องของงานสำรวจที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้งานทางด้านวิศวกรรม และเกณฑ์การวางแผนปฏิบัติงานด้านสำรวจกับงานวิศวกรรม เพื่อที่จะสามารถควบคุมคุณภาพความถูกต้องของผลการรังวัดเชิงตำแหน่งทั้งทางแนวตั้งและแนวราบ รวมไปถึงสามารถนำผลการรังวัดไปประยุกต์ใช้งานได้อย่างเหมาะสม นอกจากนี้ภายในมาตรฐานยังกล่าวถึงการกำหนดเกณฑ์ชิ้นงานด้านงานสำรวจที่เหมาะสมกับงานด้านวิศวกรรมเพื่อให้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งมีความเหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้งาน

5.2.2. ASPRS (1990) , ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps, March 1990

มาตรฐานนี้ถูกพัฒนาขึ้นโดย คณะกรรมการมาตรฐานของหน่วยงาน American Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ASPRS) ซึ่งมาตรฐานนี้จัดทำขึ้นเพื่อระบุค่าความแม่นยำทางตำแหน่งโดยเปรียบเทียบกับมาตราส่วนภาคพื้นดิน นอกจากนี้มาตรฐานชุดนี้ยังจัดทำขึ้นเพื่อมุ่งเน้นให้เห็นถึงความสำคัญในเรื่องของการนำข้อมูลผลลัพธ์เชิงตำแหน่งและข้อมูลแผนที่มาประยุกต์ใช้โดยต้องมีการเลือกใช้มาตราส่วนแผนที่ให้เหมาะสมกับการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรมและค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ดังนั้นมาตรฐานนี้จะทำการรวบรวมเนื้อหาในส่วนในเรื่องความถูกต้องเชิงพื้นที่ว่า แผนที่ภูมิประเทศในมาตราส่วนขนาดใหญ่ที่จัดทำขึ้นสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมได้บ้าง

5.2.3. ASPRS (2014), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, November 2014

มาตรฐานชุดนี้จัดสร้างขึ้นเพื่อพัฒนาและปรับปรุงเนื้อหาในส่วนของ มาตรฐาน ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps โดยความร่วมมือของหน่วยงาน ASPRS Photogrammetric Applications Division (PAD) และ Primary Data Acquisition Divisions (PDAD) ซึ่งวัตถุประสงค์ของการจัดทำมาตรฐานงานนี้คือ การกำหนดและพัฒนามาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยมุ่งเน้นในเรื่องของ ข้อมูลดิจิทัล ได้แก่ ข้อมูลดิจิทัลของ Orthophotos , ข้อมูลค่าระดับในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล (digital elevation data) ทั้งนี้มาตรฐานงานนี้ได้รวบรวมเกณฑ์ของค่าความถูกต้องสำหรับ ข้อมูลดิจิทัลของ Orthophotos และ ข้อมูลค่าระดับในรูปแบบของข้อมูลดิจิทัล ซึ่งค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะไม่ได้นำมาอ้างอิงเปรียบเทียบกับ มาตราส่วนแผนที่ และ ช่วงของเส้นชั้นความสูง แต่มาตรฐานชุดนี้จะทำการระบุ ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลข้อมูล เปรียบเทียบกับ ขนาดของ Pixel เพื่อมุ่งเน้นผลของความสำคัญในเรื่องของค่า GSD ต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ ซึ่งสามารถคำนวณผลความถูกต้องเชิงแนวราบตามมาตรฐาน ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital

38 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

Geospatial Data ได้ในตารางที่ 5.1 ตารางมาตรฐานค่าความถูกต้องแนวราบของข้อมูลเชิงตำแหน่ง ดังนี้

ตารางที่ 5.1 ตารางมาตรฐานค่าความถูกต้องแนวราบ เมื่อ x คือชั้นความถูกต้องทางราบ

Horizontal Accuracy Class	Absolute Accuracy		
	RMSE _x and RMSE _y (cm)	RMSE _r (cm)	Horizontal Accuracy at 95% Confidence Level (cm)
X-cm	$\leq X$	$\leq 1.41 * X$	$\leq 2.4 * X$

ในส่วนของการคำนวณค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแนวดิ่ง สามารถแบ่งชนิดของค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแนวดิ่งได้จากลักษณะข้อมูลของพื้นที่โดยสามารถแบ่งออกเป็น ข้อมูลพื้นที่ที่ไม่มีพืชปกคลุม และ ข้อมูลพื้นที่ที่มีพืช ได้แก่ ข้อมูลพื้นที่บริเวณป่า ข้อมูลพื้นที่ที่มีวัชพืช และ พืชพรรณดิน เป็นต้น ซึ่งสามารถทำการคำนวณค่าความถูกต้องทางแนวดิ่งที่ความเชื่อมั่นที่ 95% ได้ดัง ตารางที่ 5.2 ตารางมาตรฐานค่าความถูกต้องแนวดิ่งของข้อมูลค่าระดับ ดังนี้

ตารางที่ 5.2 ตารางมาตรฐานค่าความถูกต้องแนวดิ่ง เมื่อ x คือชั้นความถูกต้องทางดิ่ง

Vertical Accuracy Class	Absolute Accuracy		
	RMSE _z NonVegetated (cm)	NVA at 95% Confidence Level (cm)	VVA at 95th Percentile (cm)
X-cm	$\leq X$	$\leq 1.96 * X$	$\leq 3.00 * X$

5.2.4. FGDC (1998), Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy

The National Standard for Spatial Data Accuracy (NSSDA) จัดทำมาตรฐานฉบับนี้ขึ้นเพื่อทำการระบุวิธีการตรวจสอบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งโดยใช้หลักการตรวจสอบทางสถิติเพื่อตรวจสอบค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งในแผนที่และข้อมูลเชิงตำแหน่งแบบดิจิทัล ทั้งนี้วิธีการตรวจสอบความถูกต้องของข้อมูลจะทำการเปรียบเทียบและหาผลต่าง ของข้อมูลการรังวัดในภาคพื้นดินที่ได้ทำการรังวัดในภูมิประเทศจริงซึ่งผลการรังวัดจะต้องมีคุณภาพ รวมไปถึงมีค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่สูงเพียงพอต่อการนำไปใช้ในการอ้างอิงตรวจสอบ กับข้อมูลดิจิทัลหรือข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการตรวจสอบ จากนั้นจึงนำผลการตรวจสอบมาทำการคำนวณตามหลักทางสถิติเพื่อจะนำมาสรุปผลของคุณภาพและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูล ในรูปแบบของค่า root-mean-square error (RMSE) ที่เป็นค่ารากที่สองของค่าเฉลี่ยของ ผลรวมของข้อมูลผลต่างกำลังสองของค่าพิกัดที่ทำการรังวัดในภาคพื้นดินกับค่าพิกัดของผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผล จากนั้นนำค่า RMSE มาคำนวณค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ความเชื่อมั่นที่ 95% ตามมาตรฐาน NSSDA เพื่อที่จะสามารถนำไปใช้ยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์เชิงตำแหน่ง

5.2.5. FGDC (2002), Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National

มาตรฐานฉบับนี้จัดทำขึ้นเพื่อกำหนดมาตรฐานความถูกต้องเชิงตำแหน่งสำหรับ งานแผนที่ งานสำรวจ งานออกแบบ งานก่อสร้าง งานระบบ และงานบริหารจัดการทางด้านสาธารณูปโภค เป็นต้น ซึ่งภายในมาตรฐานจะระบุค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทั้งในแนวราบและในแนวตั้งของงานทางด้านวิศวกรรมเพื่อที่จะสนับสนุนการนำข้อมูลแผนที่หรือข้อมูลเชิงตำแหน่งมาประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม ทั้งนี้ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลอาจได้มาจากข้อมูลภูมิศาสตร์ ข้อมูลดาวเทียม หรือ ข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศ ซึ่งข้อมูลเหล่านี้จะถูกนำมาประมวลผลเป็นข้อมูลเชิงตำแหน่งและแผนที่

5.3 เนื้อหาของมาตรฐานที่เกี่ยวข้องกับมาตรฐานการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับเพื่องานด้านวิศวกรรม

5.3.1. สภาวิศวกร (2558), มาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพ (Code of Practice) เกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจเพื่องานวิศวกรรม สภาวิศวกร

การสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับเพื่องานด้านวิศวกรรมจะต้องวางมีการวางแผนการปฏิบัติงานและการวางแผนการบินของอากาศยานไร้คนขับเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความละเอียดถูกต้องเชิงตำแหน่งที่สามารถนำไปใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการกำหนดค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ตามค่าความถูกต้องของงานวิศวกรรมที่จะนำไปประยุกต์ใช้โดยอ้างอิงจากร่างมาตรฐานการปฏิบัติวิชาชีพเกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจ เพื่อที่จะสามารถวางแผนกระบวนการทำงานและประมวลผลให้ได้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งตามวัตถุประสงค์การใช้งาน นอกจากนี้ในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศเพื่อที่จะควบคุมความถูกต้องเชิงตำแหน่งจะต้องมีการรังวัดและกำหนดตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย ซึ่ง จุดควบคุมภาพถ่ายนี้จะต้องทำการรังวัดภาคพื้นดินเพื่อที่จะนำค่าพิกัดทางภูมิศาสตร์มาปรับแก้ค่าพิกัดภาพถ่าย ดังนั้นค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งภาคพื้นดินของจุดควบคุมภาพถ่ายมีความสำคัญอย่างมากต่อคุณภาพกระบวนการประมวลผลภาพถ่าย เนื่องจากจะต้องเป็นจุดปรับแก้และควบคุมภาพถ่าย ทำให้ต้องมีการใช้ ความรู้อ้างอิงจากเกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจ เพื่อที่จะควบคุมคุณภาพการรังวัดภาคพื้นดินและใช้กำหนดวางแผนแนวทางในการรังวัดค่าพิกัด นอกจากนี้เพื่อที่จะทราบคุณภาพของผลลัพธ์เชิงตำแหน่งจะต้องมีจุดตรวจสอบภาพถ่าย ซึ่งจะต้องทำการรังวัดภาคพื้นดินเพื่อที่จะนำมาทำการตรวจสอบเปรียบเทียบค่าความคลาดเคลื่อนของผลลัพธ์เชิงตำแหน่งกับค่าพิกัดในภูมิประเทศจริง ซึ่งทำให้เกณฑ์การปฏิบัติงานด้านสำรวจ ได้ถูกนำมาใช้ในเรื่องของการวางแผนรังวัดจุดตรวจสอบ เช่นเดียวกันกับจุดควบคุมภาพถ่าย เนื่องจากต้องใช้ในการตรวจสอบและบ่งบอกคุณภาพของผลลัพธ์ ซึ่งหากผลการรังวัดจุดตรวจสอบไม่มีคุณภาพเพียงพอ อาจส่งผลให้ไม่สามารถตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์หรือบ่งชี้คุณภาพของผลลัพธ์ได้ผิดเพี้ยนไปจากความเป็นจริง

5.3.2. ASPRS (1990) , ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps, March 1990

เนื่องด้วยมาตรฐาน ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps นี้จะเป็นการระบุความเหมาะสมของมาตราส่วนแผนที่กับค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งในงานวิศวกรรมแต่ละชนิดต่างก็ต้องการค่าความถูกต้องทางตำแหน่งที่แตกต่างกัน ดังนั้นมาตรฐานงาน ASPRS Accuracy Standards for Large-Scale Maps จึงมีความเกี่ยวข้องในส่วนของการใช้ประกอบการตัดสินใจในการวางแผนการบินและการวางแผนกำหนดความละเอียด ถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ได้จากการประมวลผลของข้อมูลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่มีค่าความถูกต้องเพียงพอและสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรมได้อย่างเหมาะสม

5.3.3. ASPRS (2014) , ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data, November 2014

มาตรฐาน ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data เป็นมาตรฐานที่ทำให้ผู้อ่านตระหนักเห็นความสำคัญของ ผลของ ขนาด Pixel ในข้อมูลภาพถ่ายดิจิทัลที่ได้จากการประมวลผล และ ค่า GSD ต่อผลความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ เพื่อให้ผู้ปฏิบัติงานสามารถวางแผนและตัดสินใจในการวางแผนการบินและความสูงของแนวมบินซึ่งจะส่งผลกระทบต่อขนาดของ Pixel ของข้อมูลภาพถ่ายที่ได้จากการประมวล ซึ่งหากไม่มีความเข้าใจในเรื่องของค่า GSD อาจส่งผลให้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งไม่มีคุณภาพและไม่มีความเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งานต่อในงานทางด้านวิศวกรรม นอกจากนี้มาตรฐาน ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data ยังเกี่ยวข้องกับร่างมาตรฐานการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับในส่วนของการควบคุมคุณภาพและการวางแผนการประมวลผล ปฏิบัติการของข้อมูลดิจิทัล Orthophotos เพื่อสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานทางด้านวิศวกรรม รวมไปถึงใช้ในการกำหนดและวางแผนค่าความถูกต้องในการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบภาคพื้นดินเพื่อที่จะได้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งทั้งในแนวนอนและแนวตั้งตรงตามที่มาตรฐานกำหนดและนำไปใช้ในการควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์ และ ตรวจสอบคุณภาพของผลลัพธ์ ได้อย่างมีประสิทธิภาพ

