

# Photogrammetric Computer Vision (PCV): UAV mapping



**Thirawat Bannakulpiphat & Phisan Santitamnont**

Department of Survey Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: [thirawat.bannakulpiphat@gmail.com](mailto:thirawat.bannakulpiphat@gmail.com) and [phisan.chula@gmail.com](mailto:phisan.chula@gmail.com)

February 1, 2023  
13.00 – 16.00 PM

- 
1. Photogrammetry 101
  2. UAV platform
  3. Flight planning and Ground control design
  4. UAV PPK vs RTK
  5. UAV Photogrammetric Processing
  6. UAV Applications

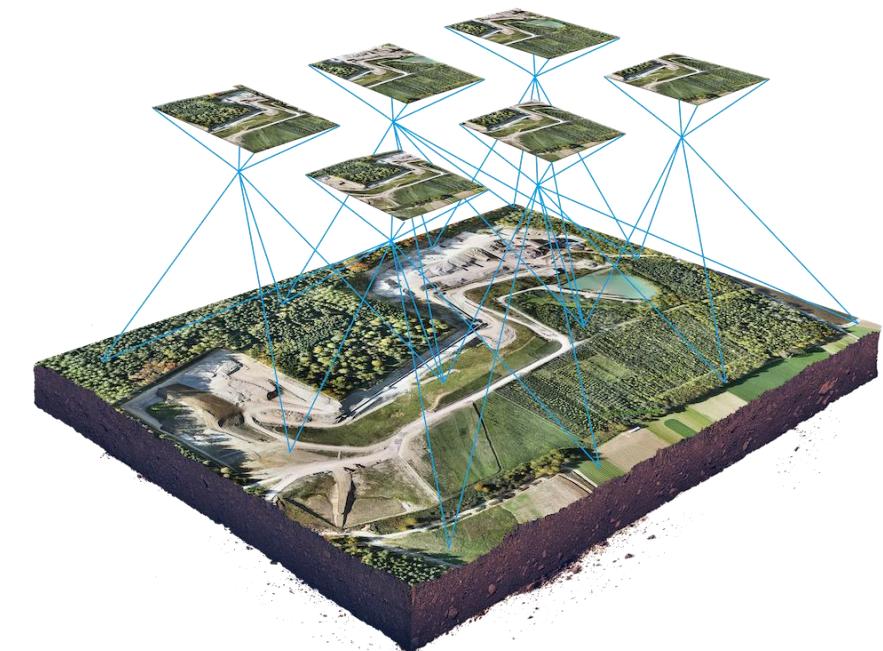


# Photogrammetry 101

- เป็นศาสตร์และเทคโนโลยีหนึ่งสำหรับการสำรวจรังวัดเพื่อทำแผนที่และสร้างข้อมูลภูมิสารสนเทศ
- การรังวัดด้วยภาพจะใช้ภาพเป็นสื่อกลางในการรังวัดภาพ โดยภาพจะบันทึกสิ่งปักคุณและสิ่งที่ปรากฏทางกายภาพบนพื้นผิวภูมิประเทศตามลักษณะของการใช้ที่ดิน อาทิ อาณาบริเวณ หรือวัตถุที่สนใจ
- ภาพของสิ่งเหล่านี้จะไปปรากฏในลักษณะแบบจำลองตามหลักการฉายของแสงด้วยวิธีทางกลไกเชิงทัศนหรือเชิงคณิตศาสตร์ทำให้สามารถจำลองสถานการณ์เมื่อนานมาตั้งแต่บันทึกภาพได้

*Photogrammetry and Remote Sensing is the art, science, and technology of obtaining reliable information from non-contact imaging and other sensor systems about the Earth and its environment, and other physical objects and processes through recording, measuring, analyzing and representation.*

- International Society for Photogrammetry and Remote Sensing (ISPRS) -



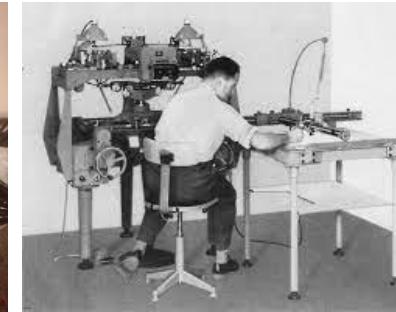
## Early Developments

- ยังไม่ค่อยมีเครื่องมือที่ใช้ในการรังวัด
- มีการทำงานในมุมมอง perspective (มุมมองไกล้/ใกล้)
- มีการถ่ายภาพทางอากาศครั้งแรกติดกล้องที่บลลุน (ข้อเสีย: แก่วงไปมา)
- มีการใช้คำว่า photogrammetry ครั้งแรก



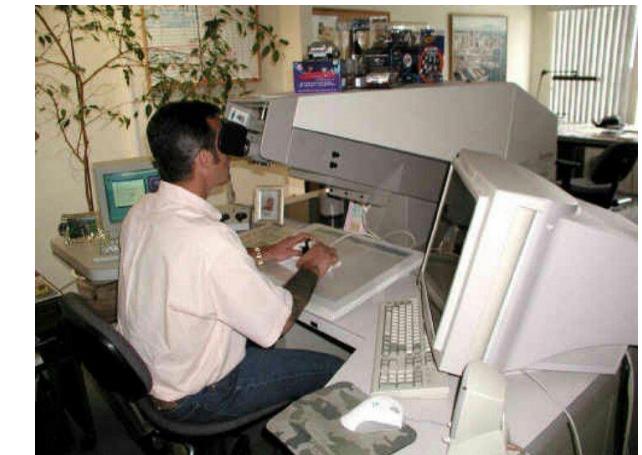
## Analogue photogrammetry

- มีการใช้เครื่องมือ Stereo Comparator และ Analog Plotter
- มีการรังวัดบนแผ่นฟิล์มและมีการใช้ภาพถ่ายกระดาษ และเริ่มมีการตีความภาพถ่าย
- มีการพัฒนาติดกล้องไปกับเครื่องบินและเรือ海 (ข้อดี: บังคับทิศทางได้)
- มีการต่อตั้ง ISPRS / ASP



## Analytical photogrammetry

- เริ่มมีการนำคอมพิวเตอร์เข้ามาใช้ในการประมวลผล
- เริ่มมีการคำนวณค่าพารามิเตอร์ต่าง ๆ บางอย่างที่เกี่ยวข้อง และเริ่มใช้ระบบพิกัด
- มีการใช้เครื่องมือ Analytical Stereo plotter



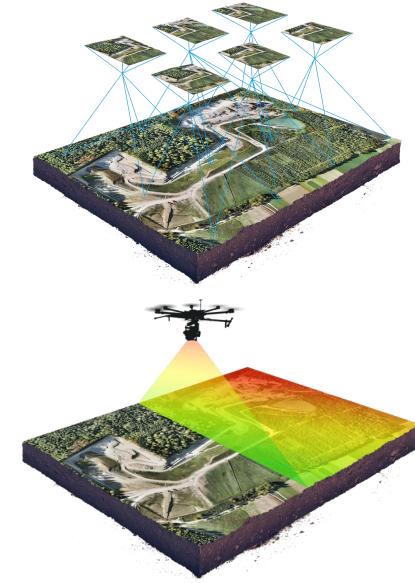
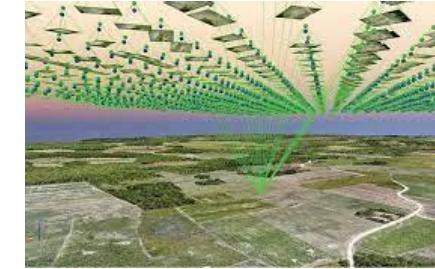
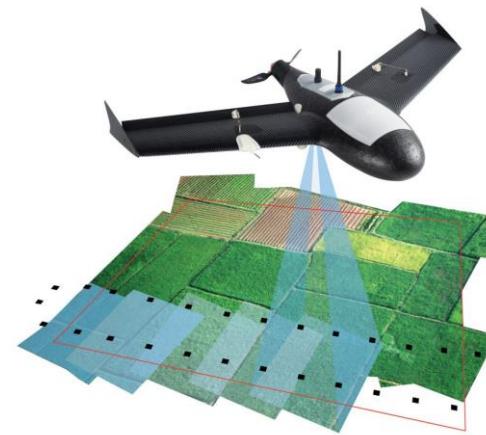
## Digital photogrammetry

## Photogrammetry and Computer Vision (PCV)

- ใช้คอมพิวเตอร์ในการประมวลผลเกือบทุกอย่าง
- ไม่มีการใช้ภาพฟิล์ม
- มีการใช้กล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิตอล



- มีการพัฒนาการอย่างก้าวกระโดดทางด้าน Computer Vision
- มีการนำเทคโนโลยี อากาศยานไร้คนขับ มาประยุกต์ใช้ในการทำแผนที่
- ทำให้เกิดการนำไปประยุกต์ใช้หลายแขนง เช่น ทางด้านการเกษตร ทางด้านการขนส่ง เป็นต้น
- มีการส่งเสริมและจัดทำ 3D Mapping (Metaverse / Digital Twin)

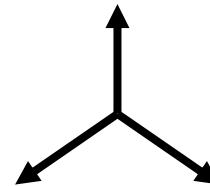


- สำหรับการรังวัดด้วยภาพถ่ายแล้ว แบบจำลองของเซนเซอร์ (กล้อง) คือ ความสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ระหว่างจุดบนพื้นดินของวัตถุที่เราสนใจกับจุดของวัตถุนั้นบนภาพถ่าย

**Interior Orientation    Exterior Orientation**

$$\begin{array}{c} x, y_0, f, \\ \quad \quad \quad X_0, Y_0, Z_0, \omega, \varphi, \kappa \end{array}$$

พารามิเตอร์ของภาพถ่าย  
(Image parameter)

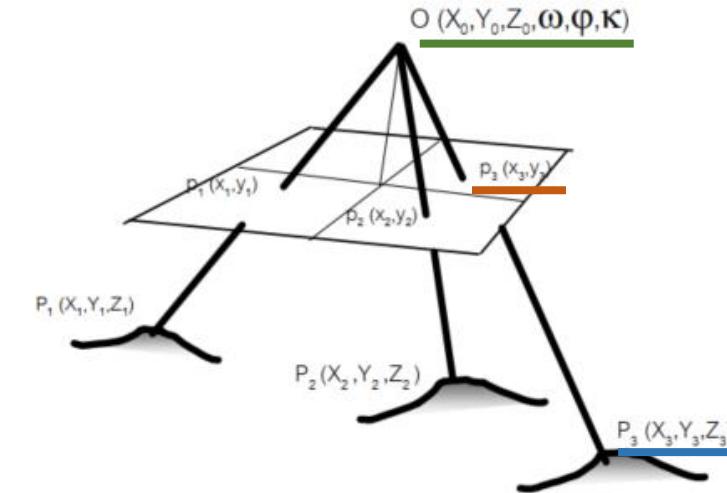


พิกัดภาพถ่าย  
(Image coordinate)

$$x_i, y_i$$

พิกัดบนพื้นดิน  
(Ground coordinate)

$$X_i, Y_i, Z_i$$

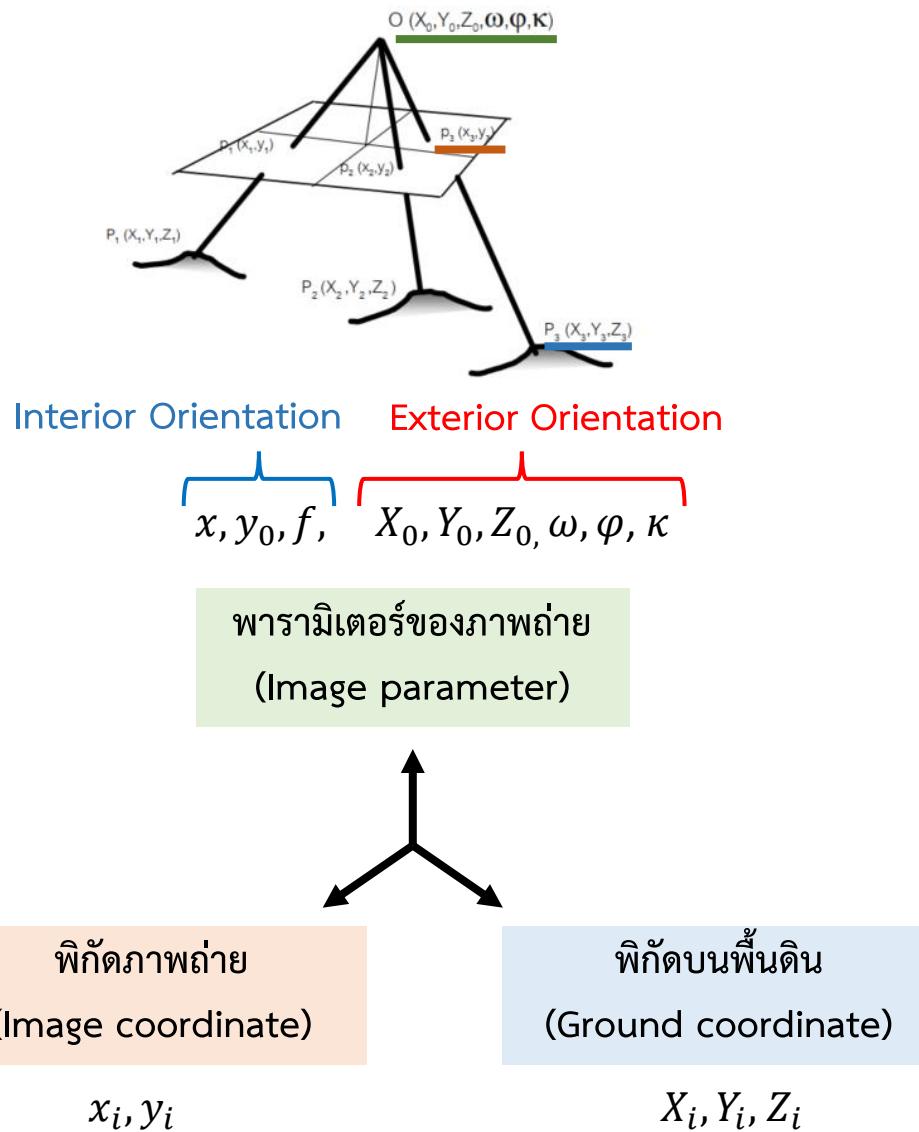


Collinearity Equation \*\*\* Conventional Photogrammetry \*\*\*

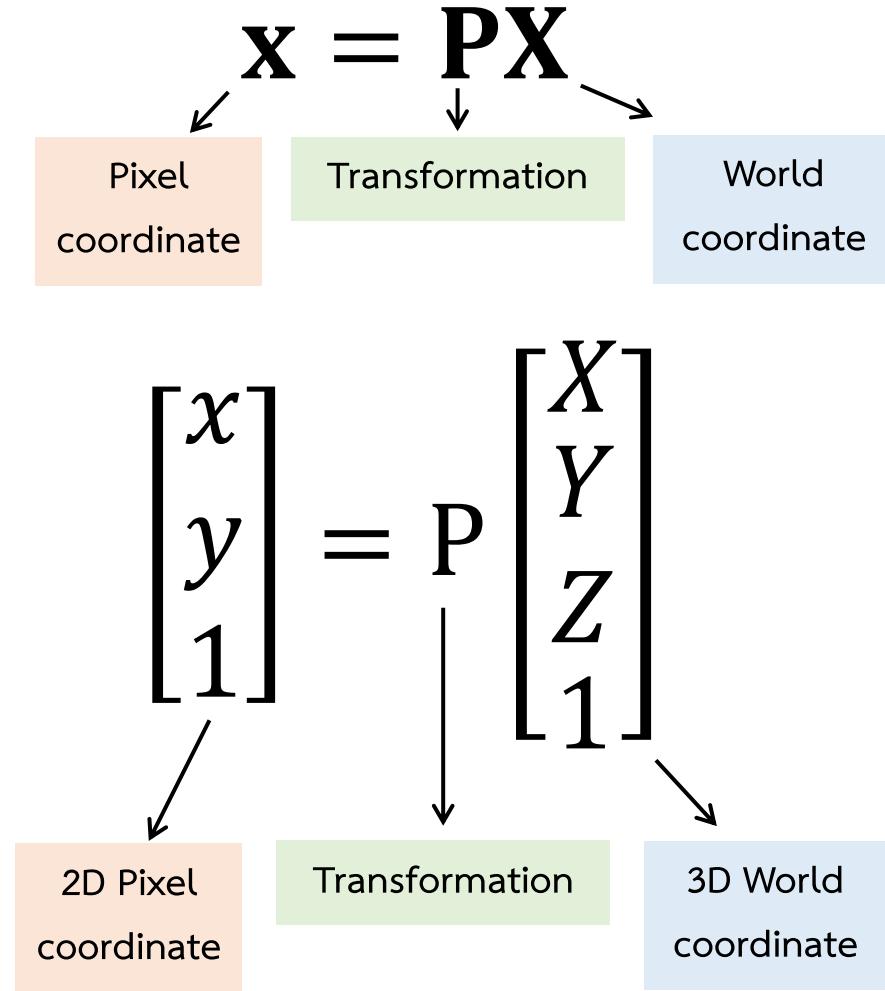
$$x_i = x_o - f \frac{[a_{11}(X_i - X_0) + a_{12}(Y_i - Y_0) + a_{13}(Z_i - Z_0)]}{[a_{31}(X_i - X_0) + a_{32}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)]}$$

$$y_i = y_o - f \frac{[a_{21}(X_i - X_0) + a_{22}(Y_i - Y_0) + a_{23}(Z_i - Z_0)]}{[a_{31}(X_i - X_0) + a_{32}(Y_i - Y_0) + a_{33}(Z_i - Z_0)]}$$

สมบัลสิทธิ์  $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{32}, a_{33}$  คำนวนมาจาก  $\omega, \varphi, \kappa$



