

Photogrammetric Computer Vision (PCV): Oblique Camera System



Thirawat Bannakulpiphat & Phisan Santitamnont

Department of Survey Engineering, Chulalongkorn University

E-mail: thirawat.bannakulpiphat@gmail.com and phisan.chula@gmail.com

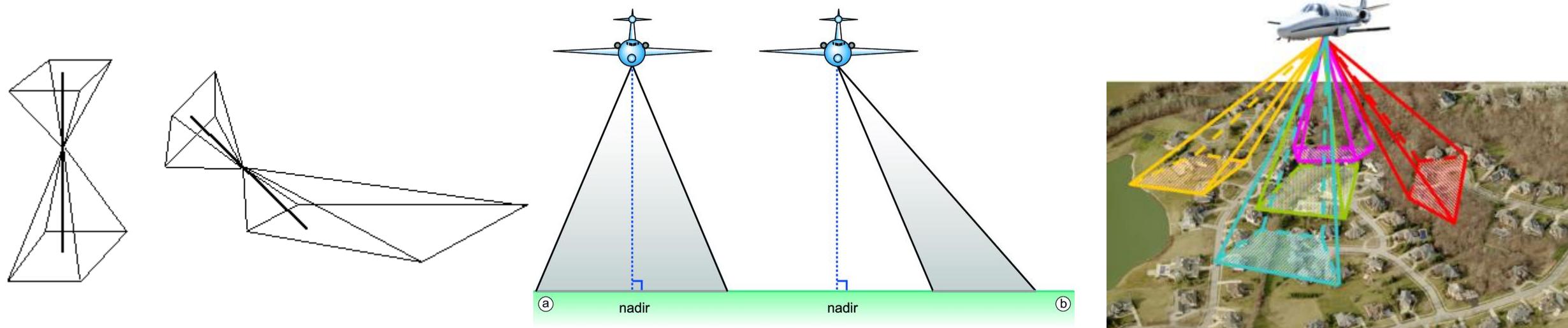
February 15, 2023
13.00 – 16.00 PM

1. ระบบกล้องเฉียง (Oblique Camera System)
2. ทบทวนการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศจากอากาศยานไร้คนขับ
3. การประมวลผลภาพถ่ายจากการกล้องเฉียง
4. การประยุกต์ใช้สำหรับงานทางด้านวิศวกรรม

ระบบกล้องเฉียง (Oblique Camera System)

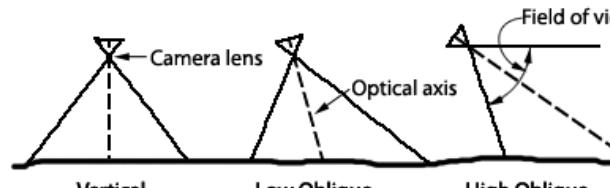


ภาพถ่ายเฉียงในที่นี้ หมายถึง ภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพถ่ายจากดาวเทียมที่สามารถให้รายละเอียดข้อมูลสิ่งปลูกสร้างสาธารณูปโภคพื้นฐานโดยวัตถุประสงค์ของการบันทึกภาพถ่ายเฉียงเพื่อนำภาพถ่ายที่บันทึกได้ไปประมวลผลเพื่อผลิตเป็นแผนที่และข้อมูลภูมิสารสนเทศได้ โดยส่วนใหญ่ การบันทึกภาพถ่ายเฉียงจะเฉียงออกไปจากแนวตั้งประมาณ 45 องศา ทำให้ภาพบันทึกรายละเอียดข้อมูลด้านข้าง ขนาดรูปร่างทั้งสามมิติของวัตถุ สิ่งปลูกสร้าง เห็นความสัมพันธ์ของที่ตั้งและเปิดโอกาสให้ผู้ใช้สามารถรังวัดค่าพิกัด ความกว้างและความสูง และสามารถนำข้อมูลภูมิสารสนเทศที่มีอยู่แล้วซ้อนกลับเข้าไปได้ในภาพได้ แนวคิดของการนำภาพถ่ายเฉียงเข้ามาใช้ในช่วงแรกภาพถ่ายเฉียงถูกนำมาใช้สำหรับการตรวจทางอากาศ (Airborne reconnaissance) ทางกิจการของทางทหาร รวมไปถึงใช้ในการประเมินสถานการณ์ในพื้นที่บริเวณกว้าง โดยในปัจจุบันภาพถ่ายเฉียง ถูกนำมาประยุกต์ใช้มากขึ้นโดยเฉพาะงานทางด้านการสำรวจรังวัด