5.3.4. FGDC (1998), Geospatial Positioning Accuracy Standards Part 3: National Standard for Spatial Data Accuracy

มาตรฐานงานนี้จะเกี่ยวข้องกับการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับในส่วนของ การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูล และ การควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์ในส่วนของ ข้อมูลเชิงตำแหน่ง รวมถึงการใช้ค่าทางสถิติในการตรวจสอบและควบคุมคุณภาพของผลลัพธ์ ทั้งนี้ เพื่อที่จะยืนยันความถูกต้องของผลลัพธ์และเพื่อความเชื่อมั่นในคุณภาพของผลลัพธ์จึงต้องใช้ในการ ตรวจสอบตามหลักทางสถิติ ดังนั้นหากไม่เข้าใจในหลักการตรวจสอบหรือหลักทางสถิติที่เกี่ยวข้องใน การตรวจสอบจะส่งผลทำให้ไม่สามารถวางแผนและกำหนดค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ต้องนำไป ประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรม ซึ่งจะทำให้ไม่สามารถวางแผนการปฏิบัติงานได้ตรงตามวัตถุประสงค์ การนำไปประยุกต์ใช้งาน รวมไปถึงไม่สามารถตรวจสอบหรือกำหนดจำนวนตำแหน่งจุดตรวจสอบบน ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งได้อย่างเหมาะสมและถูกต้อง

5.3.5. FGDC (2002), Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National

มาตรฐาน Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National ทำให้สามารถวางแผนการทำงานประมวลผลด้วยอากาศยานไร้คนขับได้อย่างเหมาะสมถูกต้องมากขึ้น เพื่อให้ได้ผลลัพธ์ที่มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งเหมาะสมต่อการนำไปประยุกต์ใช้งาน นอกจากนี้ยังทำให้เข้าใจและตระหนักเห็นความสำคัญ ของค่าความถูกต้องทั้งแนวราบและแนวดิ่งในงานวิศวกรรม ไม่ได้ขึ้นเพียงกับมาตราส่วนของแผนที่ ซึ่งในมาตรฐาน Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National จะยกตัวอย่างงานด้านวิศวกรรมที่ใช้มาตราส่วนเช่นเดียวกัน แต่ ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งกับแตกต่างกัน ดังนั้นเพื่อที่จะควบคุมคุณภาพและค่าความถูกต้องของ ผลลัพธ์จะต้องมีความเข้าใจในเรื่องของค่าความละเอียดของผลลัพธ์ ค่า GSD รวมไปถึงขนาดของ

Pixel ทั้งนี้ก็เพื่อกำหนดแนวทางในการปฏิบัติและการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่ตรงกับความต้องการเชิงตำแหน่งทั้งในแนวราบและแนวตั้งตามงานวิศวกรรม

ฉบับเทคนิคพิจารณา

บทที่ 6

หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

6.1 บทนำ

เนื่องด้วยในปัจจุบันได้มีการนำเทคโนโลยีและโปรแกรมในการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศแบบอัตโนมัติมาประยุกต์ใช้งาน ซึ่งหากผู้ประมวลผลไม่มีความเข้าใจในหลักการและทฤษฎีเบื้องต้นในการทำงาน อาจก่อให้เกิดความคลาดเคลื่อนทางตำแหน่งต่อผลลัพธ์และส่งผลกระทบต่อผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลไม่มีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรม ดังนั้นในมาตรฐานการสำรวจด้านอากาศยานไร้คนขับเพื่องานด้านวิศวกรรมจึงต้องทำการระบุเนื้อหาในส่วนของ หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

เนื้อหาในส่วนของ หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ จัดทำขึ้นเพื่อให้ตระหนักและเข้าใจถึงหลักการและทฤษฎี การประมวลผลเบื้องต้น รวมถึงการตรวจสอบค่าพารามิเตอร์ที่ได้จากกระบวนการประมวลผลเพื่อสามารถตรวจสอบและควบคุมขั้นตอนการประมวลผลเพื่อให้ได้ผลลัพธ์ข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีคุณภาพเพียงพอต่อการนำไปประยุกต์ใช้ในงานทางด้านวิศวกรรม

6.2 หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ

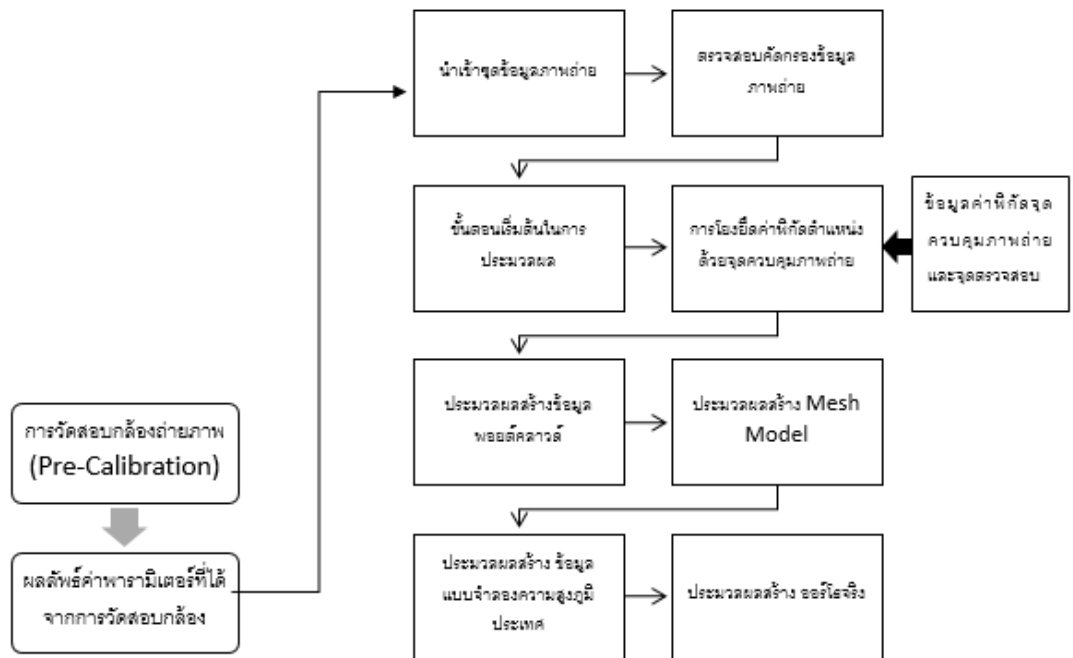
หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับผู้ปฏิบัติงานจะต้องเข้าใจหลักการพื้นฐานของการสำรวจด้วยภาพถ่าย เพื่อควบคุมคุณภาพของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับได้ตามที่วางแผนไว้ ทั้งนี้หลักการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 7 ขั้นตอนได้แก่

1. การวัดสอบกล้องถ่ายภาพ
2. การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie Point
3. การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย
4. การสร้างพอยท์คลาวด์
5. การสร้าง Mesh Model

6. การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

7. การสร้าง True Orthophoto

ดังนั้นเพื่อที่จะเข้าใจกระบวนการตั้งค่าพารามิเตอร์ และควบคุมการประมวลผลเพื่อลดปัจจัยที่อาจก่อให้เกิดความผิดพลาดในการปฏิบัติงาน จึงสามารถกำหนดแนวทางการดำเนินการประมวลผลเบื้องต้นได้ ดังรูปที่ 6.1



รูปที่ 6.1 ภาพแผนผังการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศที่ได้จากอากาศยานไร้คนขับ

6.2.1. การวัดสอบกล้องถ่ายภาพ

การวัดสอบกล้องเพื่อหาองค์ประกอบภายในของกล้องถ่ายภาพ (interior orientation) ซึ่งเป็นค่าการจัดวางข้อมูลภาพถ่ายที่มีความสัมพันธ์กับทิศทางแนวนอน นอกจากนี้กระบวนการวัดสอบยังใช้หาค่าพารามิเตอร์เพื่อนำมาใช้ในการแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์ของกล้องที่บันทึกภาพถ่าย ซึ่งเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญต่อการแก้ไข และการควบคุมความถูกต้อง

46 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

เชิงตำแหน่งของผลลัพธ์จากการประมวลผล ดังนั้นจึงต้องมีการวัดสอบเพื่อนำค่าพารามิเตอร์มาใช้ในการประมวลผลเพื่อสามารถควบคุมกระบวนการประมวลผลให้ได้ผลลัพธ์เชิงตำแหน่งที่มีคุณภาพ ซึ่งค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์แบ่งออกเป็น 2 ประเภทได้แก่ค่าความผิดเพี้ยนตามแนวรัศมี และค่าความผิดเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส

6.2.1.1. ความผิดเพี้ยนตามแนวรัศมี

เป็นความคลาดเคลื่อนอย่างเป็นระบบที่ เกิดจากการชัดผิวเลนส์ไม่เป็นไปตามที่ออกแบบไว้ ทำให้ตำแหน่งจุดภาพปรากฏคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมตามแนวรัศมีจากจุดमुखสำคัญ (cx,cy) จึงทำให้ต้องมีการวัดสอบและทำการปรับแก้ด้วยค่าพารามิเตอร์ K_0 K_1 K_2

6.2.1.2. ความผิดเพี้ยนตามแนวเส้นสัมผัส

ความเพี้ยนเลนส์ตามแนวสัมผัส เกิดจากการจัดวางเลนส์โดยที่แกนทัศนเลนส์แต่ละเลนส์ไม่อยู่ในแนวเดียวกัน ทำให้ตำแหน่งจุดภาพปรากฏคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งเดิมตามแนวสัมผัสกับรัศมีจากจุดमुखสำคัญและทำการปรับแก้ด้วยค่าพารามิเตอร์ P_1 P_2 ที่ได้จากการวัดสอบ

ดังนั้นค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์กล้องจะเกิดจากความผิดพลาดในขั้นตอนการผลิตของเลนส์ ซึ่งหากไม่ทำการวัดสอบเพื่อแก้ไขค่าความคลาดเคลื่อน ก็จะส่งผลทำให้ค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งลดลง ทั้งนี้การวัดสอบกล้องแบ่งออกเป็น 2 ชนิดด้วยกันดังนี้

6.2.2. การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Auto tie points

การจับคู่ภาพเป็นขั้นตอนเริ่มต้นในการประมวลผลของโปรแกรมประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศประกอบด้วยขั้นตอนการทำงานย่อยได้แก่ การคำนวณหาพิกัดจุดถ่ายภาพ การปรับแก้และวัดสอบค่าความคลาดเคลื่อนของเลนส์ การสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญ การจับคู่ภาพ และการสร้าง Auto tie points จากสมการสภาวะร่วมเส้น ทั้งนี้ในขั้นตอนเริ่มต้นนี้จะเป็นส่วนสำคัญที่สุดในการผลิตข้อมูลพอยท์คลาวด์และภาพออร์โธจริงที่มีคุณภาพ

6.2.2.1. การสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญ

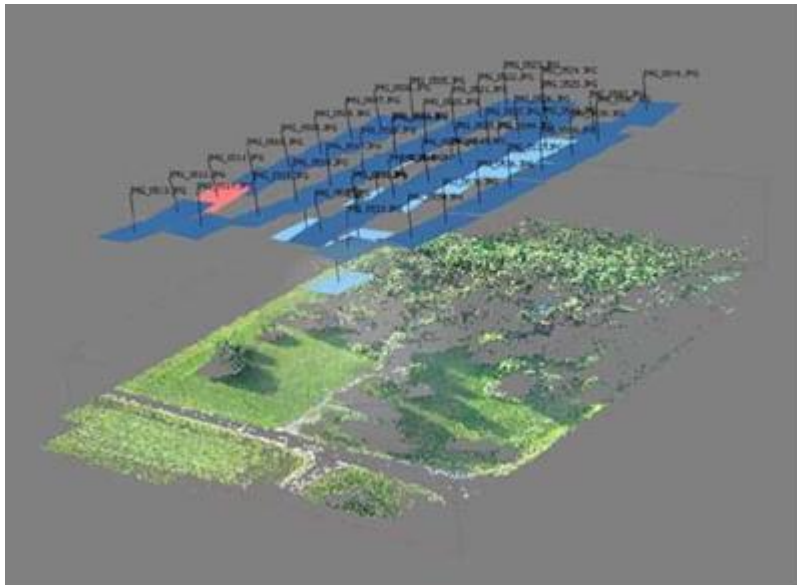
การสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญคือการใช้เทคนิคการค้นหาจุดสนใจของภาพแต่ละใบ โดยคอมพิวเตอร์สามารถเข้าใจทัศนียภาพ หรือแยกแยะวัตถุภายในภาพได้ ทั้งนี้ความชัดเจนของภาพจะทำให้คอมพิวเตอร์สามารถระบุข้อมูลวัตถุได้อย่างชัดเจนและการจับคู่ภาพ (image matching) ได้อย่างถูกต้อง