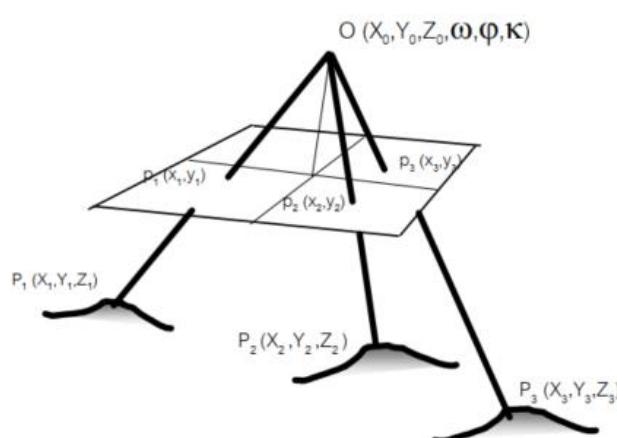
\*\*\* Modern Photogrammetry or PCV\*\*\*



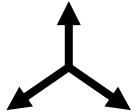
# แบบจำลองของเซนเซอร์และแบบจำลองทางคณิตศาสตร์ (ต่อ)

จากการสัมพันธ์ทางคณิตศาสตร์ที่ได้จะถูกนำไปใช้การคำนวณ

1. Single Photo Resection (การวัดย้อนสำหรับภาพถ่ายเดียว) : คำนวณเพื่อหาค่าพารามิเตอร์ของภาพหนึ่งรูป
2. Two Photo Intersection (การเลึงสักดีภาพคู่) : คำนวณเพื่อต้องการหาค่าพิกัดของจุดบนพื้นดิน
3. Aerial Triangulation (ข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ) : คำนวณหาพารามิเตอร์การจัดภาพภายนอกของทุกรูป จะปรับแก้ด้วยวิธี Bundle Block Adjustment (BBA)

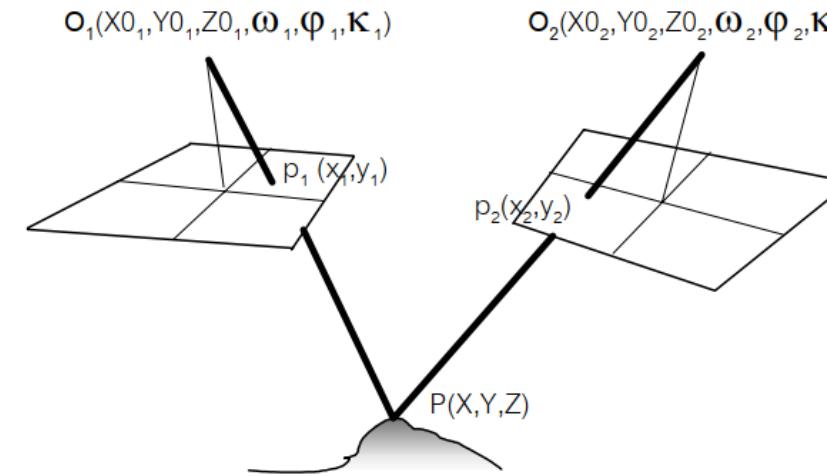


พารามิเตอร์ของภาพถ่าย  
(Image parameter)



พิกัดภาพถ่าย  
(Image coordinate)

พิกัดบนพื้นดิน  
(Ground coordinate)

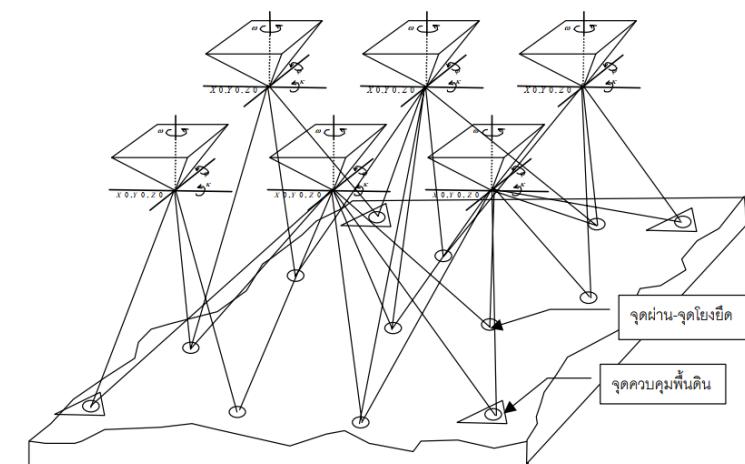


พารามิเตอร์ของภาพถ่าย  
(Image parameter)



พิกัดภาพถ่าย  
(Image coordinate)

พิกัดบนพื้นดิน  
(Ground coordinate)



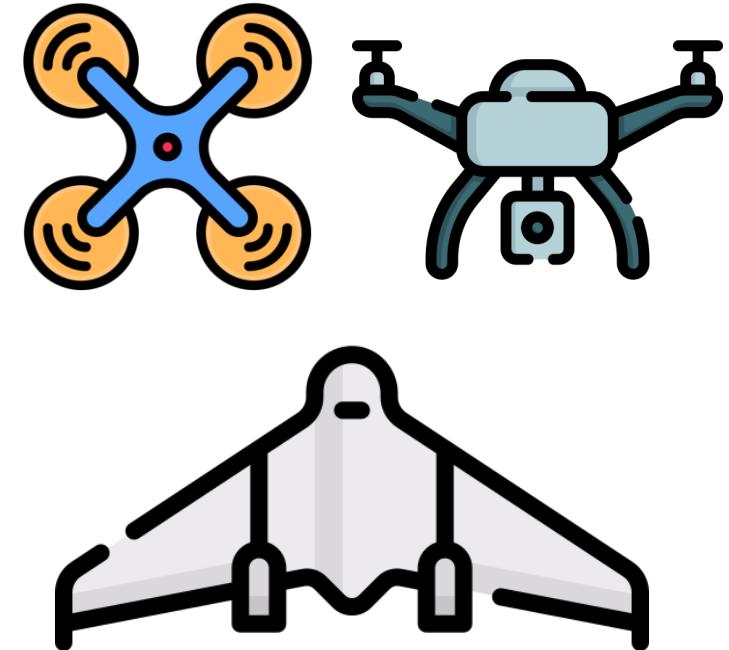
พารามิเตอร์ของภาพถ่าย  
(Image parameter)



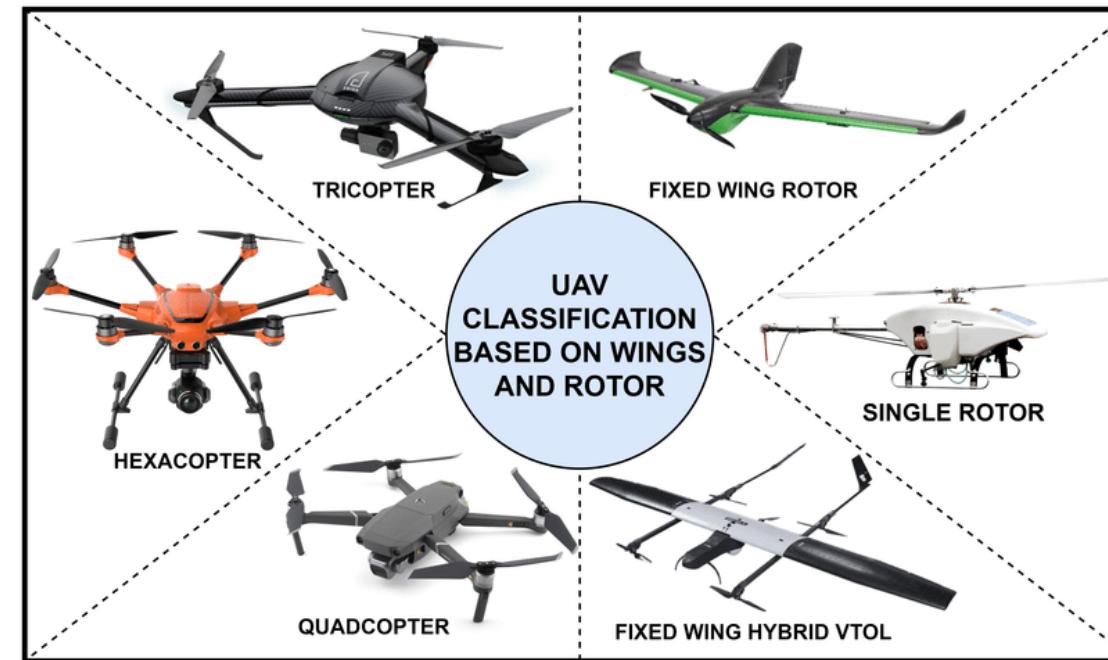
พิกัดภาพถ่าย  
(Image coordinate)

พิกัดบนพื้นดิน  
(Ground coordinate)

# UAV Platform



- UAV (Unmanned Aerial Vehicle), อากาศยานไร้คนขับ, ยูเอวี, โดรน
- บางครั้งเรียกว่า UAS (Unmanned Aircraft Systems)
- คือ อากาศยานที่ไม่มีนักบินประจำการอยู่บนเครื่อง ซึ่งเป็นอากาศยานที่ไม่ต้องใช้ คนขับหรือนักบินภายในเครื่อง แต่สามารถควบคุมได้ โดยในปัจจุบันได้มีการนำ อากาศยานไร้คนขับมาประยุกต์ใช้ในการบันทึกภาพถ่ายเพื่อนำมาประมวลผลในด้านของ Photogrammetry



แบ่งตามมาตรฐานการสำรวจด้วยอากาศยานไร้คนขับเพื่องานวิศวกรรม แบ่งออกเป็น 4 ประเภท

1. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึง (Fixed Wing)
2. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน (Multirotor)
3. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว (Single-Rotor Helicopter)
4. อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตรึงขึ้นลงแนวตั้ง (Fixed-Wing Hybrid)



ประเภทของอากาศยานไร้คนขับ	ข้อดี	ข้อเสีย
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตึง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ระยะเวลาในการบินได้นาน</li> <li>ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง</li> <li>บินด้วยความเร็วสูง</li> <li>ทนต่อแรงลม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้พื้นที่ขึ้นลงมาก</li> <li>ราคาสูง</li> <li>ใช้งานยาก</li> </ul>
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุน	<ul style="list-style-type: none"> <li>ง่ายต่อการใช้งาน</li> <li>ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย</li> <li>ราคาถูก</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>บินช้า</li> <li>ระยะเวลาในการบินน้อย</li> </ul>
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกหมุนเดี่ยว	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย</li> <li>ระยะเวลาในการบินได้นาน</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ราคาสูง</li> <li>ใช้งานยาก</li> </ul>
อากาศยานไร้คนขับชนิดปีกตึงขึ้นลงแนวตั้ง	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้พื้นที่ขึ้นลงน้อย</li> <li>ระยะเวลาในการบินได้นาน</li> <li>ครอบคลุมพื้นที่ได้กว้าง</li> <li>บินด้วยความเร็วสูงทนต่อแรงลม</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ราคาสูง</li> <li>ใช้งานยาก</li> </ul>

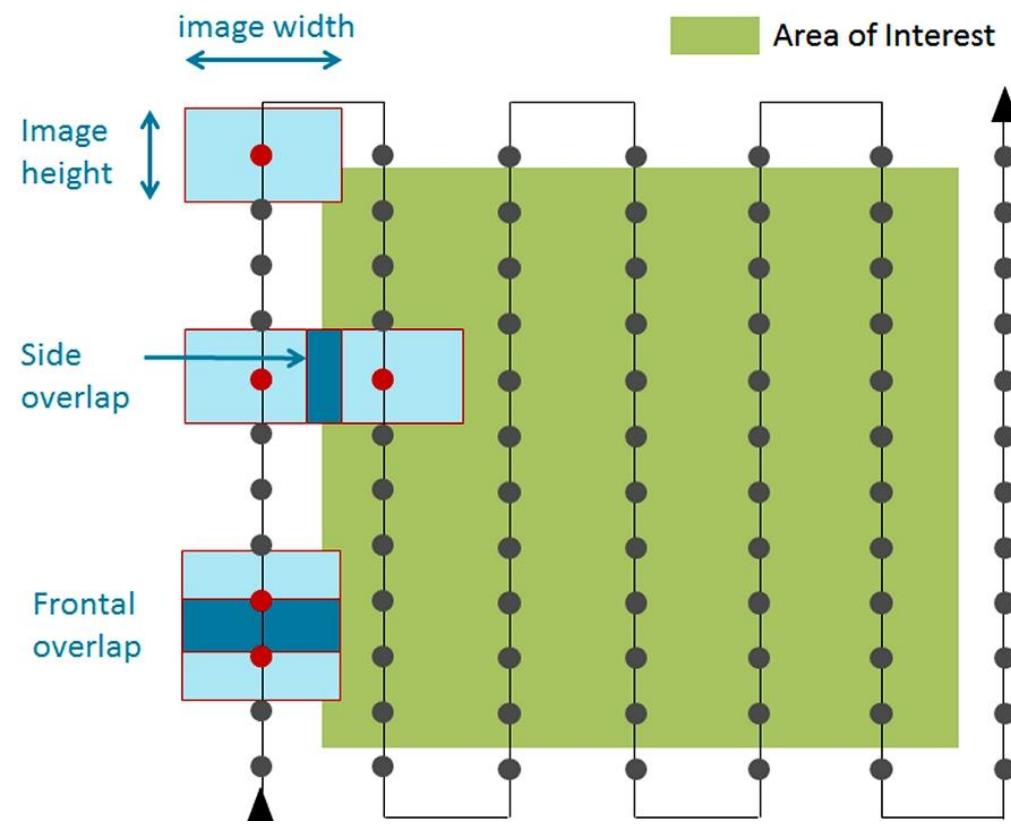
# Flight planning and Ground control design



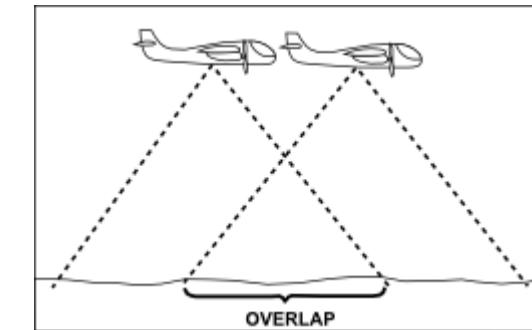
## รูปแบบการบิน

UAV : ในแนวบิน  $p = 80\%$  ระหว่างแนวบิน  $q = 65\%$

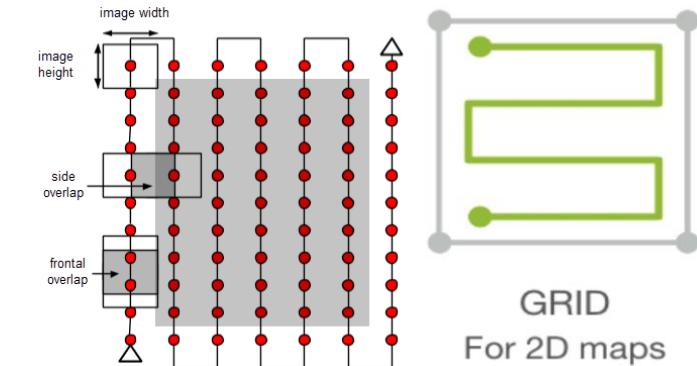
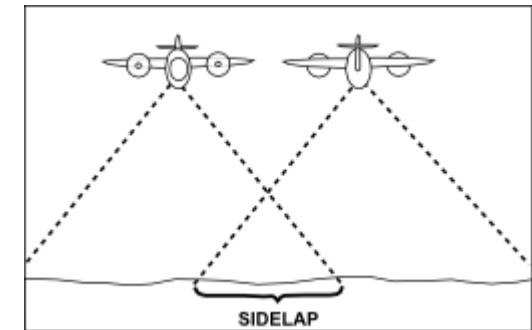
ปกติ : ในแนวบิน  $p = 60\%$  ระหว่างแนวบิน  $q = 25\%$