โดยทั่วไปแบ่งออกเป็น 2 ประเภท ได้แก่ ภาพถ่ายดิ่ง (Vertical aerial photograph) และ ภาพถ่ายเฉียง (Oblique aerial photograph)

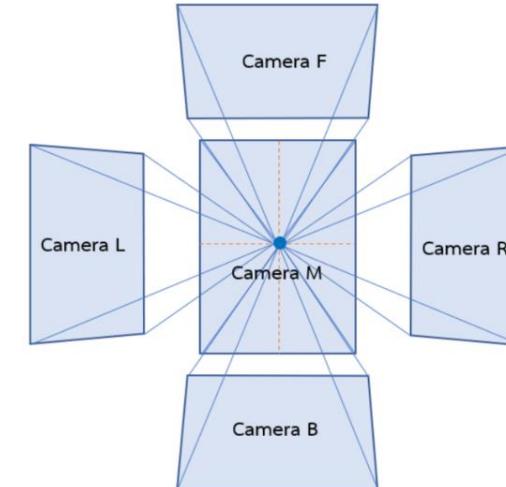
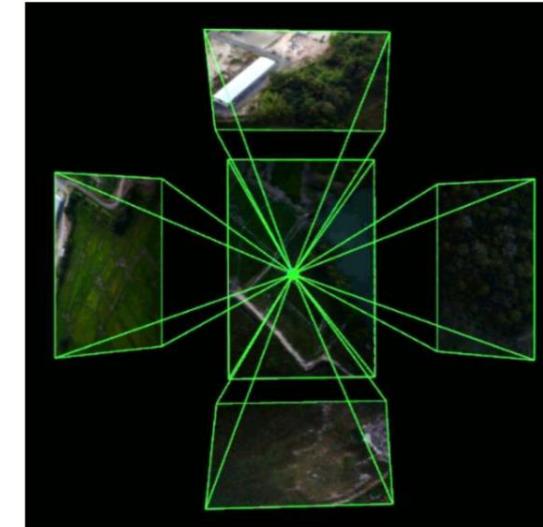
1. ภาพถ่ายดิ่ง (Vertical aerial photograph) คือ ภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องอยู่ในแนวตั้งมากที่สุด ซึ่งเป็นเรื่องที่ยากในความเป็นจริงเนื่องจากได้รับผลมาจากการที่เครื่องบินอุปกรณ์ที่ถ่ายภาพ ดังนั้นในการปฏิบัติงานจะมีการกำหนดเพิ่มเติม เพื่อเป็นตัวแทนของภาพถ่ายดิ่ง คือ ภาพที่ถ่ายได้ความมีขนาดที่เบี่ยงเบนไปจากแนวตั้งไม่เกิน 3 องศา
2. ภาพถ่ายเฉียง(Oblique aerial photograph) คือ ภาพที่ถ่ายโดยให้แกนของกล้องเอียงออกไปจากแนวตั้ง แบ่งออกเป็น 2 แบบ คือ
 1. ภาพถ่ายเฉียงต่ำ (Low oblique aerial photograph) คือ ภาพถ่ายที่ไม่ปรากฏเส้นขอบฟ้าบนภาพถ่าย
 2. ภาพถ่ายเฉียงสูง (High oblique aerial photograph) คือ ภาพถ่ายที่ปรากฏเส้นขอบฟ้าบนภาพถ่าย



Camera orientation for various types of aerial photographs



How a grid of section lines appears on various types of photos.