6.2.2.2. การจับคู่ภาพ

จับคู่ภาพคือนำข้อมูลจุดสำคัญจากการสกัดหาวัตถุภายในภาพ ซึ่งข้อมูลจุดสำคัญที่สร้างขึ้นมาจะต้องไม่ขึ้นอยู่กับการหมุน และมุมมอง เพื่อนำมาใช้จับคู่ภาพและหาความสัมพันธ์ของวัตถุระหว่างภาพถ่ายได้อย่างแม่นยำ วิธีการประมวลผลการจับคู่ภาพจะใช้คอมพิวเตอร์เพื่อประมวลผลหาปริภูมิค่าในมิติขนาดและระยะทางตำแหน่งของข้อมูลจุดสำคัญ และกำหนดทิศทางให้กับข้อมูลจุดสำคัญ

6.2.2.3. การสร้าง Auto tie points จากสมการสภาวะร่วมเส้น

การสร้าง Auto tie points เกิดโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation, AT) คือกระบวนการที่นำข้อมูลลำแสงที่ฉายลงบนภาพถ่ายที่ถูกบันทึกโดยกล้องถ่ายภาพทางอากาศในจำนวนที่มาก มาทำการประมวลผลในการคำนวณทั้งการเล็งสกัดย้อนและกระบวนการเล็งสกัด ซึ่งการเล็งสกัดย้อนคือกระบวนการในการหาค่าองค์ประกอบการจัดภาพภายนอก ทำให้ทราบตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายเทียบกับระบบพิกัดภาคพื้นดิน และในส่วนของการทำกระบวนการเล็งสกัดจะเป็นกระบวนการในการคำนวณตำแหน่งและการวางตัวของภาพถ่ายคู่ซ้อนสามมิติ รวมไปถึงกระบวนการเล็งสกัดนี้ยังใช้หาค่าพิกัดบนพื้นหลักฐานจริง ทั้งนี้การประมวลผลโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศจะทำการประมวลผลทั้งการเล็งสกัดย้อนและการเล็งสกัดโดยใช้แบบจำลองทางคณิตศาสตร์ สมการสภาวะร่วมเส้น นำมาใช้ในการปรับแก้และคำนวณค่าพิกัดภาคพื้นดินที่ไม่ทราบค่าซึ่งได้จากกระบวนการเล็งสกัด รวมไปถึงคำนวณปรับแก้ค่าองค์ประกอบการจัดภาพภายนอกในแต่ละภาพถ่าย ซึ่งในปัจจุบันการประมวลผลโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศจะใช้วิธีการคำนวณปรับแก้ของบล็อกแบบลำแสง เพื่อสร้าง Tie points ดังรูปที่ 6.2



รูปที่ 6.2 ตัวอย่าง Auto tie points (I-Map Data System)

การควบคุมคุณภาพของ Tie points จะมีกระบวนการคัดกรองข้อมูล ผิดแปลกออกจากข้อมูล Tie point ดังเช่นค่า Reprojection error ที่บ่งบอกถึงความแม่นยำในทาง ตำแหน่งที่ไม่ดีที่เกิดในขั้นตอนการจับคู่ภาพ ทั้งนี้เพื่อพัฒนาความถูกต้องเชิงตำแหน่งจึงต้องมีการจัด ข้อมูล Tie point ที่มีค่า Reprojection error ที่สูงออกจากข้อมูล และ นอกจากนี้เพื่อควบคุม คุณภาพของข้อมูลควรมีการจัดข้อมูล Tie point ที่ได้จากการประมวลผลจับคู่ภาพถ่ายในจำนวนที่ น้อยกว่า 3 ใบ หรือ ข้อมูล Tie point ที่อยู่แปลกแยกจากกลุ่มข้อมูล Tie point อื่น เนื่องจากข้อมูล เหล่านี้อาจเป็นข้อมูลที่ไม่มีคุณภาพส่งผลให้เกิดค่าความคลาดเคลื่อนเชิงตำแหน่งที่สูงขึ้น ดังนั้น ขั้นตอนการกำจัดข้อมูลผิดแปลกออกจากข้อมูล Tie point จึงเป็นขั้นตอนที่สำคัญ และเมื่อทำการ ประมวลผลกำจัดค่าผิดแปลกออกจากข้อมูลเสร็จสิ้นแล้วต้องทำการประมวลผลใหม่อีกครั้งและ ตรวจสอบว่าข้อมูล Tie point ที่ได้ทำการประมวลผลนั้นครอบคลุมขอบเขตพื้นที่ที่ต้องการนำข้อมูล มาประยุกต์ใช้งานต่อหรือไม่ ถ้าหากมีส่วนที่ขาดหายไปจะต้องทำการวางแผนการบินใหม่และทำการ บันทึกรวมข้อมูลประมวลผลใหม่อีกครั้ง

ส่วนสุดท้ายคือ Bundle Block Adjustment เป็นการสร้างระบบ สมการร่วมเส้นของจุดบนภาพถ่ายซึ่งคำว่า Bundle หมายถึงกลุ่มของลำแสงซึ่งมีจุดกำเนิดจากจุด

Perspective Center ของภาพถ่ายและพาดผ่านจุดที่ปรากฏบนภาพถ่ายทั้งหมด ทั้งนี้การคำนวณปรับแก้ของบล็อกแบบลำแสงจะเป็นวิธีคำนวณหาค่าองค์ประกอบที่ไม่ทราบค่าโดยค่าพารามิเตอร์ที่ไม่ทราบค่า ได้แก่ พารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกของภาพถ่ายทุกภาพในบล็อก ค่าองค์ประกอบการจัดเรียงภายนอกของภาพ(Exterior Orientation : EO) เป็นการกำหนด ตำแหน่ง (Position : X_o, Y_o, Z_o) และ การเอียง (Orientation : ω, ϕ, κ) ของภาพถ่ายในระวางวัตถุ ซึ่งตำแหน่งถ่ายภาพกำหนดโดยพิกัดวัตถุของ จุด Perspective Center ส่วนการเอียง อธิบายโดยใช้การเอียงของแกนกล้องขณะถ่ายภาพ (ขณะเปิดหน้ากล้อง) ซึ่งเป็นความสัมพันธ์เชิงพื้นที่ (spatial relationship) ระหว่างระบบพิกัดวัตถุ (X,Y, Z) กับระบบพิกัดภาพถ่าย (x , y , z) นอกจากนี้ การคำนวณปรับแก้ของบล็อกแบบลำแสงยังใช้คำนวณค่าพารามิเตอร์ที่ยังไม่ทราบค่าได้แก่ ค่าพิกัดภาคพื้นดิน ของจุดโยงยึด (Tie points) ดังนั้นหากสามารถสร้างจำนวนสมการได้มากกว่าตัวไม่ทราบค่า ก็จะสามารถ หาตัวไม่ทราบค่าทั้งหมด โดยการปรับแก้ด้วยวิธี Least Square Adjustment เมื่อทำการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วผลลัพธ์ที่ได้มานั้นคือ พารามิเตอร์การจัดภาพภายนอก และ ค่าพิกัด ภาคพื้นดินของจุดโยงยึด นอกจากนี้ในขั้นตอนนี้จะมีการวัดสอบค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเลนส์ ด้วยกระบวนการ Self-Calibration ที่จะทำการวัดสอบจากข้อมูลชุดภาพถ่าย และเพื่อพัฒนาความถูกต้องเชิงตำแหน่งควรที่จะนำผลการวัดสอบกลับจากขั้นตอน Pre-Calibration มาเป็นค่าเริ่มต้นในการประมวลผลแก้ไขค่าความผิดเพี้ยนของเลนส์ เพื่อควบคุมคุณภาพของภาพถ่ายได้อย่างแม่นยำ

6.2.3. การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

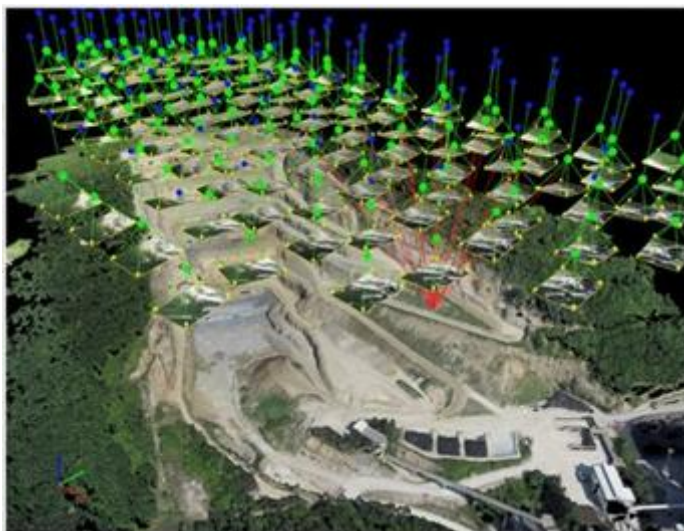
การโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย คือ การนำเข้าและรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายเพื่อใช้ในปรับแก้ และทำการคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพ ค่าการวางตัวของภาพถ่ายใหม่ เมื่อโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายแล้วจะทำให้ Auto tie points มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งที่ถูกต้อง และสามารถนำไปประมวลผลในขั้นตอนต่อไปได้

6.2.4. การสร้างพอยท์คลาวด์

การสร้างพอยท์คลาวด์ (dense point cloud) ซึ่งเป็นกลุ่มของจุดสามมิติที่เก็บค่าของตำแหน่งขอบของวัตถุในพิกัด X,Y,Z ทั้งนี้ปัจจัยหลักในกระบวนการนี้ขึ้นอยู่กับค่าการคำนวณค่า

50 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ตำแหน่งของกล้องที่บันทึกภาพถ่าย โดยขั้นตอนในการประมวลผลสร้างข้อมูล พอยท์คลาวด์แบบหนาแน่น จะเป็นการเพิ่มจำนวน Tie Point ซึ่งหากทำการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผลในระดับสูง หรือตั้งค่าความละเอียดในการประมวลผลที่ระดับสูง ทำให้ข้อมูลมีองค์ประกอบรายละเอียดที่หนาแน่น รวมไปถึงส่งผลให้ผลลัพธ์มีค่าความถูกต้องเชิงเรขาคณิตที่แม่นยำ แต่อาจต้องใช้โปรแกรมในการประมวลผลเป็นระยะเวลาที่ค่อนข้างมาก และพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการประมวลผลในขั้นตอนนี้จะต้องสร้างจากภาพอย่างน้อย 3 ใบ เพื่อควบคุมคุณภาพความถูกต้องเชิงตำแหน่ง



รูปที่ 6.3 ตัวอย่าง Dense point cloud (Matteo Luccio)