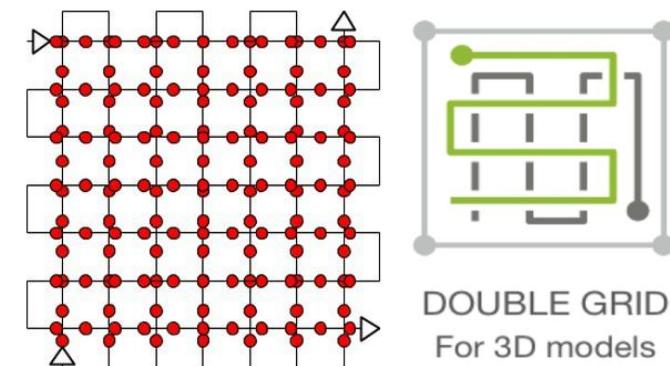
ค่า  $p$  คือ ค่า Overlap



ค่า  $q$  คือ ค่า Side lap



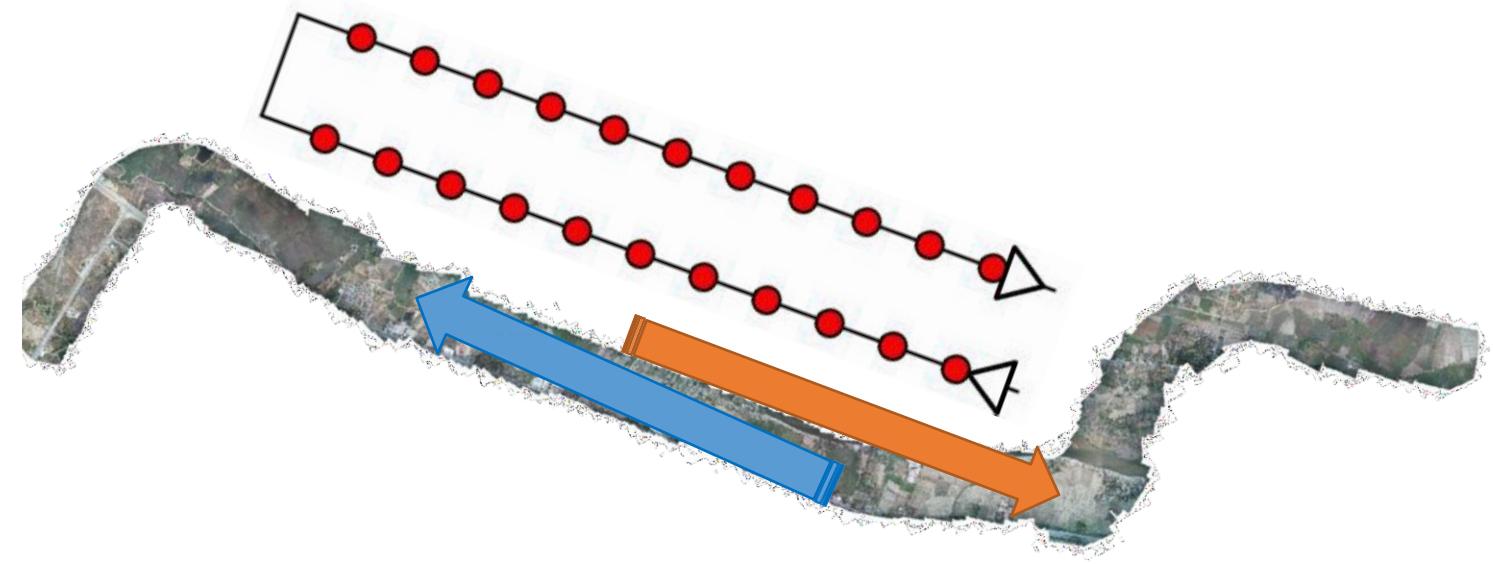
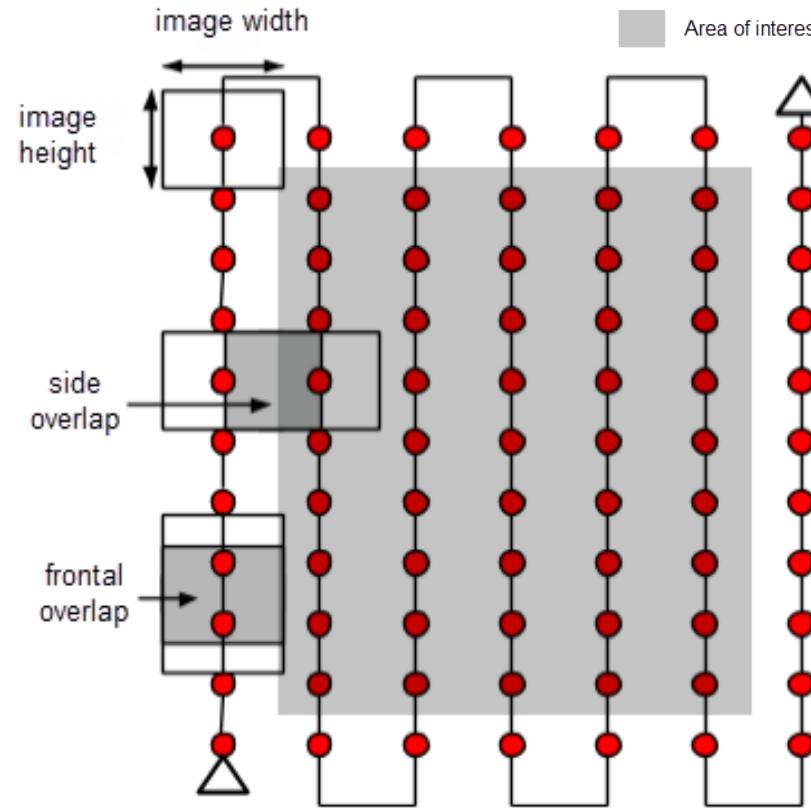
Single Strip



Cross Strip

พิจารณาพื้นที่ที่ต้องการที่ทำบิน แบ่งออกเป็น 2 ลักษณะ

1. พื้นที่การบินเป็นบล็อก (Area) เช่น พื้นที่สี่เหลี่ยม
2. พื้นที่การบินเป็นแนวยาว (Corridor) เช่น พื้นที่แนวถนน, แนวสายส่ง เป็นต้น

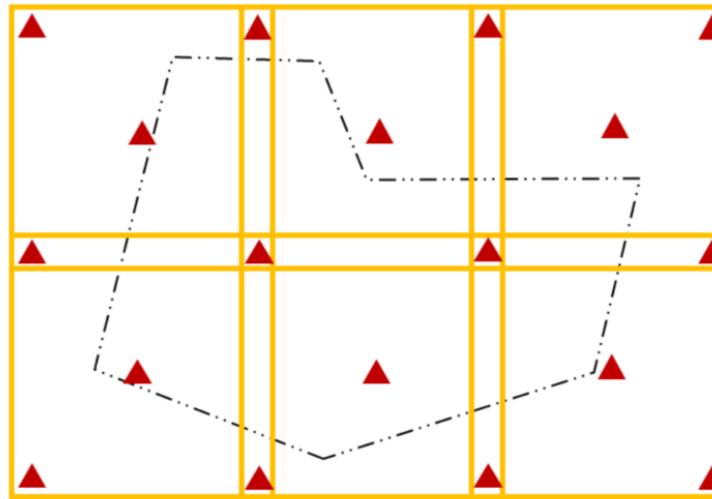


- บินสำรวจตามแนวเส้นทาง Session ละไม่เกิน 40 กิโลเมตร
- ความกว้างแนวสำรวจ 200 – 350 เมตร บินไป-กลับ

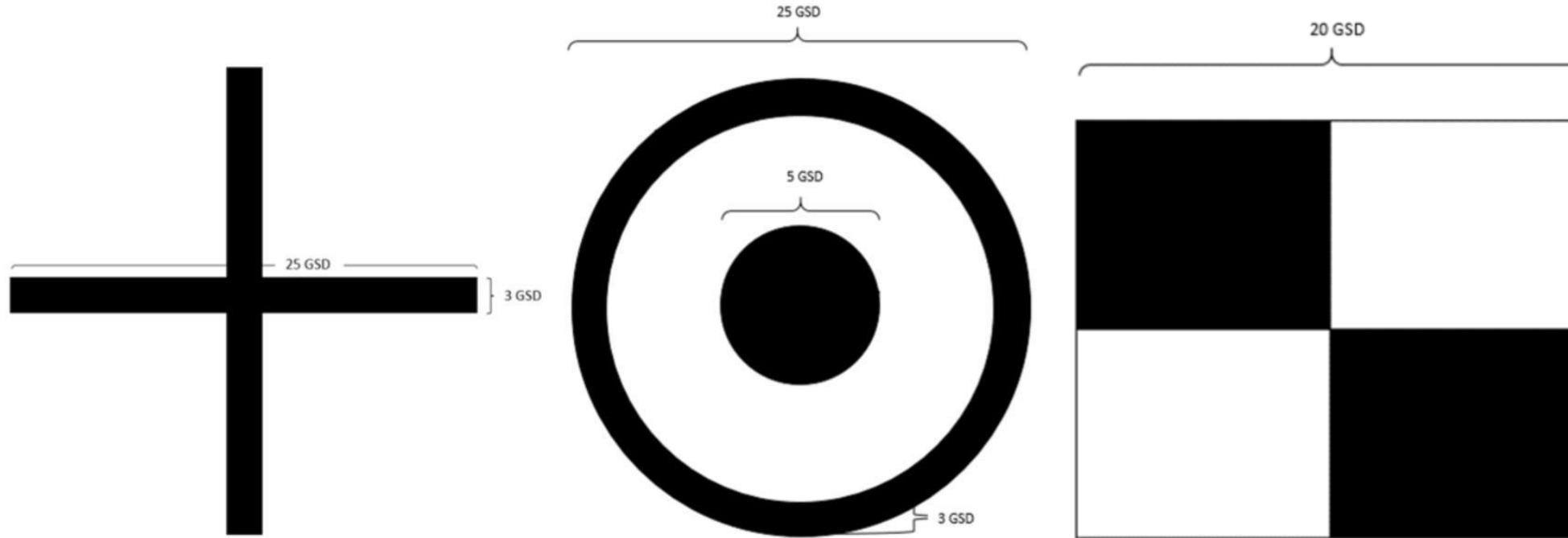
การสำรวจด้วยภาพถ่ายจากอากาศยานไร้คนขับจำเป็นจะต้องใช้จุดควบคุมภาพถ่ายเพื่อประเมินผล ปรับแก้ และคำนวณค่าองค์ประกอบภายนอกของภาพ ค่าการวางแผนตัวของภาพถ่าย ดังนั้นจุดควบคุมภาพถ่าย จะต้องมีความถูกต้องเชิงตำแหน่ง และมีปริมาณการกระจายตัวอย่างเพียงพอครอบคลุมทั้งโครงการ

ในการประเมินผลข้อมูลภาพถ่าย จุดควบคุมภาพพื้นดินจะถูกแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

- จุดควบคุมภาพพื้นดิน (Ground Control Points : GCPs)
- จุดตรวจสอบ (Check Points : CPs)



จุดควบคุมภาพถ่ายที่ดีจะต้องมองเห็นและสามารถรังวัดได้บนภาพถ่าย และสามารถหมายตำแหน่งจุดกึ่งกลางของจุดควบคุมภาพถ่ายได้ โดยจุดควบคุมภาพถ่ายต้องมีสีตัดกับพื้นของภูมิประเทศโดยรอบซึ่งมีรูปแบบ เช่น รูปกาลาก รูปวงกลม รูปสี่เหลี่ยม



GSD (Ground Sampling Distance) : ระยะพื้นที่ต่อพิกเซล หน่วย เซนติเมตรต่อพิกเซล

## การติดตั้งเป้า GCPs/CPs

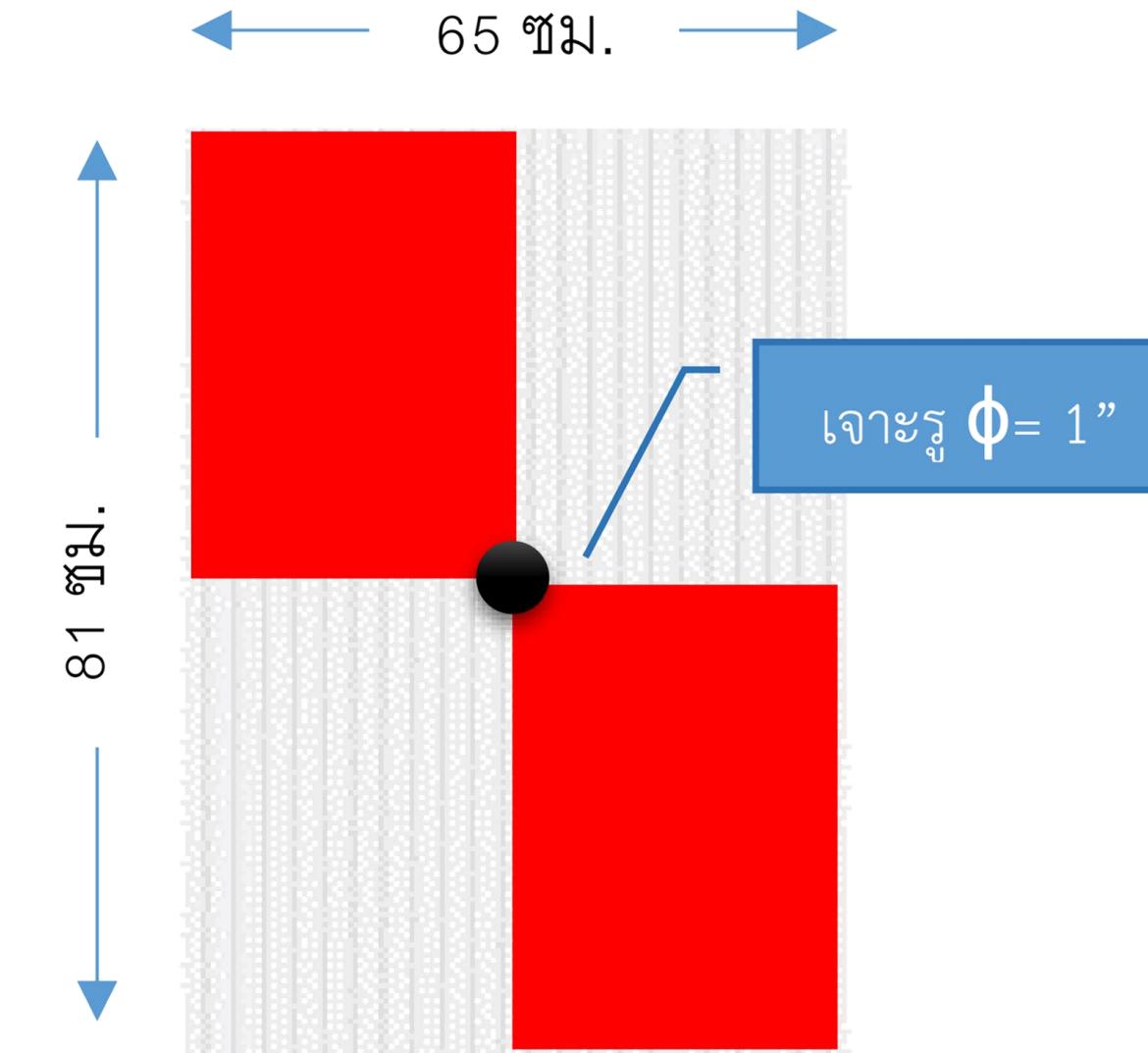
- GSD@5 cm.
- แผ่นพีเจอร์บอร์ด (ไซส์มาตรฐาน)
- ใช้การรังวัดรูปแบบ RTK

โดยที่ Rover -> Base << 5 กม

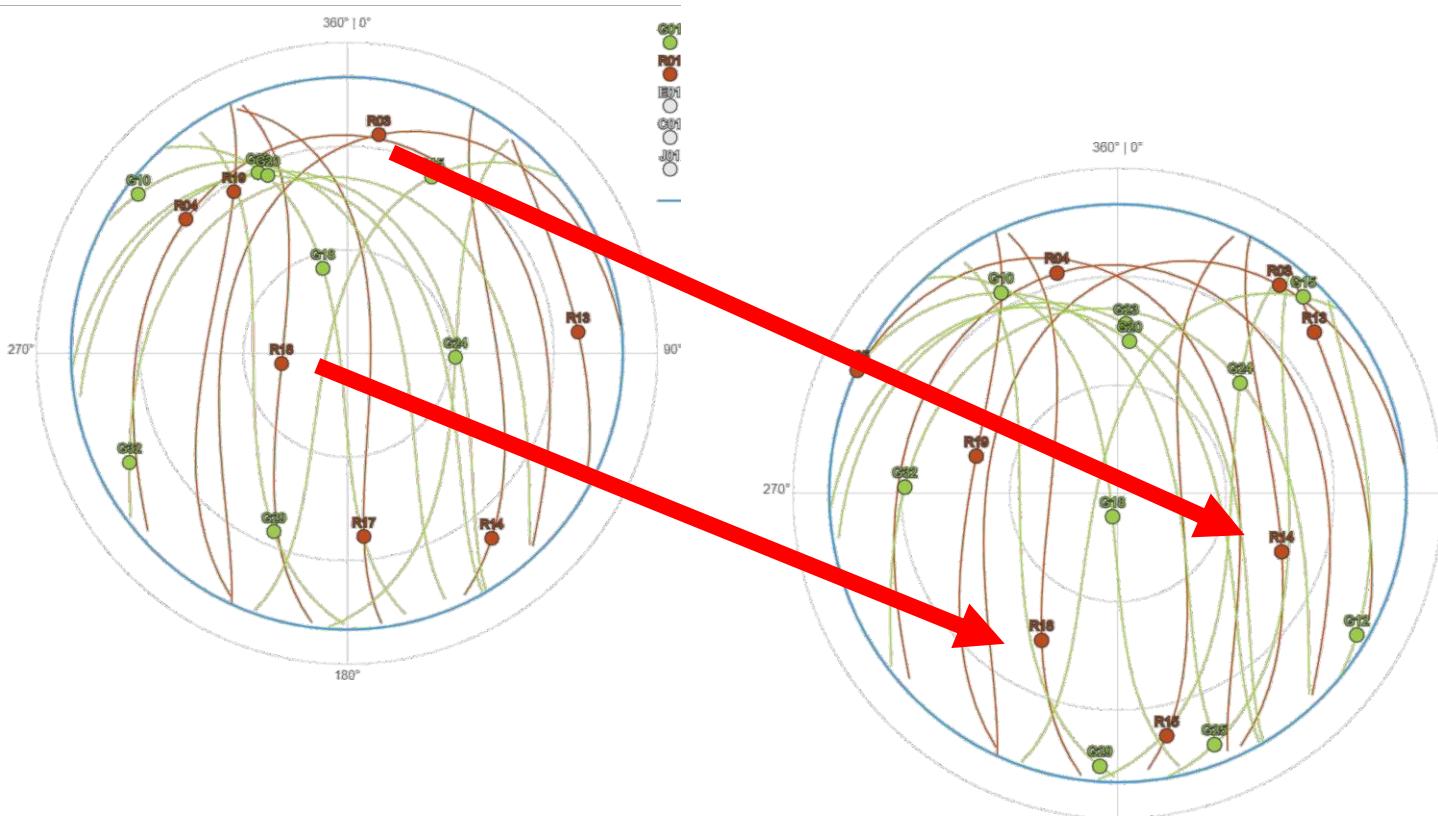
$$\sigma_{hor} = \pm 2 \text{ cm}$$

$$\sigma_{ver} = \pm 5 \text{ cm}$$

- ตอกหมุดบนพื้น
- ทำการรังวัด RTK ออพิกัด (สองรอบห่างกัน 3 ซม.)



เรขาคณิตของดาวเทียมเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง



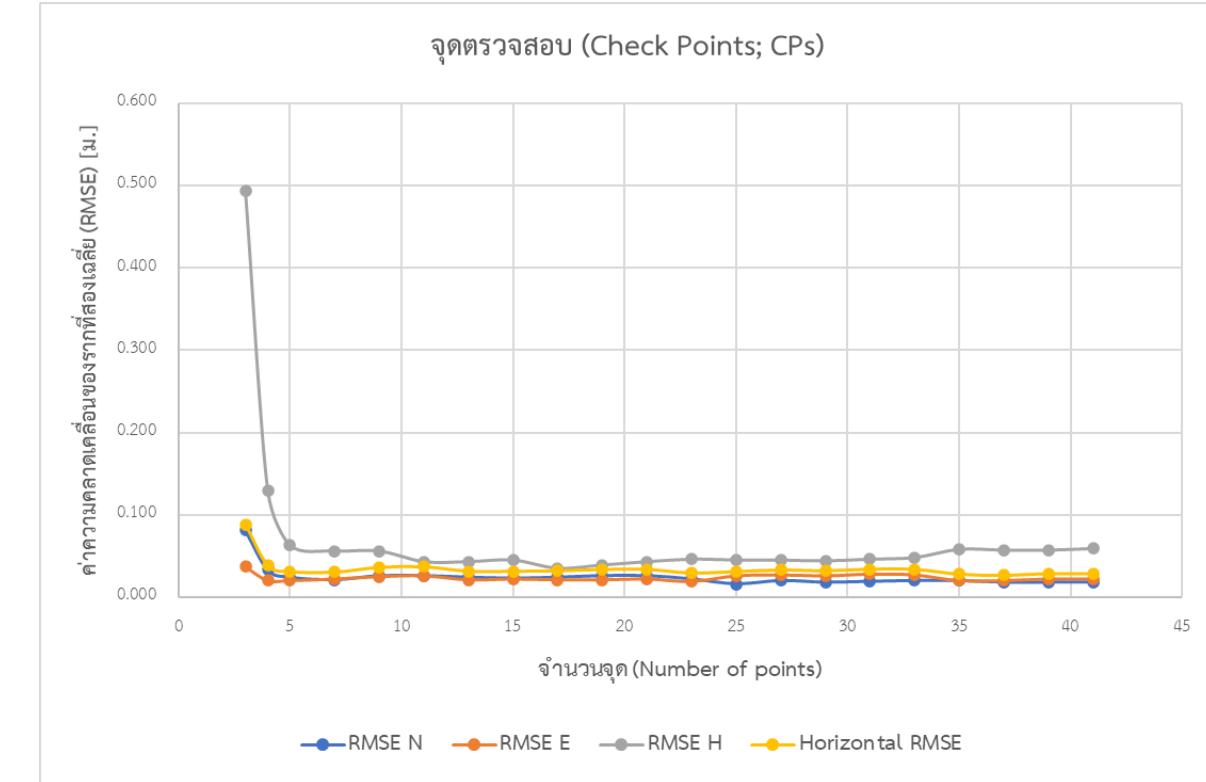
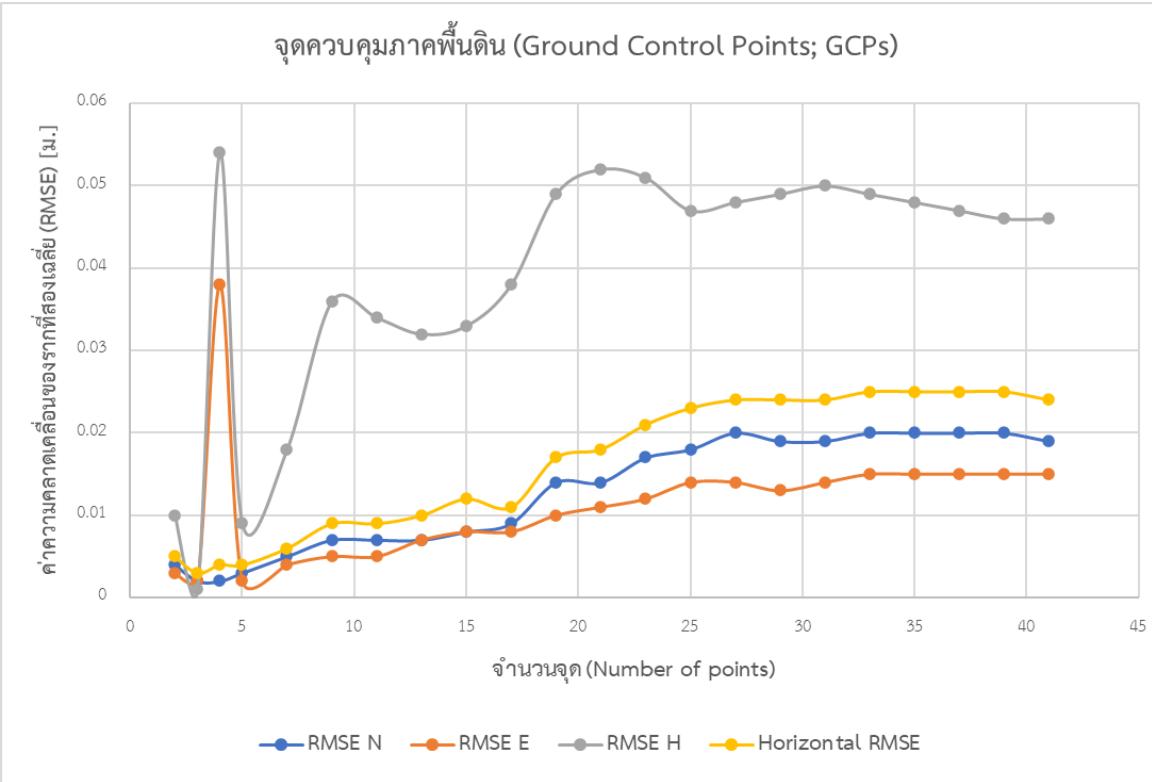
สรุปการรังวัด RTK สำหรับ GCP/CHK สำหรับยูเอวีเพื่อการทำแผนที่

โครงการ .....	.....
ชื่อบล็อกภาพ :	จ.ด.บ.
Base.Stn :	หมายเลข .....
Rover :	หมายเลข .....
ระยะทาง กลางบล็อก ถึง Base.Sta: ..... กม. ( < 5 กม. )	RTK Solution : [ ] Float [ ] Fixed

ผลการรังวัด 2 รอบ ( เดินวนครั้งละ 2-3 หมุด รังวัดห่างกัน อย่างน้อย 20 นาที )

ลำดับ	Average [m]			[mm]	Difference (mm)			
	East.	North.	MSL		Offset	East	North.	MSL
1								
2								
2								

การรังวัด RTK 2 รอบ  
ควรทิ้งช่วงเวลาสัก 3 ชั่วโมง



จากการวิจัยภายใต้โครงงานทางวิศวกรรมสำรวจสำหรับนิสิตวิศวกรรุ่นปัจจุบันที่ได้ทดสอบปริมาณจุดบังคับภาพขั้นต่ำสำหรับลักษณะภาพถ่ายทางอากาศทำแผนที่ขนาดน้อยกว่า 1 ตารางกิโลเมตรพบว่าจำนวนจุดบังคับภาพถ่ายที่เหมาะสมที่สุดคือ 5 จุด ซึ่งจะทำให้ความคลาดเคลื่อนข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศมีค่าขนาดที่เล็กลงโดยประเมินจากจุดบังคับภาพและจุดตรวจสอบ

Tiptepin, N. A study of the efficacy of ground control points and checkpoints for 3D mapping from UAV. Survey Engineering Project, Chulalongkorn University, 2017.



## วิศวกรรมสารฉบับวิจัยและพัฒนา

Engineering Journal of Research and Development

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

ปีที่ 34 ฉบับที่ 1 มกราคม-มีนาคม 2566

Volume 34 Issue 1 January-March 2023

Received 17 June 2022

Revised 7 July 2022

Accepted 22 December 2022

### แนวปฏิบัติที่เป็นเลิศในการประมวลผลเพื่อผลิตข้อมูลแผนที่จากภาพถ่ายด้วยยูเอวี

### BEST PRACTICE FOR MAPPING PRODUCTION FROM UAV IMAGERY

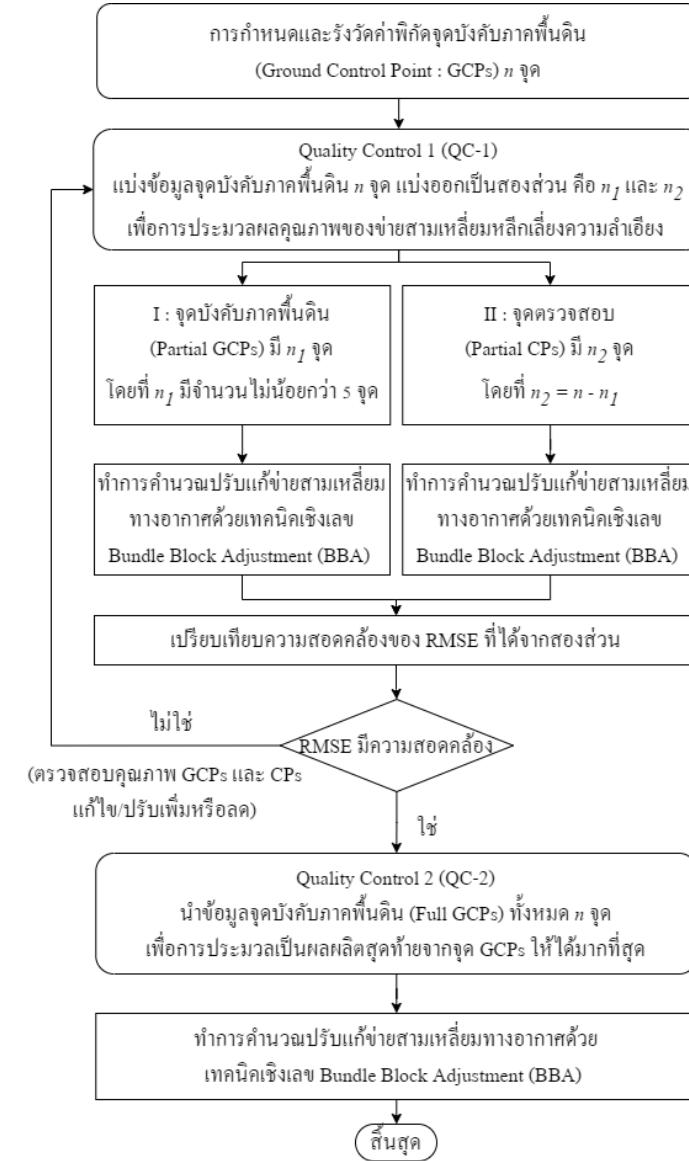
ธิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์<sup>1\*</sup>, ไพบูล สันติธรรมนนท์<sup>2,3</sup>, ธีรรักษ์ มนีนาถ<sup>3</sup> และวีระชัย วงศ์วีระนินิตร<sup>3</sup>

<sup>1</sup> นิสิตปริญญาโท, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

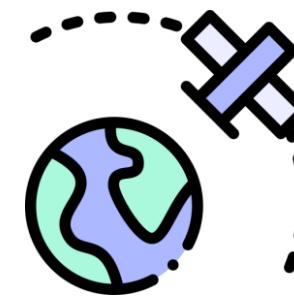
<sup>2</sup> รองศาสตราจารย์, สาขาวิศวกรรมสำรวจ คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย,

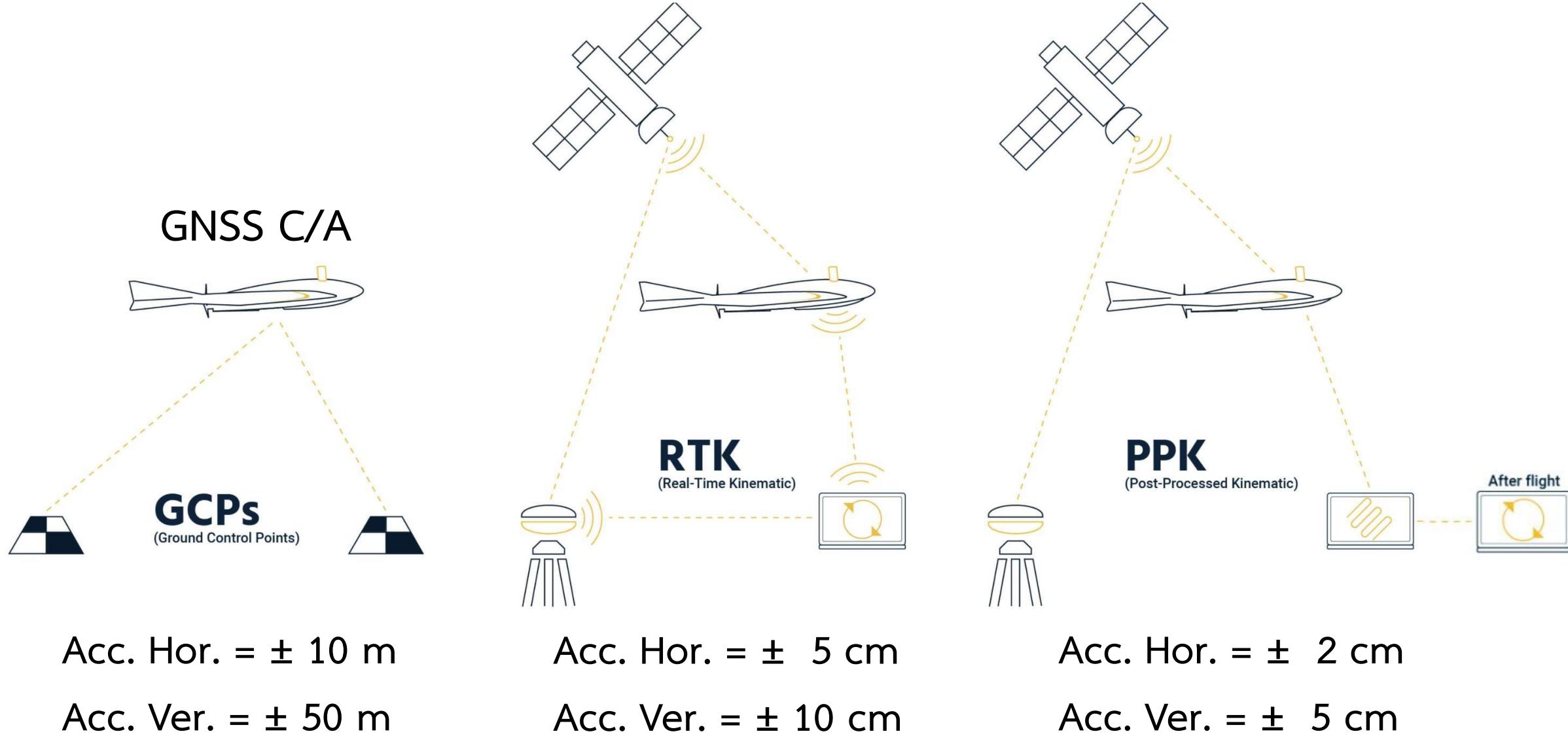
<sup>3</sup> วิศวกรอาชุโส, ศูนย์เขียวชัยภูมิทางด้านการจัดการ โครงการสร้างพื้นฐาน คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

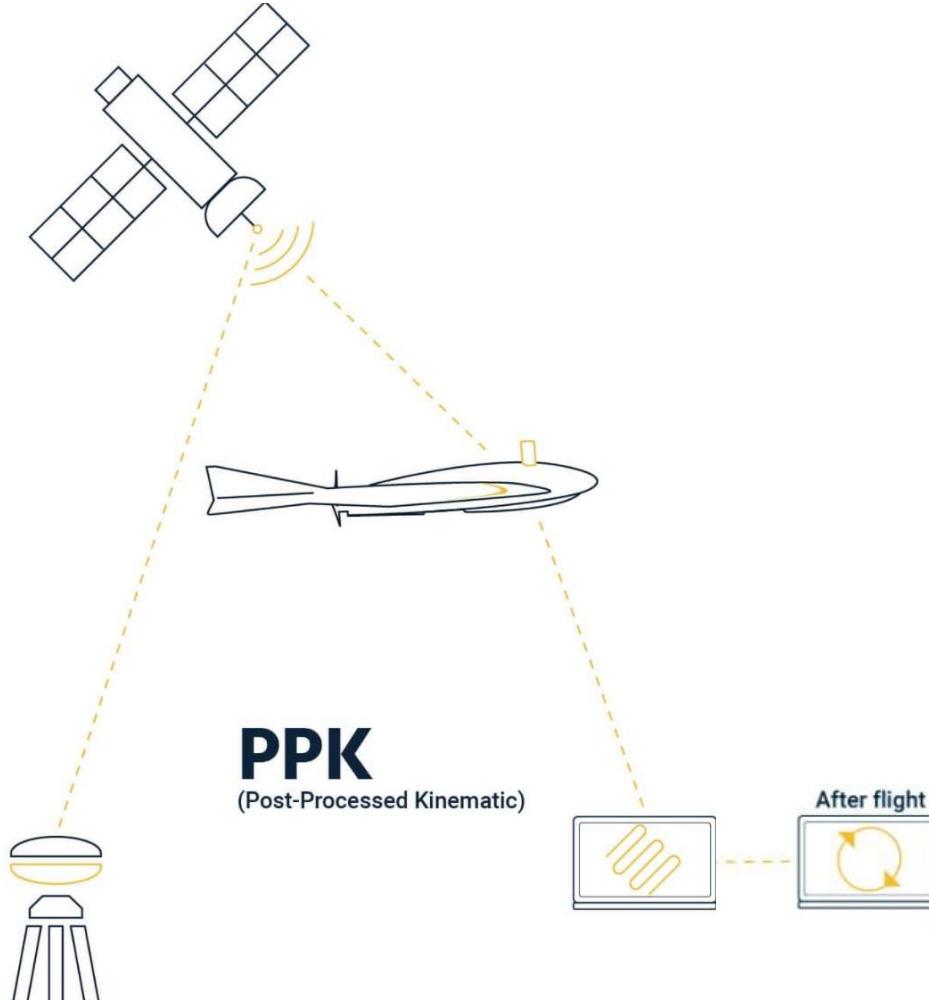
\*Corresponding author, E-Mail: thirawat.bannakulpiphat@gmail.com