อุปกรณ์ถ่ายภาพที่ประกอบไปด้วยกล้องมากกว่าหนึ่งตัว โดยที่กล้องแต่ละตัวจะถูกโยงยึดกันด้วยอุปกรณ์จับยึดกล้อง (Camera-Rig) ซึ่งเป็นอุปกรณ์ที่สำคัญที่ใช้ในการโยงยึดกล้องถ่ายภาพจำนวนหลายกล้องเข้าด้วยกันและควบคุมให้แต่ละกล้องสามารถบันทึกภาพถ่ายได้ในเวลาเดียวกัน

โดยมักจะพบเห็นกับกล้องถ่ายภาพชนิดหลายช่วงคลื่น (Multispectral Camera) ที่แต่ละกล้องทำหน้าที่บันทึกภาพในช่วงคลื่นที่มีความแตกต่างกันออกไป สำหรับการแสดงผลภาพถ่ายให้เป็นภาพเดียวจำเป็นต้องรวมภาพที่บันทึกในแต่ละช่วงคลื่นที่แตกต่างกันออกไปทำให้ต้องทราบความสัมพันธ์ระหว่างกล้องถ่ายภาพแต่ละกล้องที่ถูกโยงยึดอยู่บนอุปกรณ์จับยึดกล้อง ซึ่งความสัมพันธ์ดังกล่าวประกอบไปด้วย

ความสัมพันธ์ในการเคลื่อนแกน (Translation)

ความสัมพันธ์ในการหมุนแกน (Rotation)