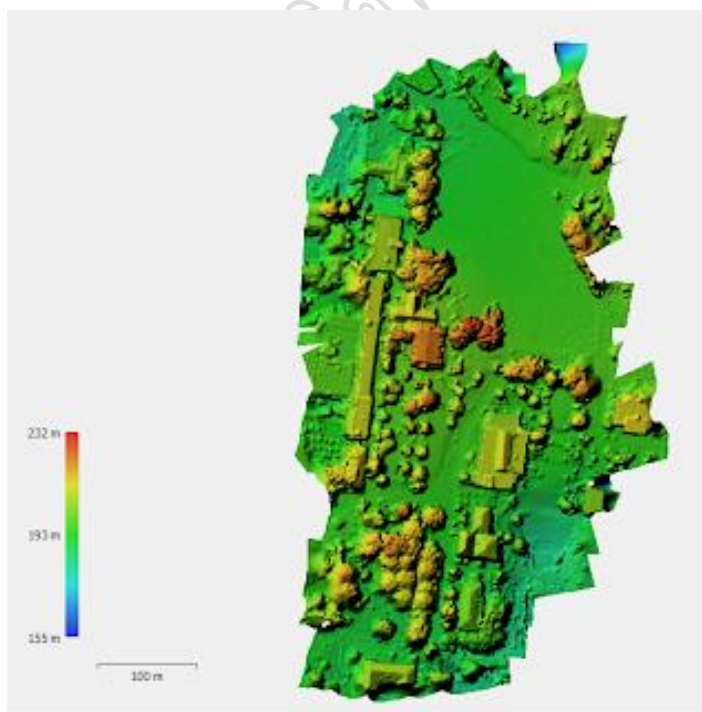
6.2.5. การสร้าง Mesh Model

Mesh คือ ข้อมูลพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ที่ใช้แสดงลักษณะของรูปร่างของโมเดล ที่ประกอบด้วยพื้นผิวของโมเดล ยอดมุม และขอบมุมของโมเดล โดยจะนำพอยท์คลาวด์มาประมวลผลสร้าง Mesh เพื่อที่จะได้ผลลัพธ์ที่มีคุณภาพเชิงตำแหน่ง แต่ทั้งนี้คุณภาพในการประมวลผลสร้าง Mesh นั้นจะขึ้นกับคุณภาพของพอยท์คลาวด์ที่ได้จากการประมวลผลในขั้นต้นก่อนหน้า นอกจากนี้ในการประมวลผลสร้าง Mesh จะต้องมีการกำหนดและควบคุม จำนวนของรูปหลายเหลี่ยม (polygon) ใน ข้อมูล Mesh ซึ่งได้มาจากการทำการคำนวณมาจากจำนวนจุดพอยท์คลาวด์ โดยจำนวนของรูปหลายเหลี่ยมในข้อมูล Mesh จะแสดงถึงระดับความละเอียดในข้อมูล ทั้งนี้หากจำนวนของรูปหลายเหลี่ยม มีค่าน้อยจะส่งผลกระทบให้ Mesh ที่ทำการสร้างนั้นหยาบและไม่ละเอียดซึ่งอาจ

ไม่เหมาะสมที่จะนำไปประมวลผลใช้งานต่อ นอกจากนี้ยังมีส่วนของการ Interpolate Mesh เพื่อทำการสร้างพื้นผิวข้อมูลหรือเติมเต็มข้อมูลให้ครบถ้วน โดยทำการ Interpolate ด้วยวิธีการค้นหาจุดที่ใกล้เคียงกันบนพอยท์คลาวด์ เพื่อที่จะทำการประมวลผลสร้างเป็นพื้นผิวเพื่อให้ข้อมูลที่ได้จากการประมวลผลนั้นมีความสมบูรณ์และมีคุณภาพเพียงพอที่จะนำไปประยุกต์ใช้

6.2.6. การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศคือการจำลองความสูงของภูมิประเทศ และจัดเก็บให้อยู่ในรูปแบบตารางกริด หรือข้อมูลราสเตอร์ โดยรวมความสูงของสิ่งปกคลุมพื้นผิวทางกายภาพของโลกด้วย เช่น สิ่งปลูกสร้าง ต้นไม้ และพุ่มไม้ เป็นต้น ซึ่งจะทำการประมวลผลจากข้อมูล Mesh ทั้งนี้คุณภาพของ Mesh จึงส่งผลโดยตรงต่อความถูกต้องแม่นยำของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ ซึ่งโปรแกรมจะทำการประมวลผลโดยอาศัยความสัมพันธ์ของภาพถ่าย (image correlation) และทำการ Interpolate ชนิดข้อมูลทั้งหมดออกมาในรูปแบบข้อมูลราสเตอร์พื้นผิวภูมิประเทศ เพื่อนำไปประมวลผลสร้างข้อมูล ออร์โธเจริง ในขั้นตอนถัดไป



รูปที่ 6.4 ตัวอย่างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ (Douglas, B, et. al. 2018. Analyzing High Resolution Topography with TLS and SFM, InTeGrate. Retrieved April 19, 2018)

6.2.7. การสร้าง True Orthophoto

เนื่องจากเมื่อพื้นที่ที่ทำการถ่ายภาพมีค่าระดับความสูงที่แตกต่างกัน จะก่อให้เกิดผลกระทบต่อคุณภาพจากความสูงที่ต่างของพื้นที่ (Relief displacement.) ซึ่งจะทำให้จุดภาพบนภาพถ่ายคลาดเคลื่อนไปจากตำแหน่งบนพื้นหลักฐานอ้างอิง ซึ่งจะมีลักษณะเคลื่อนที่ออกจากจุดมุมขยสำคัญตามแนวรัศมีและแปรผันตามความสูงที่เทียบกับพื้นหลักฐานอ้างอิง ทั้งนี้จึงทำให้ต้องมีการประมวลผลเพื่อตัดแก้ค่าความคลาดเคลื่อนนี้ด้วยการประมวลผลสร้างออร์โธจริง

ออร์โธจริงคือการนำภาพมาประมวลผลแก้ไขและขจัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด ซึ่งจะแตกต่างจากภาพออร์โธ ที่ทำการแก้ไขความผิดเพี้ยนทางเรขาคณิตด้วยข้อมูลแบบจำลองภูมิประเทศ อันได้แก่ Digital Terrain Model (DTM) , Digital Elevation Model (DEM) ซึ่งจะส่งผลให้ค่าความผิดเพี้ยนของวัตถุที่อยู่ในระดับพื้นดินเท่านั้นที่จะถูกแก้ไข ดังนั้นในการประมวลผลภาพออร์โธจริง จะต้องใช้ข้อมูลแบบจำลองความสูงภูมิประเทศเพื่อนำมาประมวลผลแก้ไขความผิดพลาดทางเรขาคณิต รวมถึงจะต้องทำการผสมสีของภาพเข้าด้วยกันโดยวิธีการ Mosaic และต้องทำการแก้ไขสีของวัตถุในภาพ เช่น ใช้วิธี Color Balancing หรือ Histogram Matching ในการแก้ไขสีของวัตถุภายในภาพ เป็นต้น ซึ่งขั้นตอนนี้เป็นกระบวนการที่มีประโยชน์สำหรับการประมวลผลชุดข้อมูลที่มีความแตกต่างของระดับความสว่าง และเมื่อทำการประมวลผลเสร็จสิ้นแล้วการบันทึกนำออกข้อมูลควรจะกำหนดจุดภาพของภาพออร์โธจริงขึ้นอยู่กับขนาด GSD



รูปที่ 6.5 ผลลัพธ์ที่ได้จากการประมวลผลสร้าง True Orthophoto

6.3 ความแตกต่างของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศกับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

หลักการประมวลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ อาศัยการอัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์วิชันในการประมวลผล ดังนั้นเพื่อความเข้าใจในการเปลี่ยนแปลงของเทคโนโลยีในปัจจุบัน จึงต้องทำการเปรียบเทียบปัจจัยที่ส่งผลต่อการประมวลผลและการปฏิบัติงานระหว่าง การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ กับการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศแบบดั้งเดิม เพื่อความเข้าใจในการประมวลผลและเข้าใจในเทคโนโลยีกระบวนการทำงาน ทั้งนี้สามารถแสดงผลการเปรียบเทียบได้ใน ตารางที่ 6.1

54 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ตารางที่ 6.1 ตารางเปรียบเทียบความแตกต่างของการสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศกับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

หัวข้อรายละเอียด	การสำรวจด้วยภาพถ่ายทางอากาศ (aerial photogrammetry)	การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ (UAV photogrammetry)
อากาศยาน	อากาศยานที่มีนักบินควบคุมภายใน	อากาศยานขนาดเล็กที่ไม่มีนักบินควบคุมภายใน
GSD	20 เซนติเมตร	5 เซนติเมตร
พื้นที่ทำการต่อ เที่ยวบิน	5 ตารางกิโลเมตร ถึง 100 ตารางกิโลเมตร	0.1 ตารางกิโลเมตร ถึง 2 ตารางกิโลเมตร
กล้องบันทึกภาพ	กล้องเมทริกซ์ที่ผ่านการทดสอบ	กล้องดิจิทัลทั่วไป
จุดดัชนี	ปรากฏ	ไม่ปรากฏ
ช่วงความสูงในการบิน	500 เมตร ถึง 10 กิโลเมตร	100 เมตร ถึง 1 กิโลเมตร
ขั้นตอนกระบวนการประมวลผล	หลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่าย	อัลกอริทึมทางคอมพิวเตอร์วิชั่นและหลักการของการสำรวจด้วยภาพถ่าย

บทที่ 7

ขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

7.1 บทนำ

การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม ประกอบด้วยการทำงานส่วนใหญ่ ๆ 2 ส่วน ได้แก่ งานภาคสนาม และงานภายในสำนักงาน ซึ่งต้องใช้ความเข้าใจในการปฏิบัติงานเพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ถูกต้องตามหลักการและทฤษฎี ทั้งนี้งานภาคสนามของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับได้รวมงานวางแผนการบินถ่ายภาพทางอากาศและงานสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย ส่วนงานภายในสำนักงานได้แก่ การประมวลผลภาพถ่ายและการตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์ ดังรูปที่ 7.1



รูปที่ 7.1 แสดงขั้นตอนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

7.2 การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การวางแผนการบินและการบินถ่ายภาพเป็นขั้นตอนที่กำหนดความละเอียดของภาพ คุณภาพของภาพ พอยท์คลาวด์ และความถูกต้องเชิงตำแหน่ง โดยมีปัจจัยที่ต้องคำนึงถึงสำหรับการวางแผนการบินดังนี้

56 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

1. ขนาด GSD
2. ความสูงบิน
3. ส่วนซ้อนและส่วนเกย
4. รูปแบบการบิน

โดยทั้ง 4 ปัจจัยข้างต้นจะมีความสัมพันธ์กัน ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 8 การวางแผนการบิน และการถ่ายภาพทางอากาศ นอกจากนี้การถ่ายภาพและการตั้งค่าการถ่ายภาพจะต้องตั้งค่าให้สามารถถ่ายภาพได้อย่างมีคุณภาพ มีสีสันทันทีถูกต้อง และภาพจะต้องมีความคมชัด

7.3 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย

จุดควบคุมภาพถ่ายมีความสำคัญต่อคุณภาพการผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งให้ถูกต้อง ดังนั้น ผู้ปฏิบัติงานจำเป็นต้องเข้าใจหลักการและทฤษฎีในการสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย ได้แก่ การสร้างจุดควบคุมภาพถ่ายให้เห็นได้เด่นชัดบนภาพ การรังวัดค่าพิกัดที่สามารถนำมาโยงยึดภาพถ่ายได้ถูกต้องตามแผนที่วางไว้ และการกำหนดตำแหน่งเพื่อให้จุดควบคุมภาพถ่ายมีจำนวนและการกระจายตัวที่เหมาะสมครอบคลุมทั้งโครงการ

7.4 การประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายคือการนำภาพถ่ายทางอากาศมาปรับแก้ และการจับคู่ภาพ เพื่อสร้าง Tie point ตลอดจนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายเพื่อโยงยึดข้อมูลให้มีความถูกต้องเชิงตำแหน่งสำหรับการผลิตข้อมูลพอยท์คลาวด์และภาพออร์โธจริงต่อไป โดยประกอบด้วยขั้นตอนที่สำคัญในการทำงานดังนี้

1. การจับคู่ภาพและสร้าง Tie points
2. การโยงยึดค่าพิกัดตำแหน่งด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย
3. การสร้างข้อมูลพอยท์คลาวด์
4. การสร้างออร์โธจริง

ความสำคัญของขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่าย คือ การกำหนดพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการประมวล และการตรวจสอบคุณภาพและค่าพารามิเตอร์ในแต่ละขั้นตอนการประมวลผล ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 10

7.5 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรมต้องมีการตรวจสอบคุณภาพของภาพออร์โธเจ็ริง และความถูกต้องเชิงตำแหน่งของภาพออร์โธและพอยท์คลาวด์ให้เป็นไปตามข้อกำหนดความความถูกต้องที่ต้องการ ซึ่งจะกล่าวต่อไปในบทที่ 11 การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์

ฉบับเทคนิคพิจารณา

บทที่ 8

การวางแผนการบินและการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

8.1 บทนำ

การบินถ่ายภาพของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับประกอบไปด้วย 2 ส่วนหลักได้แก่ การวางแผนการบิน ใช้ในการกำหนดรูปแบบการบิน ระดับสูงบิน ขนาดส่วนซ้อน และส่วนเกย และการถ่ายภาพ เป็นส่วนสำคัญในการผลิตข้อมูลดิบเพื่อนำไปประมวลผล