# UAV PPK vs RTK



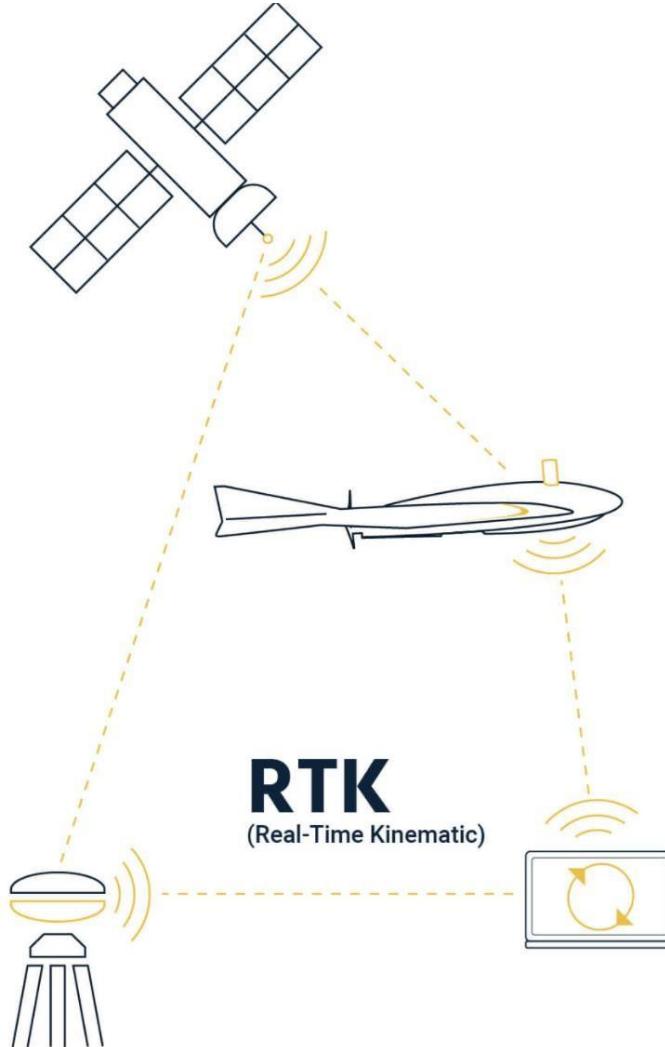




ประกอบไปด้วย 3 องค์ประกอบ คือ

1. สถานีฐาน (Base station)
2. อุปกรณ์บันทึกข้อมูลดาวเทียมบนอากาศยาน (Rover: GNSS RINEX)
3. ภาพถ่ายด้วยอากาศยานไร้คนขับ (Image)

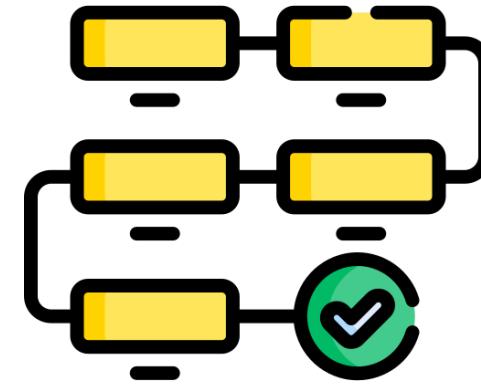
- โดยข้อมูล GNSS RINEX จากสถานีฐานและอากาศยานจะต้องมีช่วงเวลาทำซ้อนทับกัน (โดยไม่ต้องเชื่อมต่อกันในขณะปฏิบัติบินถ่ายภาพ)
- หลังจากนำข้อมูลมาประมวลผล ตำแหน่งของภาพถ่ายจะถูกปรับแก้โดยอ้างอิงจากสถานีฐาน
- โดยมี Timestamp เป็นตัวกลางในการปรับแก้ตำแหน่ง
- วิธีนี้จะทำให้ตำแหน่งภาพถ่ายมีการปรับแก้และลดความคลาดเคลื่อนลง (ระดับเซนติเมตร)



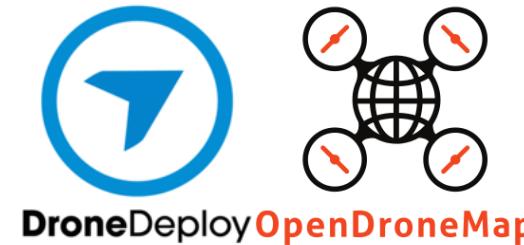
- คือ การปรับแก้ด้านตัวแทนงในขณะที่บินสำรวจถ่ายภาพ
- โดยมีองค์ประกอบเหมือน PPK แต่แตกต่างกัน คือ การปรับแก้ตัวแทนงถ่ายภาพจะทำขณะถ่ายภาพทันที
- วิธินี้จะต้องมีสถานีฐานที่เชื่อมต่อกับอากาศยานไร้คนขับตลอดเวลาที่บินสำรวจโดยจะใช้คลื่นวิทยุในการเชื่อมต่อ หรือใช้ซิมโทรศัพท์
- วิธินี้จะทำให้ตัวแทนงภาพถ่ายลดความคลาดเคลื่อนลง (ระดับเซนติเมตร)

	GCP	RTK	PPK
ข้อดี	<ul style="list-style-type: none"> <li>เป็นที่รู้จักและเชื่อถือได้มากที่สุด</li> <li>ให้ความแม่นยำสูง</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะไม่ต้องให้ทีมงานไปกำหนดจุด GCPs</li> <li>ช่วยประหยัดเวลาเมื่อเปรียบเทียบกับ GCP ทำให้กระบวนการมีประสิทธิผลและ ประสิทธิผลมากขึ้น</li> <li>ไม่จำเป็นต้องมีการประมวลผลภายหลัง GNSS มีการส่งค่าแก้ทันทีขณะสำรวจ</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>มีความปลอดภัยมากขึ้น เพราะไม่ต้องให้ทีมงานไปกำหนดจุด GCPs</li> <li>เชื่อถือได้มากกว่า RTK เพราะไม่ขึ้นอยู่กับความแรงของสัญญาณหรือข้อมูล GNSS จากสถานีฐานในแบบเรียลไทม์</li> <li>ตัวโดรนไม่จำเป็นต้องเชื่อมต่อสัญญาณกับสถานีฐาน (GNSS Base Station)</li> </ul>
ข้อเสีย	<ul style="list-style-type: none"> <li>อาจใช้เวลาตั้งค่านานกว่า เมื่อเทียบกับ RTK และ PPK</li> <li>อาจต้องใช้ทีมงาน อาจเป็นอันตรายได้ในบางสภาพแวดล้อม</li> <li>ต้องใช้อุปกรณ์เพิ่มเติม ได้แก่ GPS Rover, GPS Base, สีสเปรย์และเป้าหมาย</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ไม่ได้นำมาใช้อย่างง่ายดาย เนื่องจากขึ้นกับเทคโนโลยีหลายอย่าง</li> <li>ต้องใช้สถานีฐาน อุปกรณ์พิเศษ และการเชื่อมต่อที่สม่ำเสมอเพื่อประมวลผลข้อมูลแบบเรียลไทม์</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>ใช้เวลาเพิ่มเติมในการประมวลผลข้อมูลตำแหน่ง หลังจากทำการบินแล้ว</li> <li>เกิดข้อผิดพลาดได้ง่าย ซึ่งอาจทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงทางพิกัดตำแหน่งหรือความแม่นยำในผลลัพธ์ของโครงการ</li> </ul>

# UAV Photogrammetric Processing

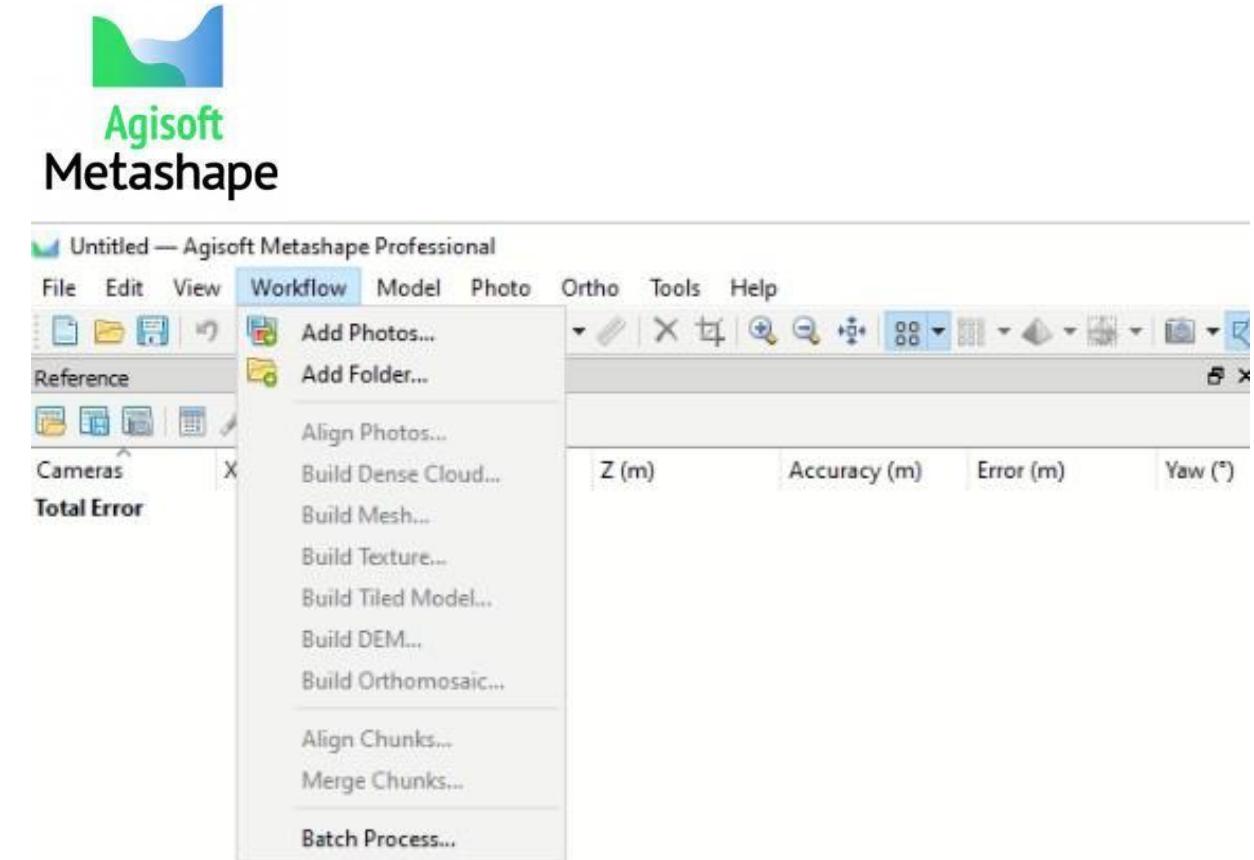
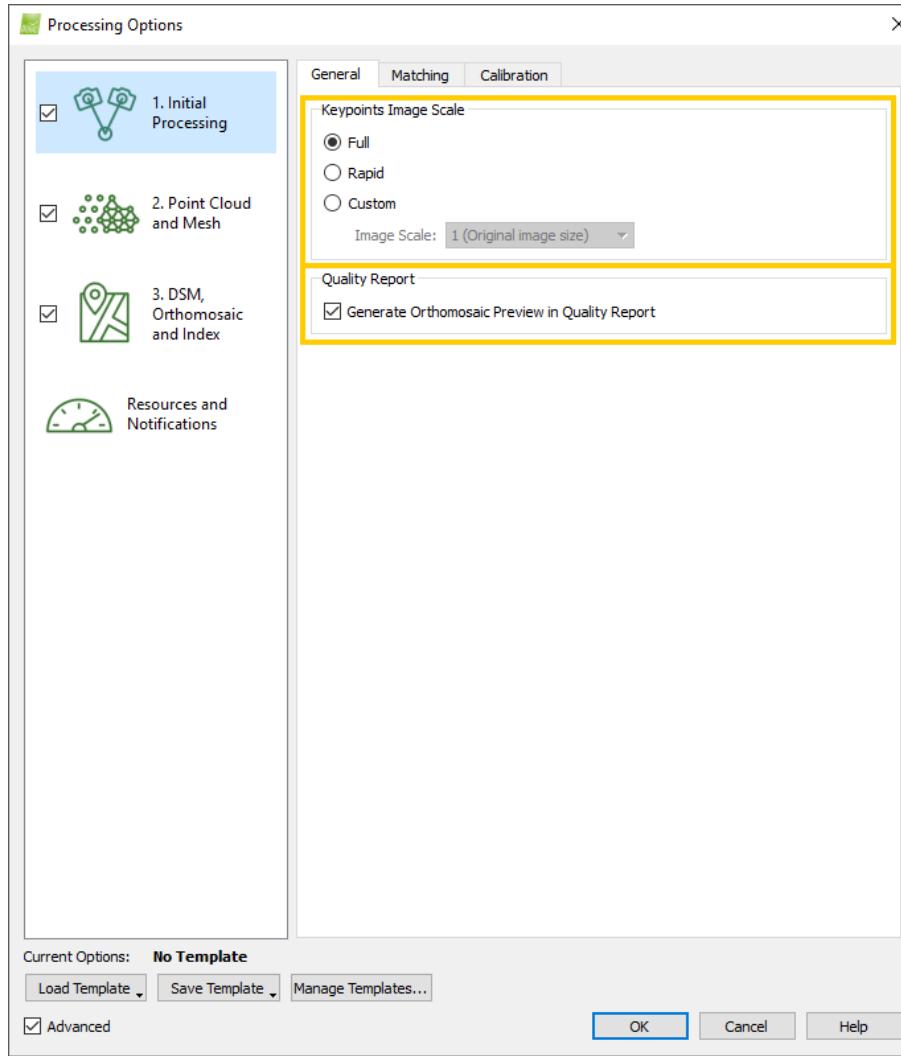


การประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายทางอากาศจะประมวลผลผ่านโปรแกรมทางด้านโพโตแกรมที่คำนวณความสัมพันธ์ระหว่างพิกัดภาพถ่าย และแบบจำลองของกล้องถ่ายภาพเชื่อมโยงไปยังค่าพิกัดจุดควบคุมภาพบนพื้นดินที่ปรากฏเด่นชัดในรูปลักษณ์ของจุดสำคัญและจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มีการรังวัดค่าพิกัดภาคพื้นดินที่แม่นยำกระบวนการทางคณิตศาสตร์ที่สร้างขึ้นจะถูกปรับปรุงค่า (Optimize) จนมีค่าเศษเหลือรวมน้อยที่สุดด้วยเทคนิค Least square adjustment computation และการประยุกต์ใช้การเพิ่มประสิทธิภาพการปรับปรุงแบบจำลองทางคณิตศาสตร์สำหรับล็อกของภาพถ่ายทางอากาศที่เรียกว่า Bundle Block Adjustment (BBA) ซึ่งซอฟต์แวร์สำหรับการประมวลผลในปัจจุบัน มีหลากหลายยี่ห้อให้ผู้ใช้งานเลือกใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่าย



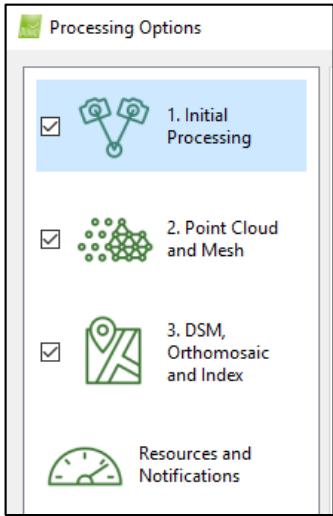
# ซอฟต์แวร์ประมวลสำหรับย่อที่นิยมใช้ในปัจจุบัน

Page | 30





PIX4Dmapper



ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายสำหรับโปรแกรม PIX4Dmapper ประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน

## ขั้นตอนที่ 1 การคำนวนปรับแก้ล็อกกล้าแสง (Bundle Block Adjustment)

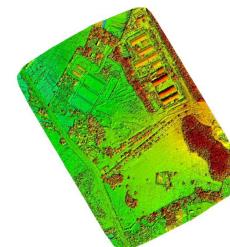
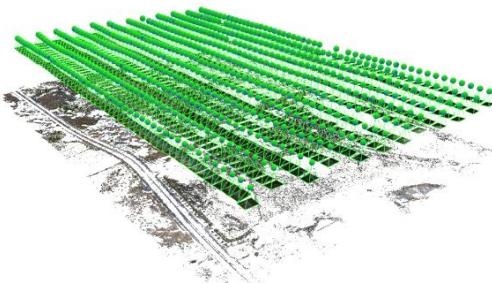
เป็นการคำนวนโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งจะเป็นการคำนวนหาค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก รวมถึงมีการวัดสอบค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเลนส์ด้วยกระบวนการวัดสอบด้วยตัวเอง (Self-calibration) ในขั้นตอนนี้ด้วย โดยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ขั้นจะมีการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Automatic Tie points ผ่านการสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญที่เปรียบเสมือนจุดโยงยืดบนภาพถ่ายที่เป็นสองมิติ ซึ่งจะมีการโยงยืดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินเข้าไปด้วยในการควบคุมคุณภาพค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง

## ขั้นตอนที่ 2 การผลิตข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Dense Cloud Generation)

เป็นขั้นตอนในการสร้างข้อมูลพื้นผิวที่แสดงลักษณะของรูปร่างในพื้นที่ โดยเป็นการเพิ่มจำนวนจุดโยงยืดช่วยให้ข้อมูลมีองค์ประกอบรอบรายละเอียดหนาแน่นมากขึ้น และช่วยให้ค่าความถูกต้องเชิงเรขาคณิตที่แม่นยำ ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประมวลผลสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศขั้นต่อไป

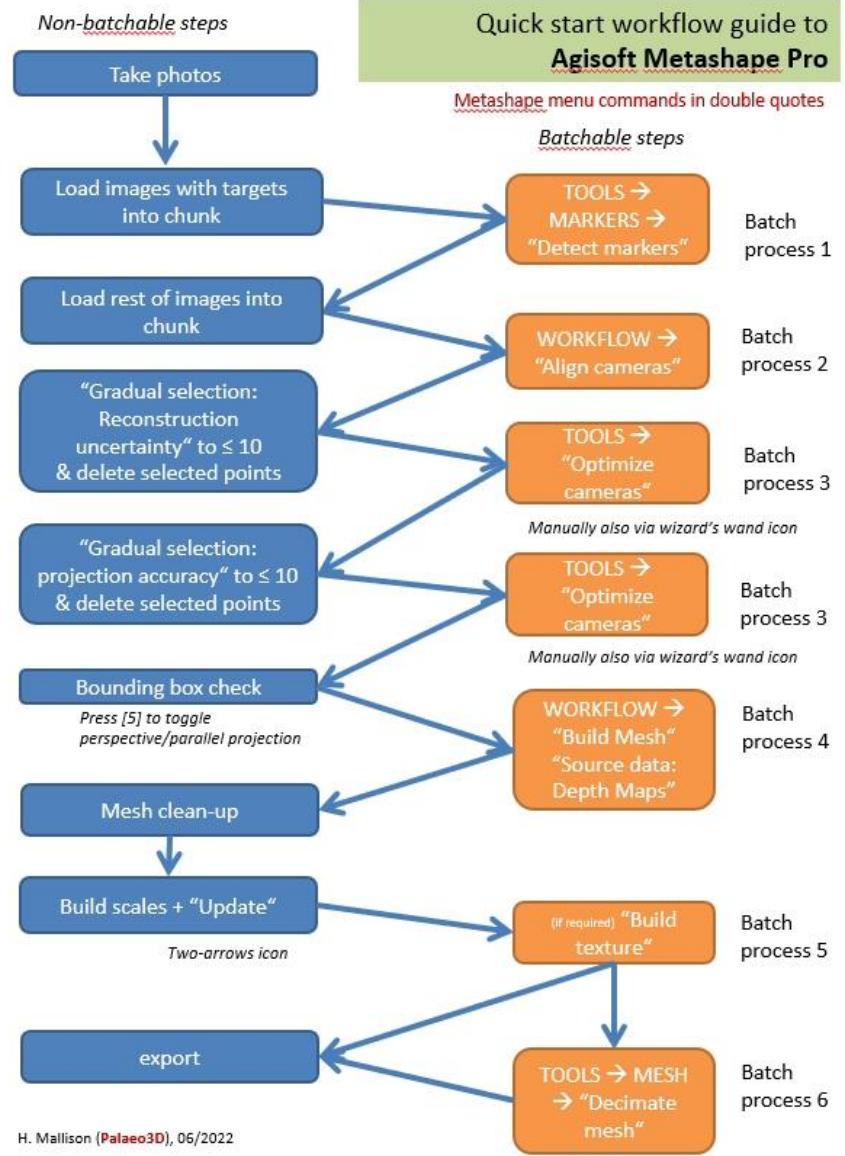
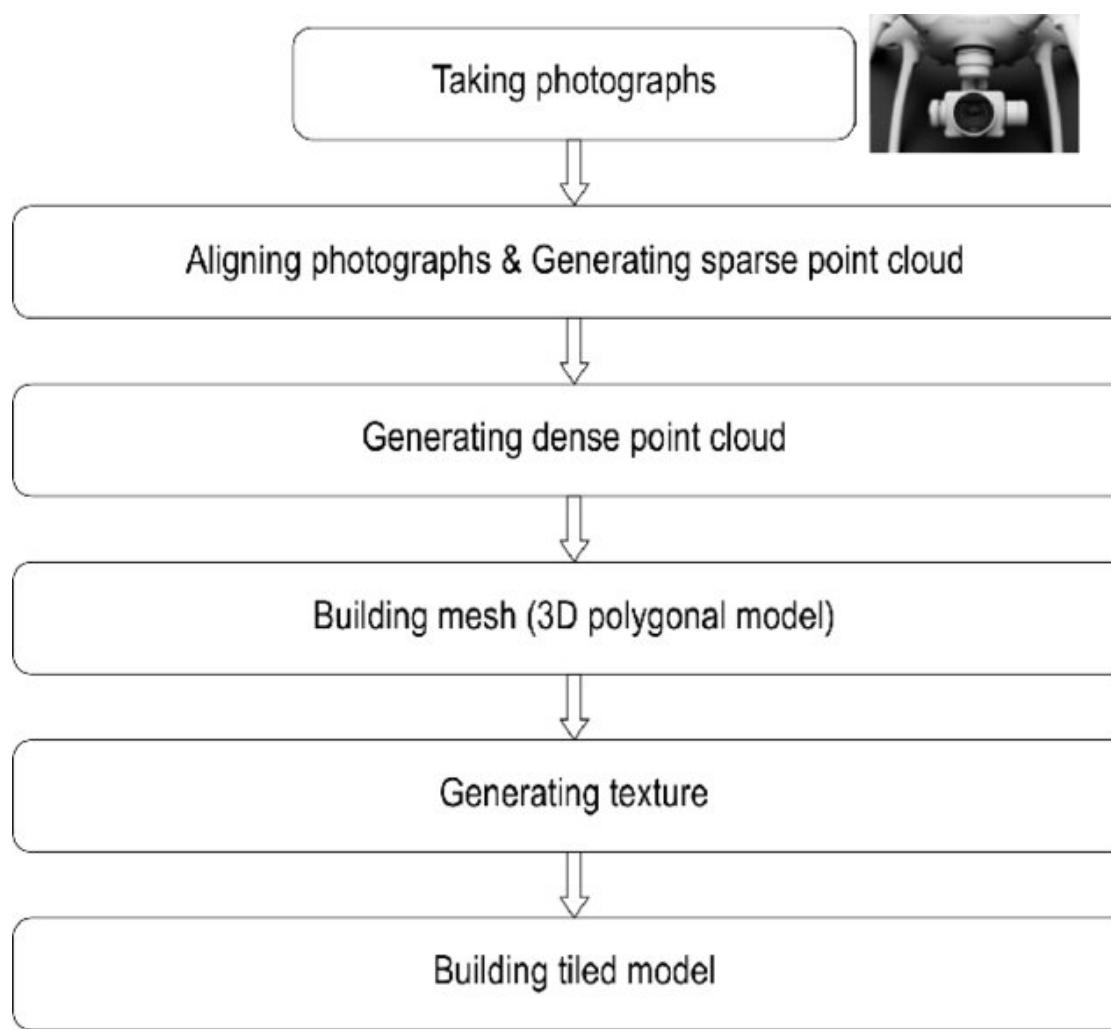
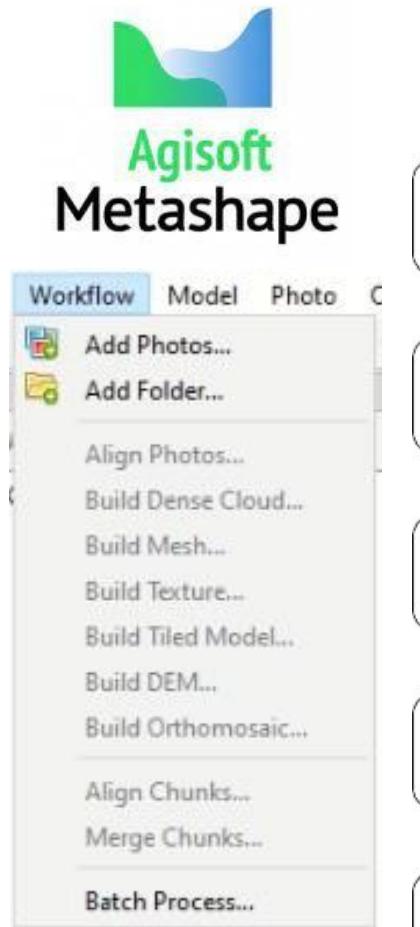
## ขั้นตอนที่ 3 การผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพออร์โธ (Orthomosaic Generation)

เป็นขั้นตอนการประมวลผลผลิตผลลัพธ์ไปใช้งาน โดยภาพออร์โธที่ได้จะถูกแก้ไขและจัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด รวมถึงสามารถผลิตแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศและแบบจำลองค่าระดับความสูงเชิงเลขไปใช้งานได้



# ซอฟต์แวร์ประมวลสำหรับย่อวีทีนิยมใช้ในปัจจุบัน

Page 32



H. Mallison (Palaeo3D), 06/2022

## 1. ข้อมูลภาพถ่าย แบ่งออกเป็น 2 ประเภท

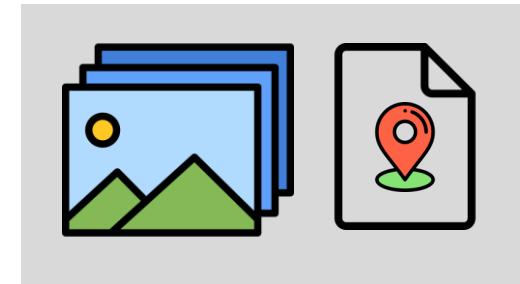
1. ภาพถ่ายที่มีค่าพิกัด เรียกว่า Geotagged image
2. ภาพถ่ายที่ไม่มีค่าพิกัด (+ไฟล์ค่าพิกัด) เรียกว่า Geo-text image

## 2. ข้อมูลจุดควบคุมภาคพื้นดิน แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

1. จุดควบคุมภาคพื้นดิน (GCPs)
2. จุดตรวจสอบ (CPs)



Geotagged image



Geo-text image

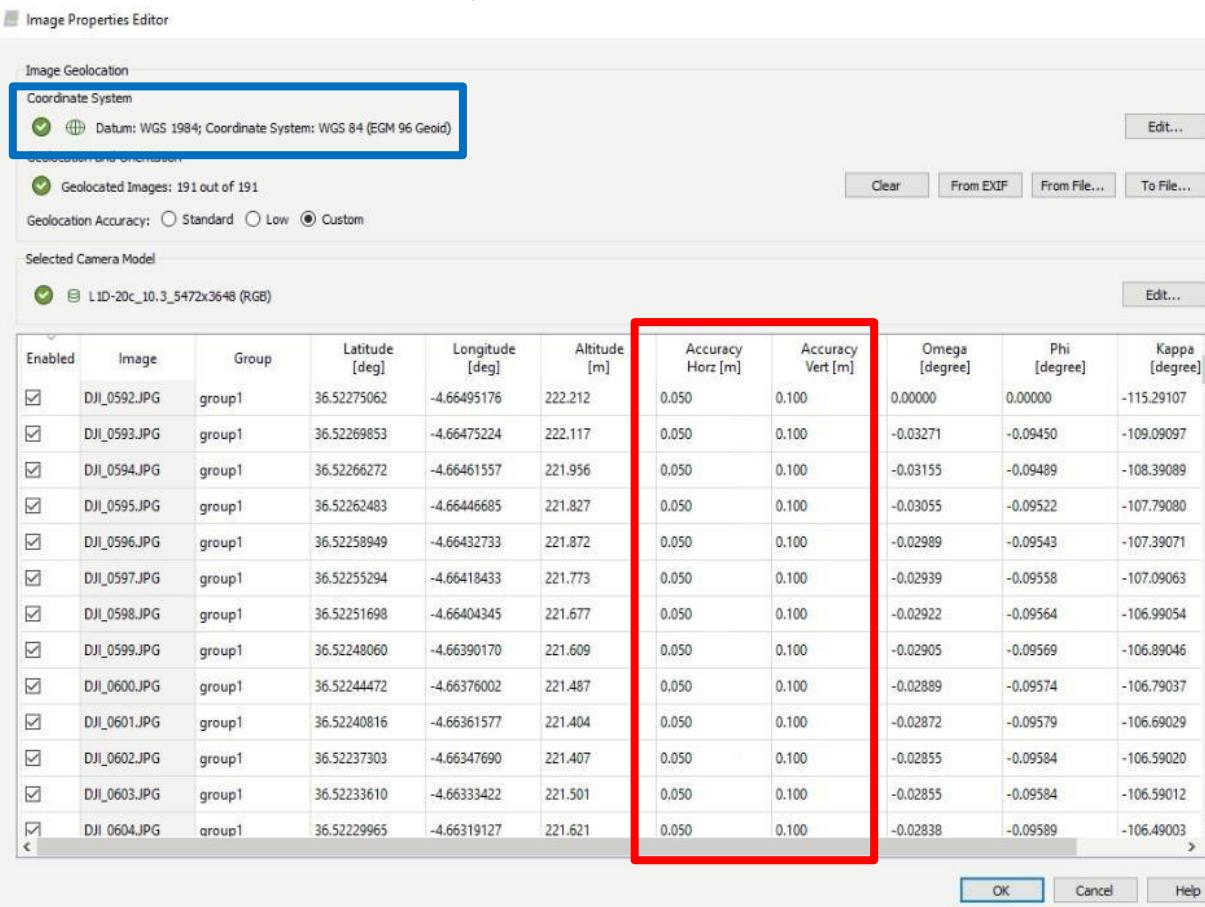
## สิ่งที่ต้องพิจารณา

- การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (Acc Hor. / Ver.)
- ระบบพิกัดที่ใช้ในการประมวลผล (EPSG: 4326 / 32647 / 32648)
- พารามิเตอร์ของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ เช่น Rolling/Global Shutter
- การกำหนดจุดยึดโดยภาคพื้นดิน (GCPs / CPs)

# การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (1)

สิ่งที่ต้องพิจารณา

- การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (Acc Hor. / Ver.)
- ระบบพิกัดที่ใช้ในการประมวลผล (EPSG: 4326 / 32647 / 32648)
- พารามิเตอร์ของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ เช่น Rolling/Global Shutter
- การกำหนดจุดยึดโดยภาคพื้นดิน (GCPs / CPs)



Reference

Cameras	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Yaw (*)	Pitch (*)
DJI_20211224091948_0001	71725.812690	1605429.350245	154.191100	0.05/0.1	0.019487		
DJI_20211224091953_0002	71724.639405	1605450.554300	154.121900	0.05/0.1	0.025407		
DJI_20211224091954_0003	71724.276899	1605470.291402	154.066800	0.05/0.1	0.006031		
DJI_20211224091955_0004	71725.273760	1605487.481837	154.196300	0.05/0.1	0.017618		
DJI_20211224091957_0005	71725.722411	1605505.709937	154.211800	0.05/0.1	0.014428		
DJI_20211224091958_0006	717205.864312	1605524.491998	154.184800	0.05/0.1	0.015494		
DJI_20211224092000_0007	717196.916204	1605541.558975	154.158700	0.05/0.1	0.007104		
DJI_20211224092001_0008	717187.233722	1605559.990662	154.154800	0.05/0.1	0.009629		
DJI_20211224092003_0009	717177.419525	1605578.689007	154.152300	0.05/0.1	0.008175		
DJI_20211224092004_0010	717167.824357	1605597.003052	154.145700	0.05/0.1	0.006029		
DJI_20211224092006_0011	717158.799359	1605614.236468	154.159900	0.05/0.1	0.003551		
DJI_20211224092007_0012	717149.017552	1605632.933999	154.171300	0.05/0.1	0.007152		
DJI_20211224092009_0013	717139.476870	1605651.186556	154.179000	0.05/0.1	0.010561		
DJI_20211224092010_0014	717129.684445	1605669.868503	154.173200	0.05/0.1	0.010226		
DJI_20211224092012_0015	717120.715076	1605686.912067	154.169700	0.05/0.1	0.010077		
DJI_20211224092013_0016	717111.010530	1605705.412190	154.185100	0.05/0.1	0.014950		
DJI_20211224092015_0017	717101.228904	1605724.096452	154.165800	0.05/0.1	0.019002		
DJI_20211224092016_0018	717091.875524	1605741.900249	154.177200	0.05/0.1	0.016195		
DJI_20211224092017_0019	717082.389893	1605760.031568	154.164400	0.05/0.1	0.012076		
DJI_20211224092019_0020	717072.717769	1605778.528665	154.160000	0.05/0.1	0.010705		
DJI_20211224092020_0021	717063.013609	1605796.992281	154.160700	0.05/0.1	0.007228		
DJI_20211224092022_0022	717053.396993	1605815.310587	154.156000	0.05/0.1	0.018422		
DJI_20211224092023_0023	717044.372226	1605832.534068	154.191100	0.05/0.1	0.007034		
DJI_20211224092025_0024	717034.568633	1605851.274591	154.184400	0.05/0.1	0.013649		
DJI_20211224092026_0025	717034.641605	1605860.001003	154.170700	0.05/0.1	0.010420		

Markers	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP02	717429.126000	1606454.237000	3.484500	0.02/0.05	0.528749	7	0.630
GCP05	717609.396000	1606432.529000	5.621500	0.02/0.05	0.578022	7	0.390
GCP10	717745.532500	1606169.321000	9.915000	0.02/0.05	0.563265	7	0.472
GCP11	717493.824500	1605856.965000	3.219000	0.02/0.05	0.535218	9	0.606

# การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (2)

สิ่งที่ต้องพิจารณา

- การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (Acc Hor. / Ver.)
- ระบบพิกัดที่ใช้ในการประมวลผล (EPSG: 4326 / 32647 / 32648)
- พารามิเตอร์ของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ เช่น Rolling/Global Shutter
- การกำหนดจุดยึดโยงภาคพื้นดิน (GCPs / CPs)



PIX4Dmapper

GCP/MTP Manager

Datum: WGS 1984; Coordinate System: WGS 84 / UTM zone 30N (EGM 96 Geoid)

GCP/MTP Table

Label	Type	X [m]	Y [m]	Z [m]	Accuracy Horz [m]	Accuracy Vert [m]
Point 1	3D GCP	35099.046	4043326.426	148.881	0.020	0.050
Point 10	Check Point	35069.244	4043411.927	157.848		
Point 11	3D GCP	35080.411	4043383.450	153.925	0.020	0.050
Point 2	Check Point	351140.350	4043330.574	153.402		
Point 3	2D GCP	351161.265	4043289.819	154.453	0.020	
Point 4	Check Point	351145.700	4043267.830	149.481		
Point 5	Manual Tie Point	351116.558	4043161.518	138.933		
Point 6	Check Point	35047.107	4043173.759	123.894		
Point 7	Check Point	35020.884	4043233.120	140.519		
Point 8	Check Point	350987.515	4043267.902	132.740		
Point 9	Check Point	35021.284	4043372.673	144.569		

3/3 GCPs with enough image marks

Import Marks... Export Marks...