3DM V3 Oblique Camera



Surveyor 5 Standard



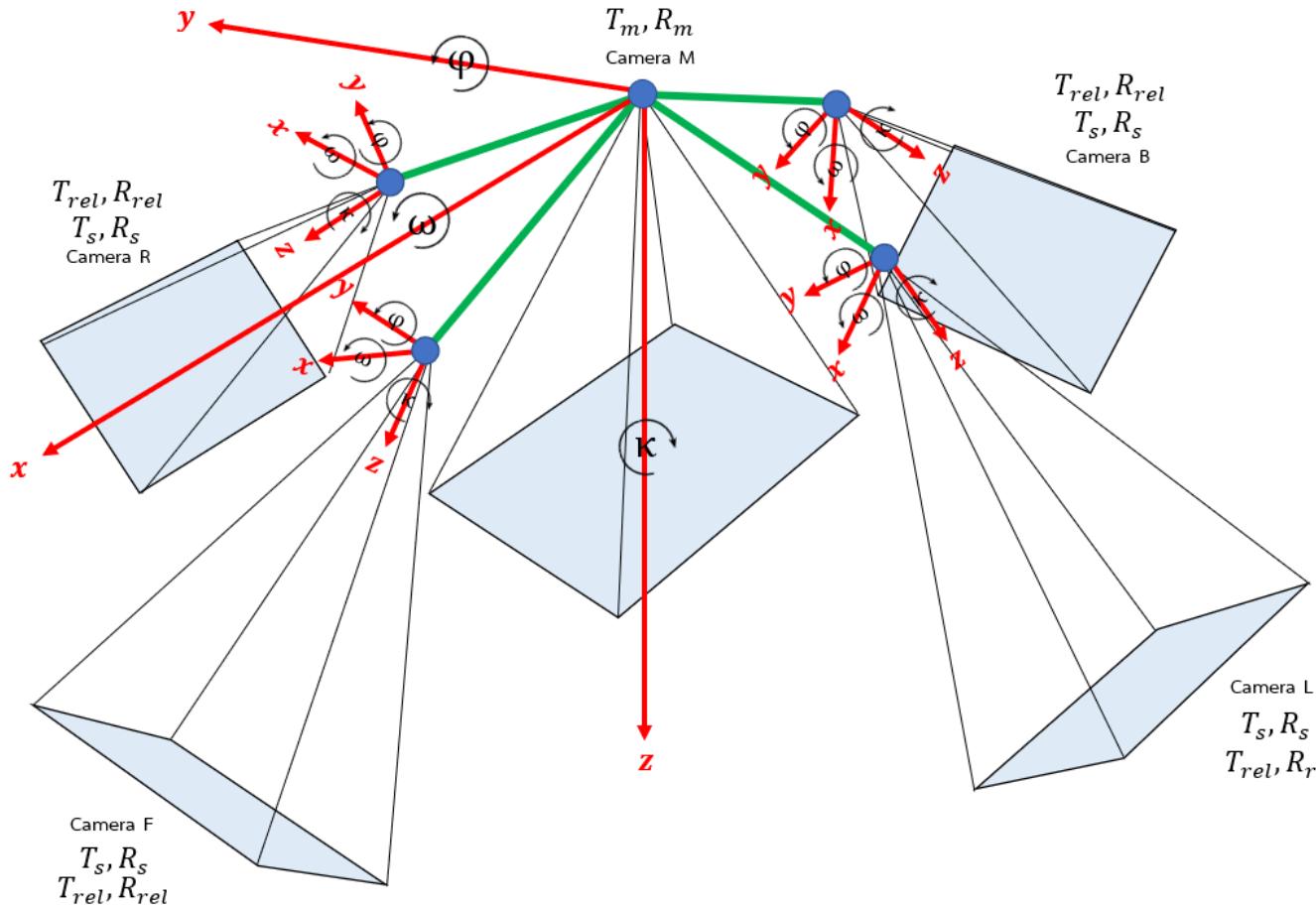
SHARE 102S V



CA502A

“ระบบกล้องเฉียงกำลังได้รับความนิยมมากขึ้นในปัจจุบัน”

ความสัมพันธ์ของระบบกล้องเฉียงที่โยงยืดกันด้วยอุปกรณ์จับยึดกล้อง



ค่าจัดวางภาพภายนอก (EOP)

$$T = (T_x, T_y, T_z)$$

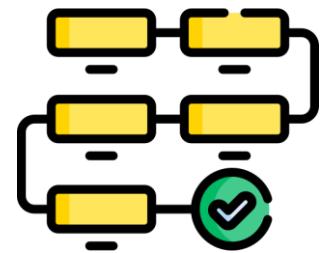
$$R = R_X(\omega)R_Y(\varphi)R_Z(\kappa)$$

สัญลักษณ์เมทริกซ์		
พารามิเตอร์	กล้องหลักอ้างอิง	กล้องรอง
การเลื่อนแกน	T_m	T_s
การหมุนแกน	R_m	R_s
การเลื่อนแกนสัมพัทธ์	—	T_{rel}
การหมุนแกนสัมพัทธ์	—	R_{rel}

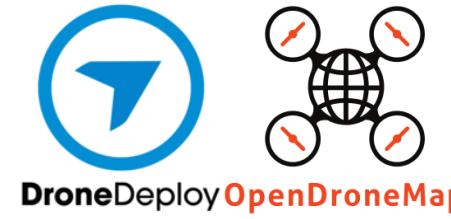
$$R_s = R_m R_{rel}$$

$$T_s = T_m + R_m T_{rel}$$

ทบทวนการประมวลผลภาพถ่ายทางอากาศ จากอากาศยานไร้คนขับ



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



ซึ่งในเอกสารนี้จะนำเสนอการใช้โปรแกรม PIX4Dmapper ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่าย เนื่องจากโปรแกรม มีความสามารถในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายที่คำนวณความสัมพันธ์ของอุปกรณ์จับยึดกล้องได้ ซึ่งใช้หลักการ คำนวณแบบตัวแหน่งที่สัมพัทธ์ (Relative position) กันระหว่างกล้องที่ทราบค่าพารามิเตอร์ (กล้องหลักอ้างอิง) กับ กล้องที่ไม่ทราบค่าพารามิเตอร์ (กล้องรอง)