8.2 การวางแผนการบิน

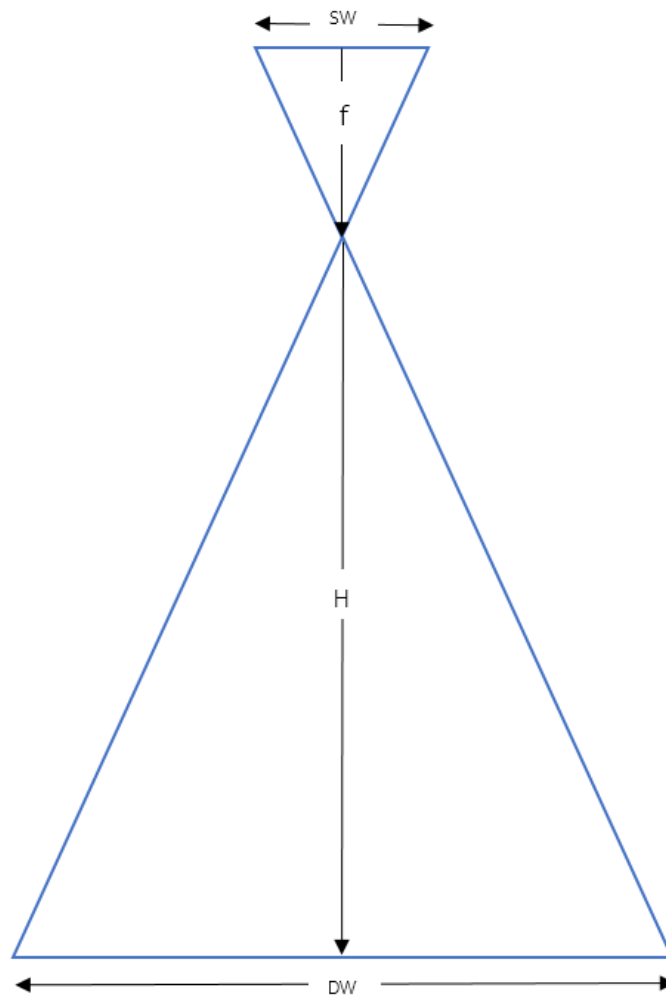
เพื่อควบคุมความถูกต้องเชิงตำแหน่งของผลลัพธ์ของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ ขั้นตอนการวางแผนการบินเป็นขั้นตอนที่สำคัญ เนื่องจากการกำหนดพารามิเตอร์ของการวางแผนการบินจะต้องสอดคล้องกับความถูกต้องที่ต้องการ พารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในการวางแผนการบินประกอบด้วย

1. ความสูงบิน
2. GSD
3. ส่วนซ้อนและส่วนเกย
4. รูปแบบการบิน

8.2.1. ความสูงบิน

ความสูงบินเป็นส่วนสำคัญของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เนื่องจากความสูงบินที่ต่ำลงจะได้ความละเอียดของภาพถ่ายสูงขึ้น สามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีความถูกต้องมากขึ้น แต่ต้องใช้เวลาบินนานขึ้นเพื่อให้ได้ภาพที่มีส่วนซ้อนและส่วนเกยเท่าเดิม นอกจากระยะเวลาในการบินเพิ่มขึ้นแล้วยังต้องคำนึงถึงจำนวนภาพที่เพิ่มขึ้น ซึ่งจะส่งผลโดยตรงต่อระยะเวลาในการประมวลผล ดังนั้นนอกจากจะต้องระวังเรื่องความสูงของสภาพพื้นที่แล้ว ระดับสูงบินมีส่วนสำคัญอย่างยิ่งต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยสามารถคำนวณระดับสูงบินได้จากสมการที่ 8.1

$$H = \frac{GSD \times f \times IW}{SW \times 100} \quad (8.1)$$



รูปที่ 8.1 การถ่ายภาพตามทฤษฎีสมการสภาวะร่วมเส้น

เมื่อ	H (Flight Height)	คือ ความสูงการบินเหนือจุดขึ้นบิน หน่วย เมตร
	GSD	คือ ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล

60 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

SW (Sensor Width) คือ ระยะด้านกว้างของเซนเซอร์ หน่วย มิลลิเมตร

f (Focal Length) คือ ทางยาวโฟกัสของเลนส์ หน่วย มิลลิเมตร

IW (Image Width) คือ จำนวนพิกเซลด้านกว้าง หน่วย พิกเซล

จากรูปที่ 8.1 สามารถหาระยะพื้นจริงจากภาพถ่ายหนึ่งใบได้จากสมการที่ 8.2

$$DW = \frac{GSD \times IW}{100} \quad (8.2)$$

เมื่อ DW (Distance Width) คือ ระยะพื้นต่อหนึ่งภาพ หน่วย เมตร

GSD คือ ระยะพื้นต่อพิกเซล หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล

IW (Image Width) คือ จำนวนพิกเซลด้านกว้าง หน่วย พิกเซล

8.2.2. GSD

การกำหนดค่า GSD ขึ้นกับความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ โดยมีการกำหนดความถูกต้องในงานวิศวกรรมด้านต่าง ๆ แบ่งตามประเภทกิจกรรมหรือการใช้งาน ตามแนวทางของ FGDC (Geospatial Positioning Accuracy Standards PART 4: Standards for Architecture, Engineering, Construction (A/E/C) and Facility Management National)

ตัวอย่างงานวิศวกรรมเช่น แบบงานเกลี่ยระดับ และงานขุด กำหนดให้ค่าความคลาดเคลื่อนทางราบอยู่ที่ 25 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้งอยู่ที่ 10 เซนติเมตร เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับระดับ Survey Grade จากตารางที่ 4.1 จะได้ GSD 3 เซนติเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะสามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งทางราบเท่ากับ 7.5 เซนติเมตร และสามารถผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งทางตั้งเท่ากับ 9 เซนติเมตร

8.2.3. ส่วนซ้อนและส่วนเกย

การกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยสำหรับการวางแผนการบินในงานสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น มีความแตกต่างกับการสำรวจด้วยภาพถ่ายแบบดั้งเดิมเนื่องจากอากาศยานไร้

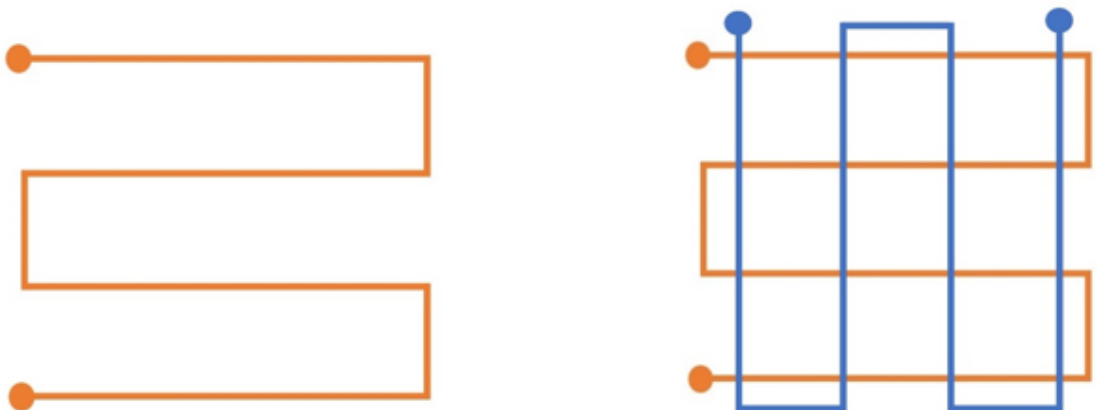
คนขับมีขนาดเล็กและไม่สามารถควบคุมความเร็วและทิศทางการบินได้อย่างสม่ำเสมอตลอดระยะเวลาในการถ่ายภาพ ดังนั้นหากกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยที่น้อยเกินไปอาจทำให้ภาพที่ถ่ายไม่สามารถต่อกันได้ โดยการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะต้องกำหนดส่วนซ้อนและส่วนเกยดังนี้

1. ส่วนซ้อนหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ของภาพประชิดในแนวนอน กำหนดให้การถ่ายภาพมีส่วนซ้อนกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 75
2. ส่วนเกยหรือพื้นที่ที่ทับกันอยู่ระหว่างแนวนอนที่ประชิดกัน กำหนดให้การถ่ายภาพมีส่วนเกยกันไม่น้อยกว่าร้อยละ 60

8.2.4. รูปแบบการบิน

การวางแผนรูปร่างของบล็อกการบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ โดยทั่วไปจะกำหนดให้บินภายในลักษณะบล็อกสี่เหลี่ยมมุมฉาก เพื่อให้โครงข่ายมีความแข็งแรงและลดจำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย โดยสามารถเลือกรูปแบบการบินได้ดังนี้

1. รูปแบบการบินแบบทั่วไป
2. รูปแบบการบินแบบกริด



รูปที่ 8.2 แสดงตัวอย่างรูปแบบการบินแบบทั่วไปและรูปแบบการบินแบบกริดตามลำดับ

8.3 การถ่ายภาพ

ภาพถ่ายที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นส่วนสำคัญต่อการประมวลผลภาพถ่าย ดังนั้นจะต้องถ่ายภาพให้ได้ภาพที่มีคุณภาพที่ดีและมีความคมชัดที่สุด โดยมีปัจจัยที่ต้องพิจารณาในการถ่ายภาพดังนี้

8.3.1. สภาพอากาศ

กล้องถ่ายภาพในปัจจุบันมีความสามารถในการจัดการกับแสงและเงาได้ดีมากยิ่งขึ้น แต่การบินในสภาพอากาศที่ไม่ดี ก็อาจจะทำให้คุณภาพของภาพถ่ายทางอากาศที่ได้ลดลงหรือต้องใช้เวลาในการปรับค่าภาพถ่ายมากขึ้น เพราะฉะนั้นสภาพอากาศที่ดีควรมีปัจจัยที่เหมาะสมดังนี้

8.3.1.1. มุมรังสีดวงอาทิตย์

มุมรังสีดวงอาทิตย์เป็นสาเหตุที่ทำให้เกิดเงาของสิ่งแวดล้อมภายในโครงการ ดังนั้นการถ่ายภาพต้องถ่ายเมื่อดวงอาทิตย์อยู่สูงกว่า 45 องศา จากพื้น หรือช่วงเวลาที่เหมาะสมคือ 9.00 น. ถึง 15.00 น. ภายใต้สภาวะแสงที่ไม่ทำให้เกิดความเปรียบต่างสีของแสงและเงาอย่างชัดเจน

8.3.1.2. การปกคลุมของเมฆ

ถึงแม้ว่าการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับนั้น ส่วนใหญ่จะทำการบินต่ำกว่าเมฆ แต่หากบริเวณโครงการมีเมฆปกคลุมหนาจนทำให้เกิดเงาได้ ก็ควรหลีกเลี่ยงการบินถ่ายภาพ ณ ขณะนั้น

8.3.1.3. สภาพอากาศเหนือพื้นดิน

การสำรวจทุกครั้งจำเป็นต้องรู้สภาพพื้นที่โดยรวม เช่น โอกาสการเกิดหมอกควันที่มีผลต่อการถ่ายภาพ หรือแม้กระทั่งสภาพพื้นหลังฝนตกก็อาจเป็นเหตุให้คุณภาพของภาพถ่ายทางอากาศลดลง ให้หลีกเลี่ยงการบินขณะสภาพแวดล้อมไม่เหมาะสม

8.3.2. การตั้งค่าการถ่ายภาพ

ภาพถ่ายทางอากาศที่นำไปใช้ในการประมวลผลจะต้องมีคุณภาพที่ดี คุณสมบัติพื้นฐานที่มีความสำคัญต่อการถ่ายภาพให้มีความคมชัด และมีสีที่ถูกต้อง จะต้องตั้งค่าพารามิเตอร์การถ่ายภาพที่เหมาะสมกับสภาวะแวดล้อมของพื้นที่ ซึ่งในที่นี่ให้คำแนะนำสำหรับการตั้งค่าการถ่ายภาพเบื้องต้น ทั้งนี้ผู้ใช้งานจะต้องตั้งค่าที่เหมาะสมในกล้องแต่ละรุ่นด้วยตนเอง โดยทั่วไปการตั้งค่าการถ่ายภาพประกอบด้วย

1. รูรับแสง
2. ความเร็วชัตเตอร์
3. ค่าความไวแสง
4. ค่าสมดุลแสงขาว
5. ขนาดของภาพ

8.3.2.1. รูรับแสง

รูรับแสงมีผลต่อความชัดลึกของภาพ และปริมาณแสงที่ได้รับ โดยการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับที่ต้องถ่ายภาพที่มีความแปรผันของความสูงในพื้นที่โครงการมาก จะต้องคำนึงถึงขนาดของรูรับแสงมาก สำหรับรูรับแสงที่เหมาะสมกับการถ่ายภาพทางอากาศไม่ควรน้อยกว่า $f/5.6$ หรือช่วงรูรับแสงที่ดีที่สุดของเลนส์ที่ใช้