GCP/MTP Editor

In order to compute the 3D position of a GCP/MTP, it needs to be marked on at least two images.  
In order to take GCPs into account for georeferencing the project, at least 3 GCPs need to be marked.  
Marking GCPs/MTPs after step 1. Initial Processing requires the user to run Process > Reoptimize.  
The GCPs/MTP accuracy can be verified in the Quality Report or in the rayCloud Editor.

(Recommended) Use the rayCloud Editor after step 1. Initial Processing is done. This allows a fast and precise point marking.

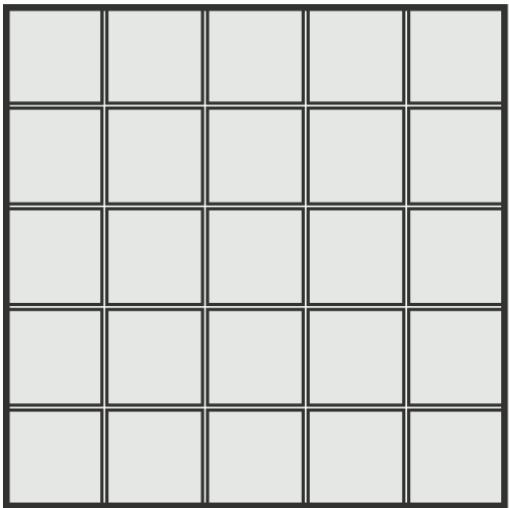
rayCloud Editor... Basic Editor...

OK Cancel Help

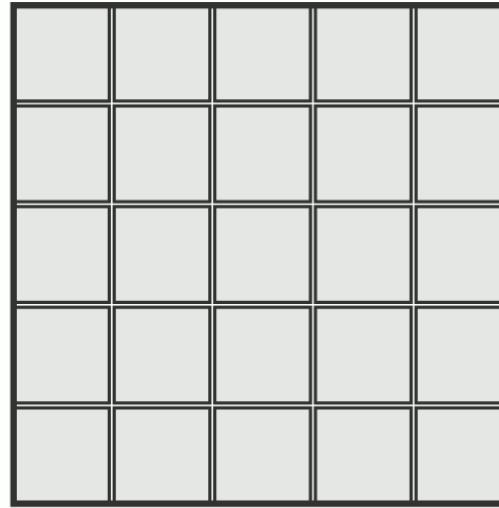


Marker	Easting (m)	Northing (m)	Altitude (m)	Accuracy (m)	Error (m)	Projections	Error (pix)
GCP02	717429.120000	1600434.257000	5.484500	0.02/0.05	0.528749	7	0.630
GCP05	717609.396000	1606432.529000	5.621500	0.02/0.05	0.578022	7	0.390
GCP10	717745.532500	1606169.321000	9.915000	0.02/0.05	0.563265	7	0.472
GCP11	717493.824500	1605856.965000	3.219000	0.02/0.05	0.535218	9	0.606
GCP12	717691.281000	1605967.607000	7.979000	0.02/0.05	0.498863	7	0.859
GCP13	717378.246500	1605704.940000	0.886000	0.02/0.05	0.535936	9	0.667
GCP14	717647.443000	1605821.834000	3.776500	0.02/0.05	0.492688	7	0.729
GCP15	717869.091000	1606008.402000	9.268000	0.02/0.05	0.514257	9	0.383
GCP16	717567.044500	1605642.458000	2.264500	0.02/0.05	0.529471	12	0.652
GCP17	717883.362500	1605742.571000	2.213000	0.02/0.05	0.511851	6	0.288
GCP21	717326.328000	1605876.941000	2.015000	0.02/0.05	0.549204	6	0.770
GCP22	717170.806000	1606353.122000	0.394000	0.02/0.05	0.516999	6	0.438
					0.518355		0.618
					0.535861		0.589

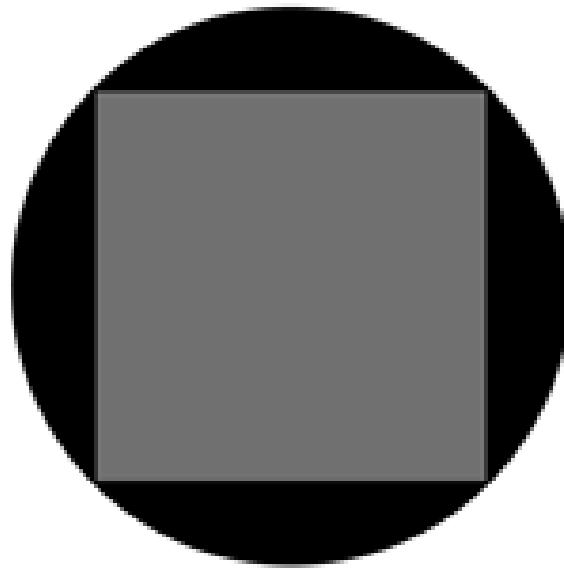
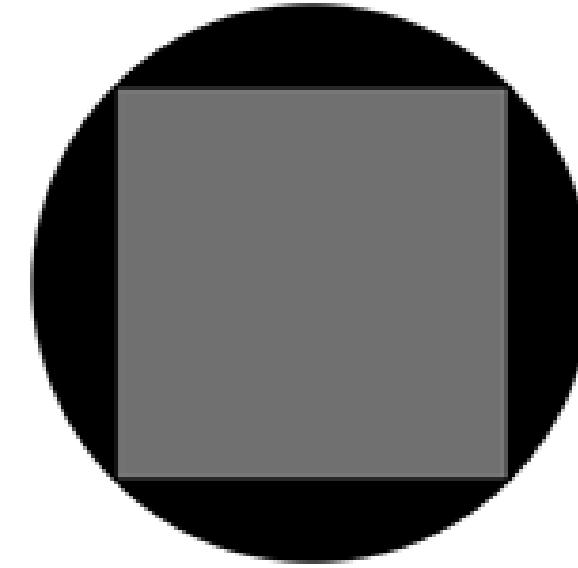
Rolling Shutter



Global Shutter

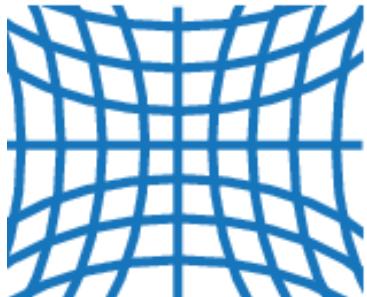


Light Source

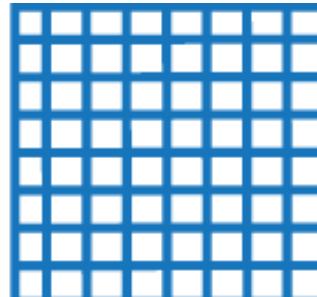


Radial distortion :  $k_1, k_2, k_3 / R_1, R_2, R_3$

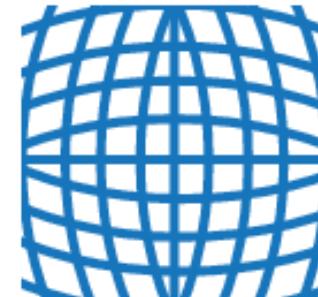
Tangential distortion :  $p_1, p_2 / T_1, T_2$



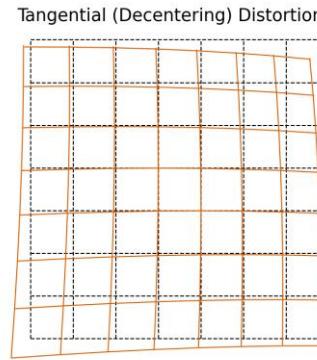
Negative radial distortion  
"pincushion"



No distortion



Positive radial distortion  
"barrel"



Tangential (Decentering) Distortion

## 2. Low-altitude UAV remote sensing image distortion correction model

A UAV remote sensing system with a non-metric digital camera distortion correction model is given as follows.

$$\Delta x = (x - x_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_1(r^2 + 2(x - x_0)^2) + 2p_2(x - x_0)(y - y_0) + \alpha(x - x_0) + \beta(y - y_0)$$

$$\Delta y = (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_2(r^2 + 2(y - y_0)^2) + 2p_1(x - x_0)(y - y_0)$$

where  $\Delta x, \Delta y$  – are the correction of the image point coordinates;  $x, y$  – are the coordinates of the image point;  $x_0, y_0$  – are the principal point coordinates;  $k_1, k_2, k_3$  – is the radial distortion;  $p_1, p_2$  – is the decentering distortion;  $\alpha, \beta$  – is the distortion in array; and  $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$



Original image: The square grid is distorted because of the lens of the camera.



Undistorted image: The square grid is now perfectly aligned.

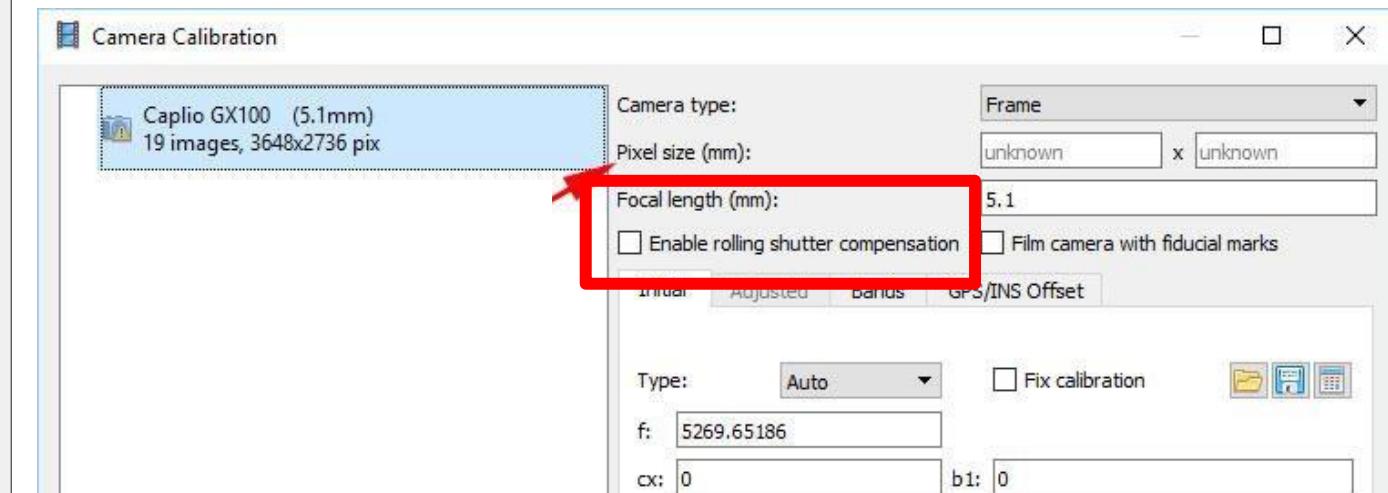
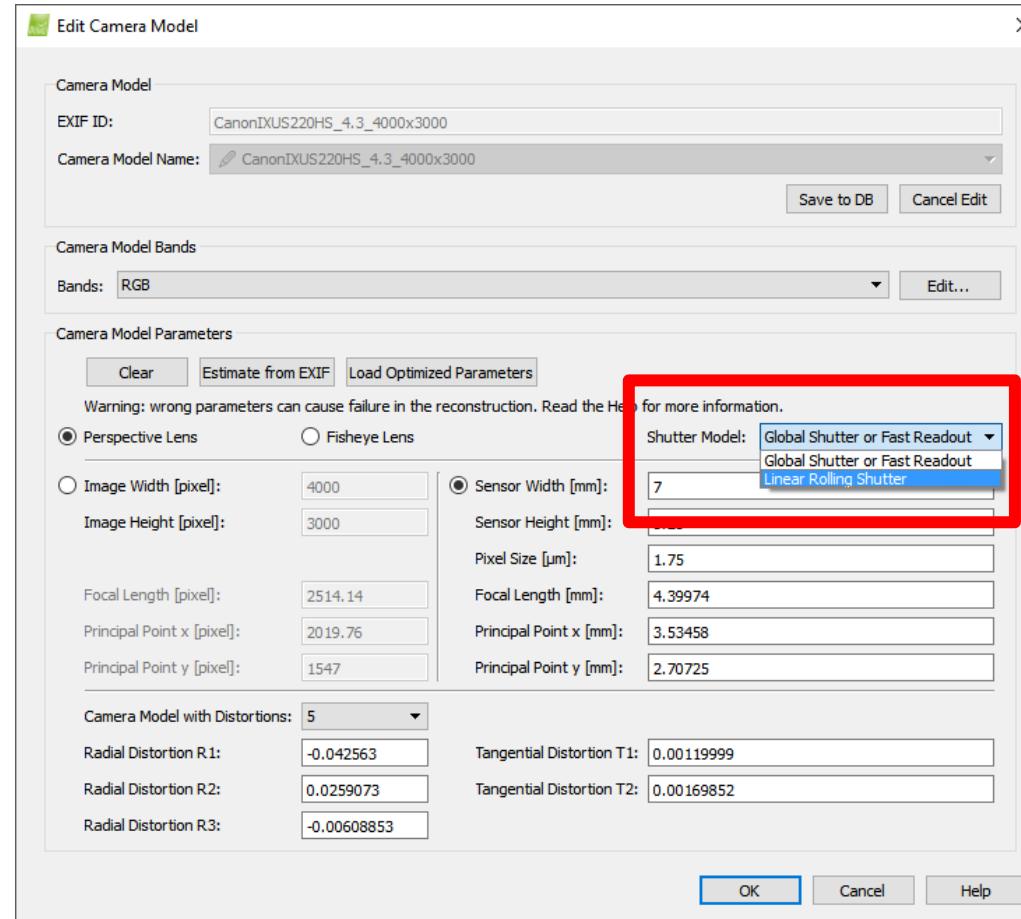
# การกำหนดพารามิเตอร์ที่เกี่ยวข้องกับกล้อง