8.3.2.2. ความเร็วชัตเตอร์

ความเร็วชัตเตอร์จะต้องมีค่ามากพอที่จะไม่ทำให้เกิดความเบลอของภาพเนื่องมาจากอากาศยานไร้คนขับเคลื่อนที่

8.3.2.3. ค่าความไวแสง

การตั้งค่าความไวแสงคือการเพิ่มหรือลดค่าปริมาณแสงที่เข้าสู่กล้อง ทั้งนี้การเพิ่มค่าความไวแสงจะทำให้เกิดสัญญาณรบกวนกับภาพที่บันทึก ซึ่งมีผลกับการประมวลผลภาพถ่าย ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับคุณภาพของกล้องที่สามารถลดสัญญาณรบกวนได้เมื่อต้องตั้งค่าความไวแสงที่สูงขึ้น

8.3.2.4. ค่าสมดุลแสงขาว

การถ่ายภาพที่เวลาแตกต่างกัน ปริมาณแสงไม่เท่ากัน จำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องปรับค่าสมดุลแสงขาวให้ถูกต้องและตรงกันตลอดระยะเวลาในการสำรวจ

8.3.2.5. ขนาดของภาพ

ขนาดของภาพหรือสัดส่วนของภาพด้านกว้างต่อด้านยาวนั้นจะต้องมีสัดส่วนสูงที่สุดที่กล้องให้ได้ ซึ่งกล้องบันทึกภาพในปัจจุบันสัดส่วนที่ใช้และมีจำนวนพิกเซลสูงที่สุดอยู่ที่ 3:2

8.4 ตัวอย่างการวางแผนการบิน และการถ่ายภาพด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่อจัดทำแผนที่ภาพถ่ายโดยต้องการความถูกต้องทางราบ 20 เซนติเมตร และค่าความคลาดเคลื่อนทางตั้ง 25 เซนติเมตร ผลิตแผนที่มาตราส่วน 1:1,000

8.4.1. อุปกรณ์ที่ใช้ในการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับระดับ Survey Grade

คุณสมบัติของกล้องบันทึกภาพระดับ Survey Grade จะต้องเป็นไปตามตารางที่ 4.1 ในที่นี้ได้แสดงตัวอย่างอุปกรณ์ที่ใช้ในการวางแผนดังนี้

1. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง
2. กล้องถ่ายภาพ มีข้อมูลจำเพาะของกล้องตามตารางที่ 8.1

ตารางที่ 8.1 ตารางแสดงข้อมูลจำเพาะของกล้องถ่ายภาพ

ข้อมูลจำเพาะของกล้องบันทึกภาพ	
ความละเอียด	20 ล้านพิกเซล
ขนาดเซนเซอร์	1 นิ้ว
ชนิดของเลนส์	เลนส์ทางยาวโฟกัสเดียว
ชนิดของชัตเตอร์	โกลบอลชัตเตอร์
ทางยาวโฟกัส	10 มิลลิเมตร

8.4.2. วางแผนการบิน

จากตัวอย่างต้องการจัดทำแผนที่ภาพถ่ายที่ความถูกต้องทางราบ 20 เซนติเมตร และความถูกต้องทางดิ่ง 25 เซนติเมตรจากตารางที่ 5.1 และตารางที่ 5.2 ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 จะต้องวางแผนการบินถ่ายภาพที่ GSD 8 เซนติเมตร เพื่อผลิตแผนที่ภาพถ่ายที่มีความถูกต้องทางราบเท่ากับ 19.2 เซนติเมตร และความถูกต้องทางดิ่งเท่ากับ 24 เซนติเมตร ที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95

- 1. ความสูงบิน จากสมการที่ 8.1 ที่ GSD เท่ากับ 8 เซนติเมตร สามารถคำนวณความสูงบินได้เท่ากับ 342 เมตร แต่เนื่องจากประกาศกระทรวงคมนาคม เรื่อง หลักเกณฑ์การขออนุญาตและเงื่อนไขการบังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก พ.ศ. ๒๕๕๘ ดังนั้นผู้ปฏิบัติจึงต้องบินถ่ายด้วย GSD ที่มีขนาดเล็กลง และหรือเปลี่ยนทางยาวโฟกัสของเลนส์กล้อง ให้สามารถบินถ่ายได้ตามประกาศกระทรวงคมนาคม
- 2. ส่วนซ้อนและส่วนเกย เท่ากับ ร้อยละ 75 และ 60 ตามลำดับ
- 3. บินถ่ายด้วยรูปแบบการบินทั่วไป

8.4.3. ตั้งค่าการถ่ายภาพ

กล้องถ่ายภาพสามารถตั้งค่าพื้นฐานที่จำเป็นต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับตามตัวอย่างนี้ค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมสำหรับการถ่ายภาพในโครงการเป็นดังนี้

66 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

4. ขนาดรับแสง เท่ากับ 5.6
5. ความเร็วชัตเตอร์ เท่ากับ 1/1,250 วินาที
6. ความไวแสง เพิ่มให้ค่าวัดแสงอยู่ระดับ +0.7 ถึง +1.0
7. ค่าสมดุลแสงขาว ปรับตามความเหมาะสม

8.5 คุณภาพของภาพถ่าย

ภาพถ่ายเป็นข้อมูลตั้งต้นของการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ การตรวจวัดคุณภาพของภาพถ่ายก่อนนำไปประมวลผลเป็นขั้นตอนหนึ่งที่จะต้องให้ความสำคัญเมื่อบินถ่ายภาพเสร็จทุกครั้ง โดยคุณภาพหลักของการตรวจสอบได้แก่

1. ความคมชัด (Sharpness)
2. ความสว่าง (Brightness)
3. ความชัดเจน (Clarity)
4. ความถูกต้องของสี (Color Accuracy)
5. ความบิดเบี้ยวของภาพ (Distortion)

8.5.1. ความคมชัด

รายละเอียดต่าง ๆ ของภาพต้องมีความคมชัด โดย (1) ภาพจะต้องโฟกัสได้ในระยะที่ต้องการ และความชัดลึกครอบคลุมความสูงที่ปรากฏในพื้นที่โครงการ (2) ภาพจะต้องไม่เบลออันเนื่องมาจากการความเร็วของอากาศยานไร้คนขับที่มากกว่าความเร็วชัตเตอร์ที่ใช้ได้



รูปที่ 8.3 แสดงตัวอย่างภาพที่มีความคมชัด ภาพที่หลุดระยะโฟกัส และภาพที่เบลอลงขณะเคลื่อนไหวตามลำดับ

8.5.2. ความสว่าง

ภาพที่ได้จากการถ่ายทุกครั้งต้องมีความสว่างสม่ำเสมอเท่ากันตลอดทั้งภาพ ทั้งนี้กล้องถ่ายภาพในปัจจุบันสามารถตั้งค่าความไวแสงได้อย่างเหมาะสมโดยง่าย โดยใช้การวัดแสงแบบเฉลี่ยทั้งพื้นที่เพื่อกำหนดค่าการถ่ายภาพก่อนบินทุกครั้ง

8.5.3. ความชัดเจน

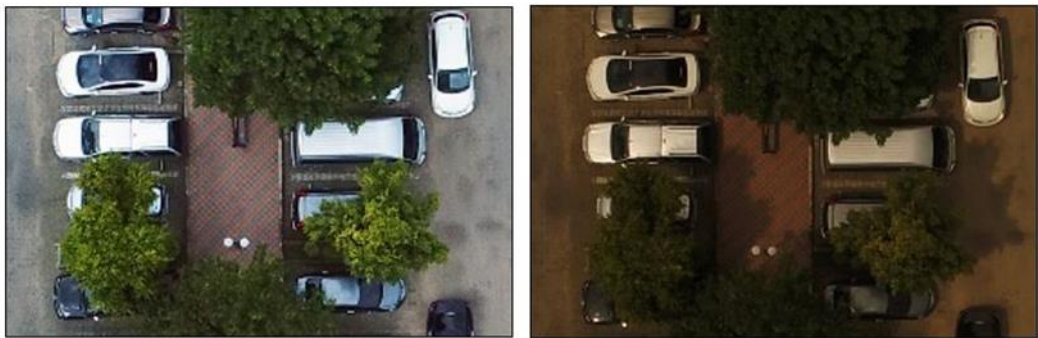
การถ่ายภาพในช่วงเวลาที่มีแสงน้อยจำเป็นต้องเพิ่มค่าความไวแสงเพื่อให้ภาพมีความสว่างอย่างเหมาะสม แต่ค่าความไวแสงที่สูงขึ้นย่อมทำให้เกิดสัญญาณรบกวน(noise) บนภาพมากยิ่งขึ้น ในปัจจุบันหากจำเป็นต้องนำภาพที่มีสัญญาณรบกวนไปใช้ในการประมวลผล สามารถนำภาพไปปรับลดสัญญาณรบกวนในโปรแกรมปรับแต่งภาพได้



รูปที่ 8.4 แสดงภาพถ่ายที่มีสัญญาณรบกวนต่ำและภาพถ่ายที่มีสัญญาณรบกวนสูงตามลำดับ

8.5.4. ความถูกต้องของสี

สีสันของภาพจะต้องใกล้เคียงกับสีจริงมากที่สุด ทั้งนี้หากขณะบินถ่ายภาพมีการเปลี่ยนแปลงปริมาณแสงอาจส่งผลกระทบต่อค่าสมดุลแสงขาวที่ตั้งไว้ในตอนแรกทำให้การตรวจสอบสีของภาพมีความสำคัญและจำเป็นต้องปรับสีให้ถูกต้องก่อนนำไปประมวลผล



รูปที่ 8.5 แสดงภาพถ่ายที่มีสีที่ถูกต้องและภาพถ่ายที่มีสีที่ผิดจากความจริงเนื่องจากการตั้งค่าสมดุลแสงขาวไม่ถูกต้อง

บทที่ 9

จุดควบคุมภาพถ่าย

9.1 บทนำ

การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจำเป็นต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายเพื่อประมวลผลปรับแก้ และคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพ ค่าการวางตัวของภาพถ่าย ดังนั้นจุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องมีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และมีปริมาณการกระจายตัวอย่างเพียงพอครอบคลุมทั้งโครงการ

9.2 การสร้างจุดควบคุมภาพถ่าย

จุดควบคุมภาพถ่ายที่ดีจะต้องมองเห็นและสามารถรังวัดได้บนภาพถ่าย และสามารถหมายตำแหน่งจุดกึ่งกลางของจุดควบคุมภาพถ่ายได้โดยจุดควบคุมภาพ 1 จุด จะต้องปรากฏบนภาพอย่างน้อย 9 รูป

โดยจุดควบคุมภาพถ่ายต้องมีสีตัดกับพื้นของภูมิประเทศโดยรอบ ซึ่งมีรูปแบบเช่น

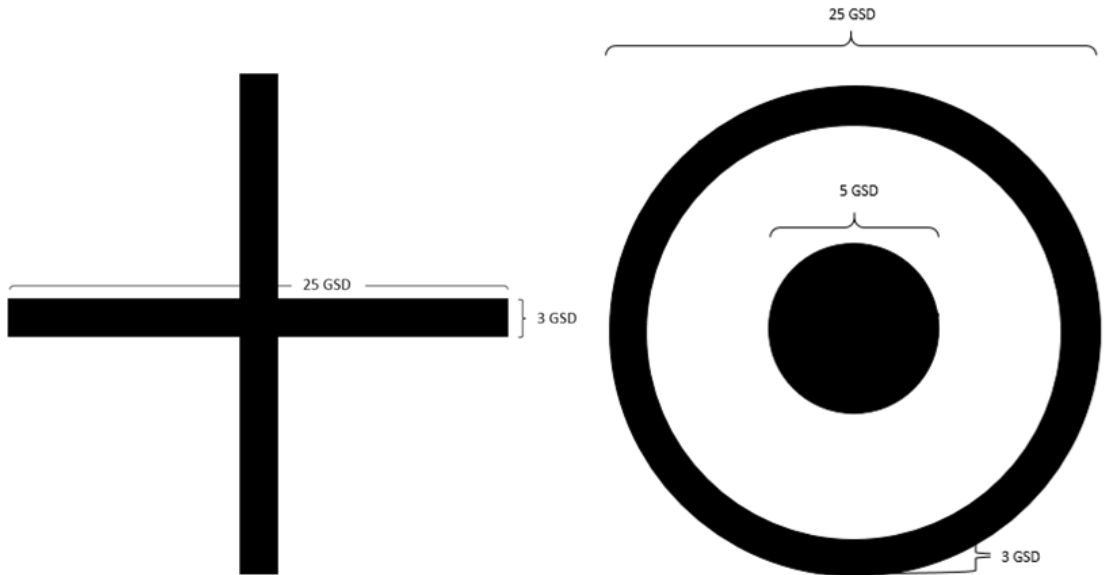
1. รูปกากบาท
2. รูปวงกลม
3. รูปสี่เหลี่ยม

โดยใช้วิธีการทาสีที่ตัดกับสีของภูมิประเทศโดยรอบหรือการใช้วัสดุอื่น ๆ ที่เป็นแผ่นสามารถถอดเก็บได้ดังนี้

9.2.1. รูปกากบาทหรือรูปวงกลม

รูปร่างของกากบาทหรือวงกลมที่เหมาะสมสามารถมองเห็นได้ชัดนั้น จะต้องมีความยาวไม่น้อยกว่า 25 เท่าของ GSD และมีความหนาของเส้นไม่น้อยกว่า 3 เท่าของ GSD ดังรูปที่ 9.1

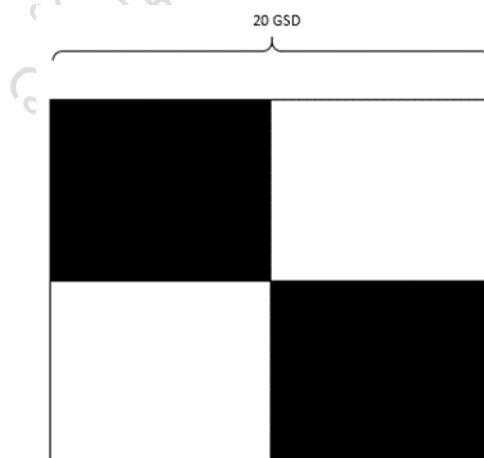
70 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม



รูปที่ 9.1 แสดงรูปร่างจุดควบคุมภาพถ่ายรูปกากบาท และรูปวงกลมตามลำดับ

9.2.2. รูปสี่เหลี่ยม

รูปสี่เหลี่ยมที่สามารถวัดจุดโยงยึดบนภาพได้อย่างแม่นยำ จะต้องมีส่วนตัดกันของสีเป็นตารางหมากรุกดังรูปที่ 9.2 และต้องมีขนาดด้านกว้างและด้านยาวไม่น้อยกว่า 20 เท่าของ GSD



รูปที่ 9.2 แสดงตัวอย่างสีและรูปร่างของผ้าใบในการทำจุดควบคุมภาพถ่าย

9.3 การรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย

ค่าความถูกต้องทางราบและทางตั้งของจุดควบคุมภาพถ่ายสำหรับการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะต้องที่ค่าเป็น 1 ส่วน 4 เท่าของค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่งของข้อมูล ตามมาตรฐาน ASPRS (2014), ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data

$$RMSE_r = 1/4 * RMSE_r(\text{map}) \quad (9.1)$$

จากสมการที่ 9.1 ความถูกต้องเชิงตำแหน่งทางราบและทางตั้งของข้อมูลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะนำมาใช้เป็นเกณฑ์ในการวางแผนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย

9.4 ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่าย

ตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายต้องเป็นไปตามการแบ่งประเภทกล้องถ่ายภาพและความถูกต้องเชิงตำแหน่งของพิกัดจุดถ่ายภาพ ที่แสดงไว้ในตารางที่ 4.1 ในบทที่ 4 ประกอบด้วย

1. Consumer Grade
2. Professional Grade
3. Survey Grade

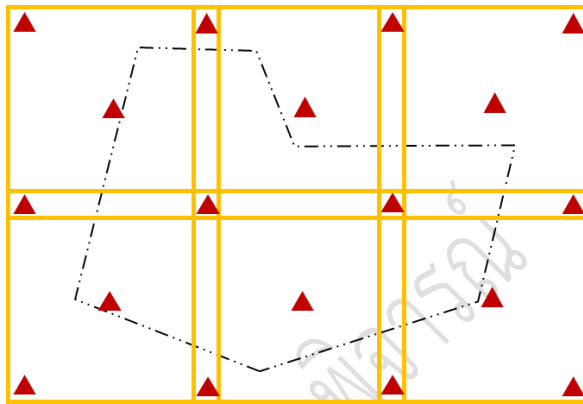
ดังนั้นการผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งที่มีค่าความถูกต้องตามมาตรฐานฉบับนี้ จะต้องกำหนดตำแหน่งและการกระจายตัวของจุดควบคุมภาพถ่ายดังนี้

9.4.1. Consumer Grade

เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปทั่วไปและพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องต่ำ จะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 9 จุด ต่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่าย และจุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างโดยประมาณไม่เกิน 200 เมตร

9.4.2. Professional Grade

เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปที่มีคุณภาพสูงและพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องต่ำ จะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 5 จุด ต่อบล็อกการประมวลผลภาพถ่าย และจุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องกระจายอย่างสม่ำเสมอ โดยมีระยะห่างโดยประมาณไม่เกิน 500 เมตร ดังรูปที่ 9.3



รูปที่ 9.3 แสดงตำแหน่งและการกระจายตัวอย่างเหมาะสมของจุดควบคุมภาพถ่าย เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับ Professional Grade

9.4.3. Survey Grade

เมื่อใช้อากาศยานไร้คนขับในการถ่ายรูปที่มีคุณภาพสูงและพิกัดจุดถ่ายภาพมีความถูกต้องต่ำ จะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายอย่างน้อย 2 จุด ต่อเที่ยวบิน

บทที่ 10

การประมวลผลภาพถ่าย

10.1 บทนำ

ในการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับ เป็นกระบวนการที่สำคัญต่อความถูกต้องเชิงตำแหน่ง ซึ่งในแต่ละขั้นตอนการประมวลผลจะบ่งชี้ถึงคุณภาพของชุดข้อมูลภาพถ่าย ดังนั้นจึงทำให้ต้องมีการตั้งค่าพารามิเตอร์ให้เหมาะสม และตรวจสอบรายงานผลการประมวลผลทุกขั้นตอน โดยบทนี้จะกล่าวถึงค่าพารามิเตอร์ที่เหมาะสมในการประมวลผล การตรวจสอบและวิธีการแก้ไขเมื่อผลการประมวลผลไม่ได้ตามเกณฑ์ที่กำหนด

10.2 ค่าพารามิเตอร์ของการประมวลผลภาพถ่าย

การประมวลผลภาพถ่ายในแต่ละขั้นตอนจะส่งผลต่อคุณภาพและความถูกต้องของข้อมูลเชิงตำแหน่ง ดังนั้นจึงทำให้ผู้ปฏิบัติงานจะต้องให้ความสำคัญกับการตั้งค่าพารามิเตอร์ในการประมวลผล และตรวจสอบรายงานการประมวลผลให้เป็นไปตามเกณฑ์ที่กำหนดไว้ในมาตรฐานฉบับนี้ โดยการกำหนดค่าพารามิเตอร์ของขั้นตอนการประมวลผลภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับประกอบด้วย 6 ขั้นตอน ได้แก่

1. การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie Points
2. การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย
3. การสร้างพอยท์คลาวด์
4. การสร้าง Mesh Model
5. การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ
6. การสร้าง True Orthophoto

10.2.1. การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie points

74 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ขั้นตอนการจับคู่ภาพจะเป็นขั้นตอนเริ่มต้นตั้งแต่การคำนวณตำแหน่งของภาพ จับคู่ภาพ รวมถึงเป็นขั้นตอนที่มีความสำคัญและส่งผลกระทบต่อขั้นตอนการประมวลผลในขั้นต่อไป โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญ
2. กำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญ

ตารางที่ 10.1 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง tie points

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	ขนาดภาพที่จะสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญ	กำหนดขนาดของภาพทั้งภาพหรือเท่ากับ 1 ในการสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญ
2	กำหนดจำนวนข้อมูลจุดสำคัญ	กำหนดข้อมูลจุดสำคัญ 10,000 จุด

เมื่อประมวลผลการจับคู่ภาพและสร้าง tie points จะต้องตรวจสอบการประมวลผลจากรายงานการประมวลผล โดยเกณฑ์การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะแสดงในตารางที่ 10.2

ตารางที่ 10.2 เกณฑ์การตรวจสอบผลการประมวลผลขั้นตอนการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง tie points

ลำดับ	เกณฑ์การตรวจสอบ	ค่าที่ยอมรับได้
1	ค่าเฉลี่ย GSD	ค่าเฉลี่ยที่ประมวลผลได้ไม่เกิน 0.5 เซนติเมตร ของแผนการบิน
2	ขนาดพื้นที่การประมวลผล	ไม่น้อยกว่าแผนการบินที่วางแผน
3	จุดสำคัญในภาพ	กระจายอย่างสม่ำเสมอทั่วทั้งภาพ
4	ภาพถ่ายที่นำไปใช้คำนวณต้องวัดสอบได้	ภาพที่นำไปคำนวณต้องวัดสอบได้ร้อยละ 100

10.2.2. การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

การโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายคือขั้นตอนในการปรับแก้ค่าพิกัด tie point ด้วยวิธี Bundle Block Adjustment โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดค่าความถูกต้องทางราบของจุดควบคุมภาพถ่าย
2. กำหนดค่าความถูกต้องทางดิ่งของจุดควบคุมภาพถ่าย
3. กำหนดค่าความถูกต้องของการวัดจุดควบคุมภาพถ่ายบนภาพ
4. กำหนดค่าความถูกต้องของ tie points

ตารางที่ 10.3 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	ค่าความถูกต้องทางราบของจุดควบคุมภาพถ่าย	เท่ากับค่าความถูกต้องที่ได้จากกระบวนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย
2	ค่าความถูกต้องทางดิ่งของจุดควบคุมภาพถ่าย	เท่ากับค่าความถูกต้องที่ได้จากกระบวนการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่าย
3	ค่าความถูกต้องของการวัดจุดควบคุมภาพถ่ายบนภาพ	ไม่เกิน 2 พิกเซล
4	ค่าความถูกต้องของ Tie Point	เท่ากับ 1 พิกเซล

เมื่อประมวลผลการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่ายจะต้องตรวจสอบการประมวลผลจากรายงานการประมวลผล โดยเกณฑ์การตรวจสอบในขั้นตอนนี้จะแสดงในตารางที่ 10.4

ตารางที่ 10.4 เกณฑ์การตรวจสอบผลการประมวลผลขั้นตอนการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย

ลำดับ	เกณฑ์การตรวจสอบ	ค่าที่ยอมรับได้
1	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย	ครอบคลุมพื้นที่โครงการ
2	ค่า Reprojection Error	ไม่เกิน 0.3 พิกเซล

10.2.3. การสร้างพอยท์คลาวด์

76 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

ขั้นตอนประมวลผลสร้างพอยท์คลาวด์คือการสร้างจุดพิกัดสามมิติที่มีจำนวนมาก เพื่อให้เห็นรายละเอียดข้อมูลในการประมวลชัดเจนมากยิ่งขึ้น ซึ่งพอยท์คลาวด์ที่สร้างในขั้นตอนนี้จะถูกนำไปประมวลผลเพื่อสร้าง Mesh Model โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดขนาดภาพสำหรับการสร้างพอยท์คลาวด์
2. กำหนดความหนาแน่นของจุด

ตารางที่ 10.5 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการสร้างพอยท์คลาวด์

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	ขนาดภาพสำหรับการสร้างพอยท์คลาวด์	เท่ากับ 0.5 ถึง 1 เท่าของภาพ
2	ความหนาแน่นของจุด	ตามความต้องการในการนำไปประยุกต์ใช้งาน

คุณภาพของพอยท์คลาวด์จะขึ้นกับคุณภาพของภาพถ่าย ดังนั้นเมื่อพบจุดที่มีพอยท์คลาวด์ผิดปกติหรือฟุ้งกระจายบางส่วนสามารถจัดจุดผิดปกติเหล่านั้นได้ทันที เพื่อใช้ในการประมวลผลขั้นตอนถัดไป

10.2.4. การสร้าง Mesh Model

การประมวลผลสร้าง Mesh Model เป็นขั้นตอนที่ประมวลผลสร้างข้อมูลพื้นผิวที่มีโครงสร้างแบบเวกเตอร์ ที่ใช้แสดงลักษณะรูปร่างของโมเดล ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประมวลผลสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดความละเอียดของ Mesh Model
2. กำหนดวิธีการเติมเต็มพื้นผิว

ตารางที่ 10.6 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการสร้าง Mesh Model

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	กำหนดความละเอียดของ Mesh Model	เทียบเท่าความหนาแน่นของพอยท์คลาวด์
2	วิธีการเติมเต็มพื้นผิว	Interpolation

10.2.5. การสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

การประมวลผลสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ มีค่าพารามิเตอร์ที่ต้องทำการตรวจสอบเพื่อรักษาคุณภาพและความถูกต้องทางเรขาคณิต โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดความละเอียดของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