สิ่งที่ต้องพิจารณา

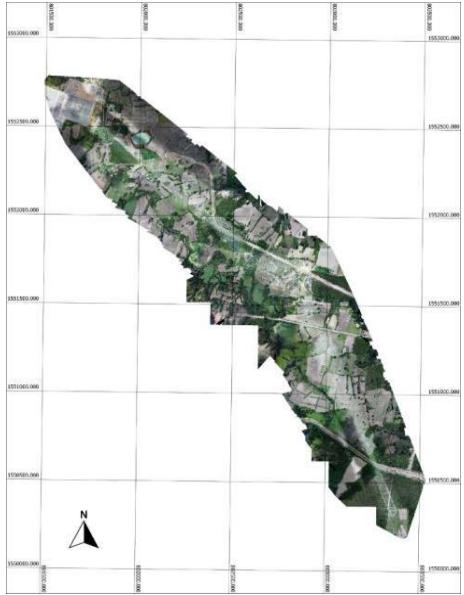


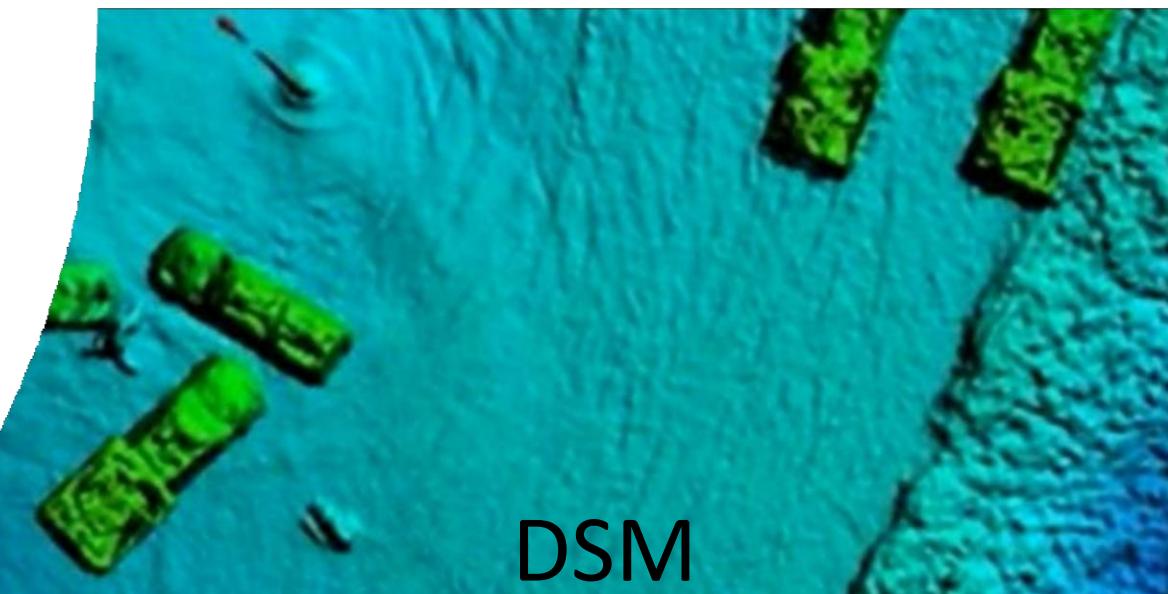
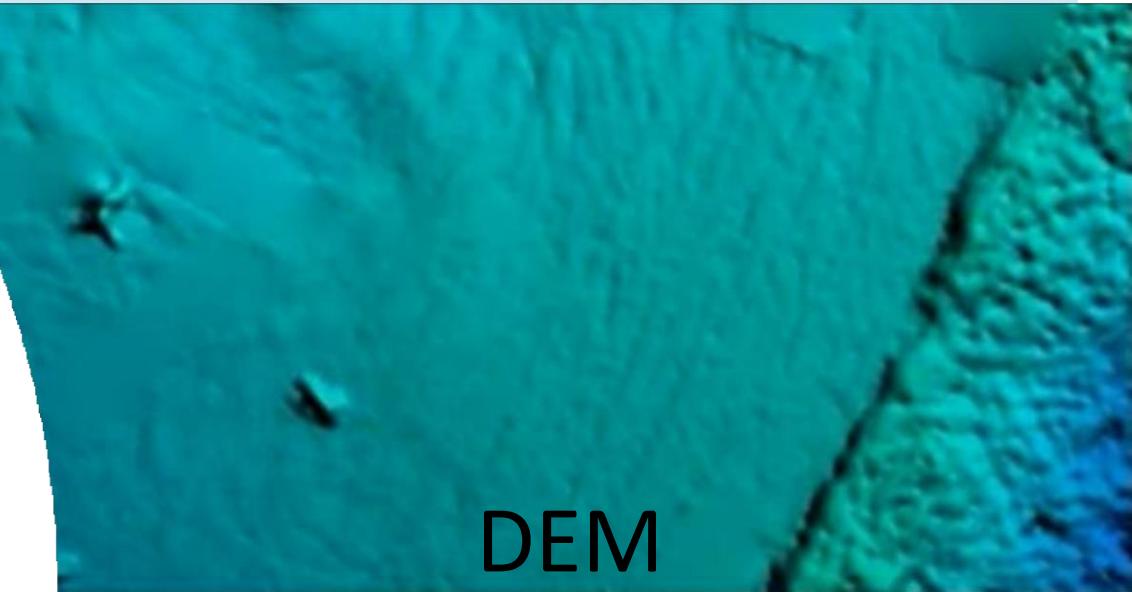
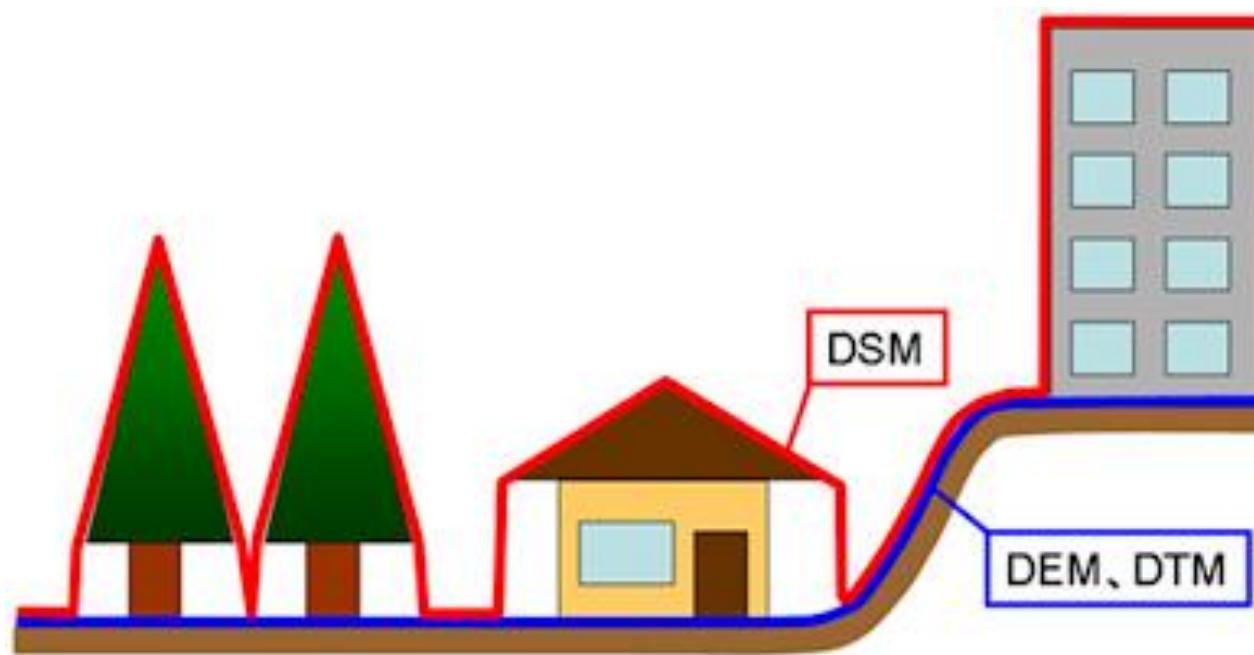
PIX4Dmapper

- การกำหนดความแม่นยำ/ความถูกต้องของข้อมูลที่ใช้ในการประมวลผล (Acc Hor. / Ver.)
- ระบบพิกัดที่ใช้ในการประมวลผล (EPSG: 4326 / 32647 / 32648)
- พารามิเตอร์ของกล้องที่ใช้ถ่ายภาพ เช่น Rolling/Global Shutter**
- การกำหนดจุดยึดโดยภาคพื้นดิน (GCPs / CPs)

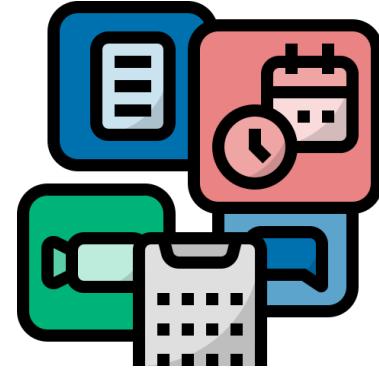


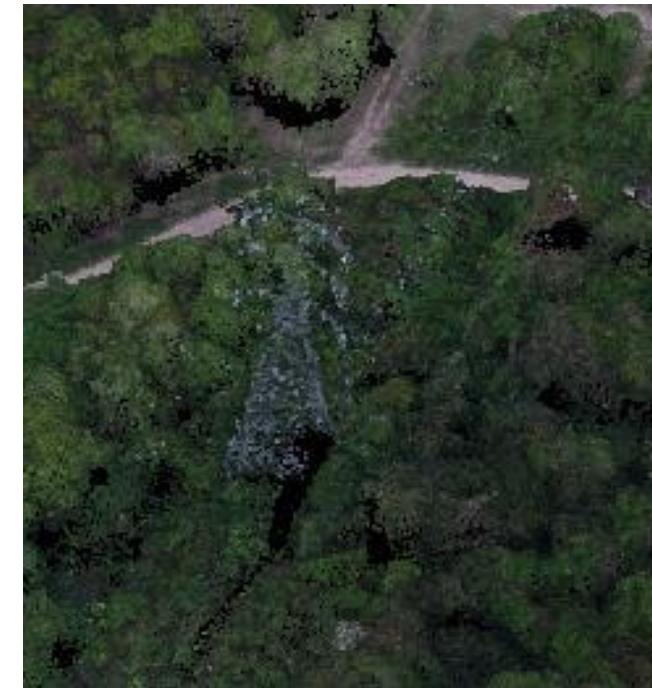
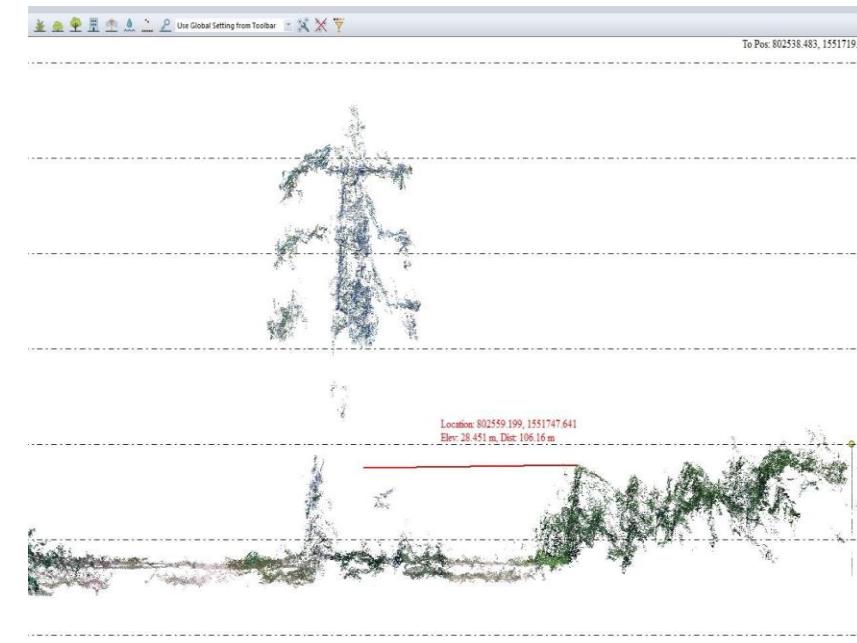
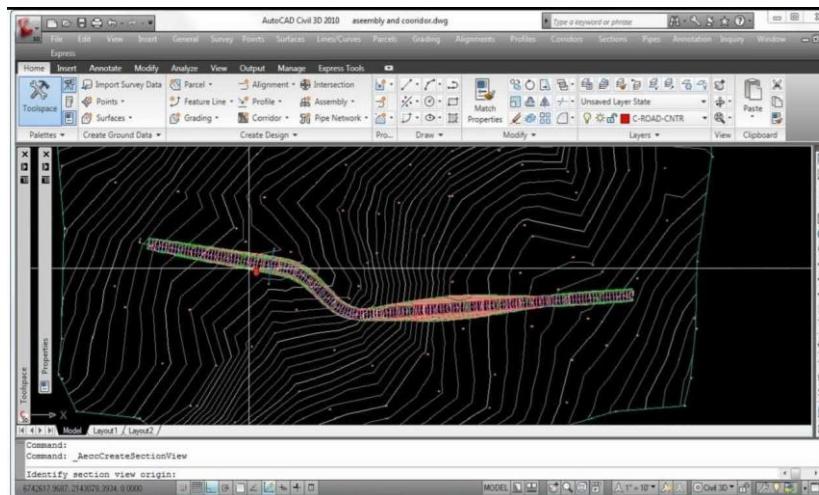
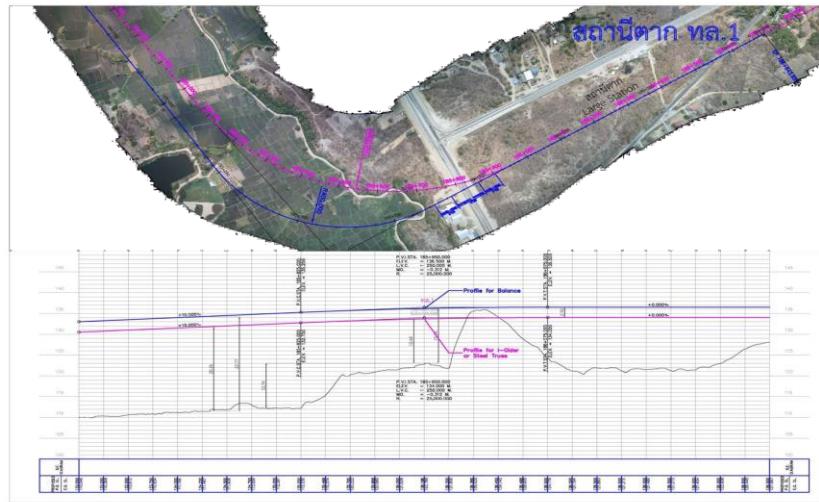
1. (Near True) Orthophoto
  2. Point Clouds
  3. DSM (Digital Surface Model)
- DEM (Digital Elevation Model)





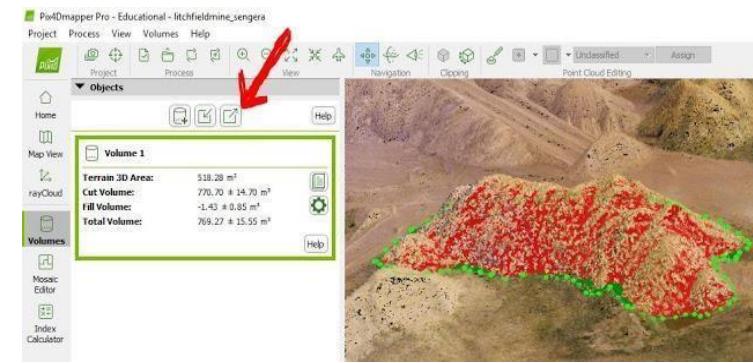
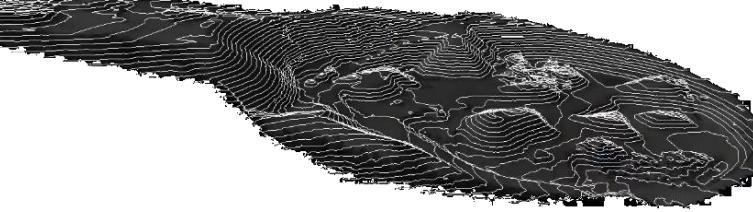
# UAV Applications



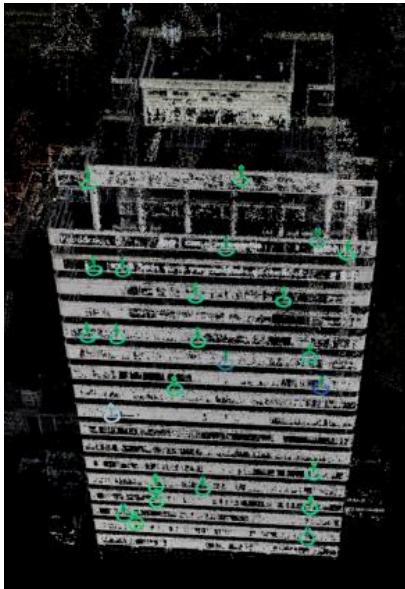


การออกแบบทางด้านวิศวกรรม

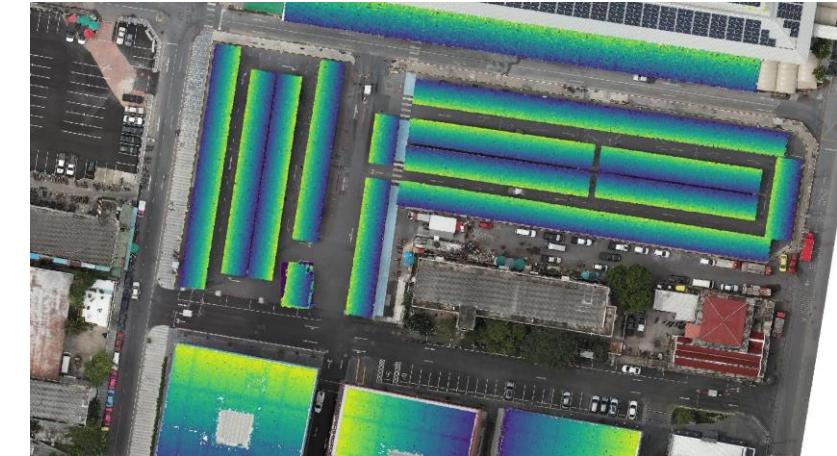
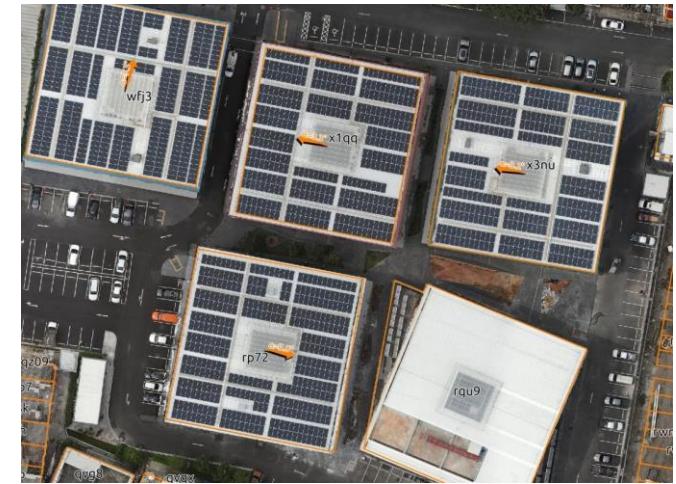
การตรวจสอบการเติบโตของพืชพรรณ



เกี่ยวกับงานเหมือง



การตรวจสอบความปลอดภัยอาคาร



การตรวจสอบโครงสร้างหลังคาและแผนโซลาร์เซลล์



# Thank You