ตารางที่ 10.7 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการสร้างแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	ความละเอียดของแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ	ไม่น้อยกว่า 1 เท่าของ GSD

10.2.6. การสร้าง True Orthophoto

ขั้นตอนการสร้าง True Orthophoto มีพารามิเตอร์ที่สำคัญต่อการนำไปผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศมาตราส่วนที่เหมาะสมต่อไป โดยพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องในขั้นตอนนี้ประกอบด้วย

1. กำหนดความละเอียดของ True Orthophoto
2. กำหนดแบบจำลองในการสร้าง True Orthophoto

ตารางที่ 10.8 ตารางการกำหนดค่าพารามิเตอร์ในขั้นตอนการสร้าง True Orthophoto

ลำดับ	พารามิเตอร์	การกำหนดค่าพารามิเตอร์
1	ความละเอียดของ True Orthophoto	ไม่น้อยกว่า 1 เท่าของ GSD
2	แบบจำลองในการสร้าง True Orthophoto	DSM

10.3 การประมวลผลภาพถ่ายไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

แนวทางในการแก้ไขเมื่อการประมวลผลภาพถ่ายไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด เนื่องจากขั้นตอนที่สำคัญในการผลิตข้อมูลเชิงตำแหน่งให้มีความถูกต้องตามมาตรฐาน ได้แก่ การจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Tie Points และการโยงยึดค่าพิกัดด้วยจุดควบคุมภาพถ่าย โดยแนวทางการแก้ไขเมื่อประมวลผลไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดจะแสดงในตารางที่ 10.9

ตารางที่ 10.9 ตารางแสดงแนวทางการแก้ไขเมื่อประมวลผลไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด

ลำดับ	ไม่ผ่านเกณฑ์ที่กำหนด	แนวทางแก้ไข
1	ค่าเฉลี่ย GSD	วางแผนการบินถ่ายภาพใหม่
2	ขนาดพื้นที่การประมวลผล	บินถ่ายภาพในบริเวณที่ขาด
3	จำนวนจุดสำคัญในภาพ	เพิ่มจำนวนภาพหรือเพิ่มปริมาณส่วนซ้อนของภาพ
4	ภาพถ่ายที่สามารถวัดสอบได้	เพิ่มจำนวนภาพหรือเพิ่มภาพที่บินถ่ายภาพสูงขึ้น
5	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย	เพิ่มจำนวนจุดควบคุมภาพให้เท่ากับจำนวนที่วางแผน
6	ค่า Reprojection Error	ไม่นำจุดดังกล่าวมารังวัดโยงยึดค่าพิกัด

บทที่ 11

การตรวจสอบคุณภาพผลลัพธ์

11.1 บทนำ

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 3 ส่วนคือ True Orthophoto พอยท์คลาวด์ และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานวิศวกรรม เช่น การนำภาพ True Orthophoto ไปผลิตแผนที่ภูมิประเทศหรือนำแบบจำลองความสูงภูมิประเทศไปใช้ในการคำนวณงานดิน เป็นต้น คุณภาพของผลลัพธ์จึงต้องสัมพันธ์กับการประยุกต์ใช้งานแต่ละอย่าง โดยแบ่งเป็นสองส่วน ได้แก่ การตรวจสอบคุณภาพของข้อมูลเชิงตำแหน่ง และตรวจสอบจากคุณภาพของผลลัพธ์

11.2 การตรวจสอบคุณภาพจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

การตรวจสอบคุณภาพจากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับสามารถแบ่งออกเป็น 2 ส่วน ได้แก่ การตรวจสอบจากกระบวนการสำรวจ และการตรวจสอบจากจุดตรวจสอบในโครงการ

11.2.1. การตรวจสอบจากกระบวนการสำรวจ

กระบวนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับจะควรจะต้องปฏิบัติตามรายละเอียดที่กล่าวไว้ข้างต้นตั้งแต่บทที่ 8 ถึงบทที่ 10 เพื่อให้ได้ความถูกต้องเชิงตำแหน่งตามที่ได้วางแผนไว้

11.2.2. การตรวจสอบจากจุดตรวจสอบ

ในกรณีที่พื้นที่โครงการมีขนาดใหญ่ ควรทำการตรวจสอบคุณภาพด้วยจุดตรวจสอบเพิ่มเติม โดยจุดตรวจสอบต้องมีความถูกต้องเชิงตำแหน่งเท่ากับจุดควบคุมภาพถ่าย โดยไม่นำจุดตรวจสอบไปใช้ในการประมวลผลร่วมกับจุดควบคุมภาพถ่าย การตรวจด้วยจุดตรวจสอบให้ใช้ตามมาตรฐาน ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data

11.3 ตรวจสอบจากคุณภาพของผลลัพธ์โดยตรง

ในที่นี้นอกจากการตรวจสอบข้อมูลเชิงตำแหน่ง ผลลัพธ์ที่สามารถตรวจสอบด้วยสายตา คือ การตรวจสอบภาพออร์โธรีจิง โดยตรวจสอบได้จากหัวข้อต่อไปนี้

11.3.1. คุณภาพพอยท์คลาวด์

พอยท์คลาวด์ที่มีคุณภาพจะต้องมีรายละเอียดที่ชัดเจน สามารถวัดระยะได้แม่นยำ โดยพอยท์คลาวด์จะต้องเกาะกลุ่มไปตามลักษณะของพื้นที่ และหากพื้นที่ที่มีความคลาดเคลื่อนจะต้องเพิ่ม Manual Tie Point ในบริเวณดังกล่าว เพื่อนำไปประมวลผลภาพใหม่

11.3.2. คุณภาพของภาพ True Orthophoto

11.3.2.1. ตรวจสอบความต่อเนื่องของภาพ

ภาพ True Orthophoto สามารถนำไปใช้งานในด้านวิศวกรรม ตั้งแต่การนำไปผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศ หรือการนำไปใช้เพื่อผลิตแผนที่ภูมิประเทศ ดังนั้นภาพ True Orthophoto จะต้องมีความคมชัด และไม่ผิดปกติเกินกว่าการนำไปใช้งาน



รูปที่ 11.1 ตัวอย่างภาพที่ผิดปกติ

นอกจากนี้ยังสามารถตรวจสอบคุณภาพความต่อเนื่องของภาพให้อยู่ภายใต้มาตรฐาน โดยอ้างอิงจากตาราง ระดับความถูกต้องทางราบที่อ้างอิงตามมาตรฐาน ASPRS Positional Accuracy Standards for Digital Geospatial Data

11.3.2.2. สี และความสว่างของภาพ

สีและความสว่างของภาพ True Orthophoto เบื้องต้นสามารถตรวจสอบจากภาพถ่ายทางอากาศทุกครั้งที่ยินเสร็จ โดยมีความคาดหวังว่าคุณภาพและการปรับสีที่ถูกต้องขั้นต้นจะต้องทำให้ภาพออร์โธมีความถูกต้องด้วย

11.4 ตัวอย่างรายงานการตรวจสอบการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ

รายงานการตรวจสอบการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเป็นตัวอย่างที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการตรวจสอบตั้งแต่กระบวนการทำงาน และการตรวจสอบผลการสำรวจ ซึ่งจะแสดงตัวอย่างในตารางที่ 11.1 และ 11.2

ตารางที่ 11.1 ตารางแสดงตัวอย่างรายการตรวจสอบกระบวนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

รายการตรวจสอบกระบวนการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม				
ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	รายงานผล	หน่วย	หมายเหตุ
แผนการบิน				
1	ขนาดพื้นที่โครงการ			
2	ความถูกต้องทางราบของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ			
3	ความถูกต้องทางตั้งของข้อมูลเชิงตำแหน่งที่ต้องการ			
4	ขนาดของ GSD			
5	ความสูงบิน			

**82 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม**

6	ปริมาณส่วนซ้อน			
7	ปริมาณส่วนเกย			
8	รูปแบบการบิน			
กล้องถ่ายภาพ				
1	ประเภทกล้องถ่ายภาพ			
2	ความถูกต้องของพิกัดจุดถ่ายภาพ			
3	ความยาวโฟกัส			
4	จำนวนพิกเซลของกล้องถ่ายภาพ			
5	ขนาดเซนเซอร์			
6	ประเภทชัตเตอร์			
จุดควบคุมภาพถ่าย				
1	จำนวนจุดควบคุมภาพถ่าย			
2	รูปร่างของจุดควบคุมภาพถ่าย			
3	ขนาดของจุดควบคุมภาพถ่าย			
4	ความถูกต้องเชิงตำแหน่งของจุดควบคุมภาพ			

ตารางที่ 11.2 ตารางแสดงตัวอย่างรายการตรวจสอบผลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม

รายการตรวจสอบผลการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม				
ลำดับ	เกณฑ์การพิจารณา	ผลการตรวจสอบ		หมายเหตุ
		ผ่าน	ไม่ผ่าน	
คุณภาพของภาพถ่าย				
1	ภาพมีความคมชัด			
2	ภาพมีสีเป็นไปตามจริง			
3	ภาพมีความสว่างสม่ำเสมอ			
การประมวลผลภาพถ่าย				
1	ภาพถ่ายที่นำมาประมวลผลสามารถวัดสอบได้ทุกภาพ			
2	ค่าความถูกต้องของ Tie Point ไม่เกิน 1 พิกเซล			
3	ค่าความถูกต้องของการรังวัดจุดควบคุมภาพถ่ายไม่เกิน 2 พิกเซล			
4	ค่า Reprojection Error ไม่เกิน 0.3 พิกเซล			
5	ความละเอียดของ True Orthophoto ไม่น้อยกว่า 1 เท่าของ GSD			
ข้อมูลเชิงตำแหน่ง				

**84 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
เพื่องานวิศวกรรม**

1	True Orthophoto มีความคมชัด และไม่ ผิดปกติกินกว่าการนำไปใช้งาน			
2	พอยท์คลาวด์มีรายละเอียดที่ชัดเจนและเกาะ กลุ่มไปตามลักษณะพื้นที่			

ฉบับเทคนิคพิจารณา

บทที่ 12

เอกสารและข้อมูลที่ส่งมอบ

12.1 บทนำ

เมื่อทำการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับแล้วเสร็จ ผู้ว่าจ้างจะต้องได้รับข้อมูลที่ผลิตจากการสำรวจ และตรวจสอบข้อมูลได้ตามที่กล่าวไว้ในบทที่ 11

12.2 การส่งมอบข้อมูล

ผลลัพธ์ที่ได้จากการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม ได้แก่ ภาพออร์โธจีนิก ข้อมูลพอยท์คลาวด์ และแบบจำลองความสูงภูมิประเทศ นอกจากนี้จะต้องนำส่งข้อมูลต้นฉบับที่ใช้ในการผลิต ได้แก่ ภาพถ่ายทางอากาศ ข้อมูลจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบ

12.2.1. รูปแบบข้อมูลดิจิทัลที่ส่งมอบ

ข้อมูลดิจิทัลที่ส่งมอบประกอบด้วย

- | | |
|--|-----------------------|
| 1. ภาพถ่ายทางอากาศ | นามสกุล jpeg หรือ raw |
| 2. ข้อมูลจุดควบคุมภาพถ่ายและจุดตรวจสอบ | นามสกุล csv หรือ xls |
| 3. True Orthophoto | นามสกุล geotiff |
| 4. แบบจำลองความสูงภูมิประเทศ | นามสกุล geotiff |
| 5. ข้อมูลพอยท์คลาวด์ | นามสกุล las |
| 6. บันทึกข้อมูลการประมวลผล (log file) | นามสกุล txt |
| 7. รายงานการประมวลผลภาพถ่าย | นามสกุล pdf |

* หมายเหตุ สำหรับข้อมูลที่ต้องส่งมอบและสกุลไฟล์ในการส่งมอบข้อมูล ผู้ปฏิบัติงานสามารถเปลี่ยนแปลงตามความเหมาะสมหรือข้อตกลงในการปฏิบัติงาน

12.2.2. เอกสารที่ส่งมอบ

86 | มาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ เพื่องานวิศวกรรม

เอกสารที่ส่งมอบเมื่อดำเนินการสำรวจแล้วเสร็จ ได้แก่ รายงานฉบับสมบูรณ์ โดยเนื้อหาที่สำคัญต่อการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ จะต้องประกอบด้วยรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. แผนการดำเนินงาน และแผนการบินสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับ
2. ขั้นตอนการดำเนินงานภายในโครงการ
3. แผนที่ภาพรวมโครงการที่แสดงตำแหน่งจุดควบคุมภาพถ่าย
4. รายการแสดงการรังวัดจุดควบคุมภาพ และจุดตรวจสอบ
5. รายการแสดงผลการประมวลผลภาพถ่าย

ฉบับเทคนิคพิจารณา