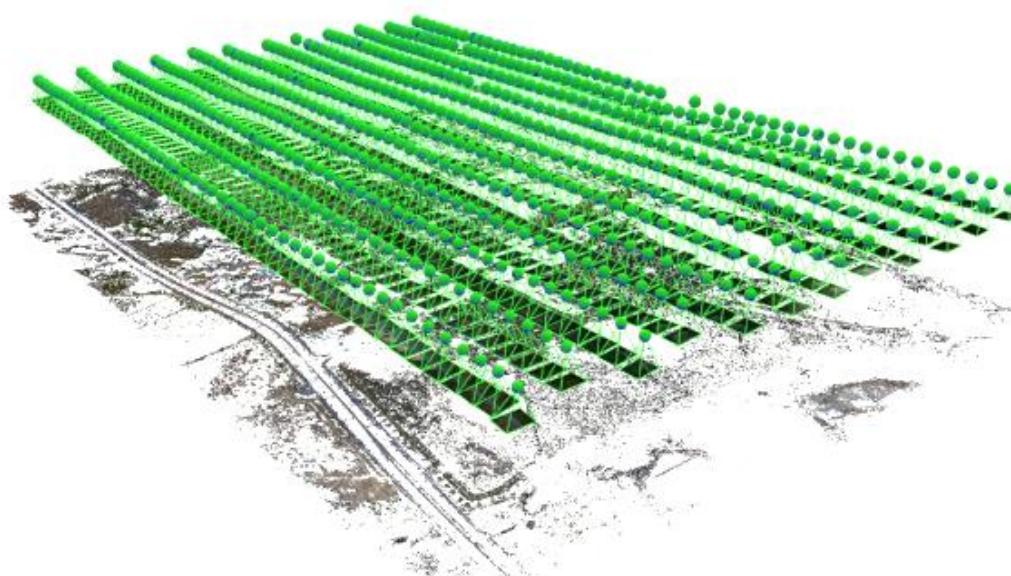
ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายสำหรับโปรแกรม PIX4Dmapper ประกอบไปด้วยขั้นตอน 3 ขั้นตอน

- ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณปรับแก้บล็อกกล่อง (Bundle Block Adjustment)
- ขั้นตอนที่ 2 การผลิตข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Dense Cloud Generation)
- ขั้นตอนที่ 3 การผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพออร์โธ (Orthomosaic Generation)

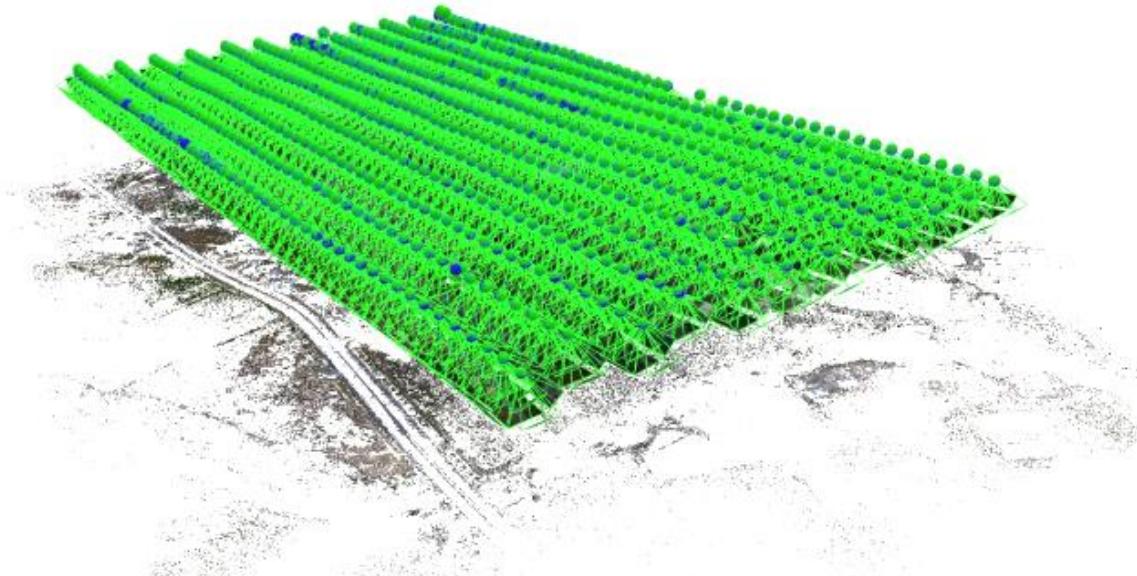


ขั้นตอนที่ 1 การคำนวณปรับแก้บล็อกลำแสง (Bundle Block Adjustment)

เป็นการคำนวณโครงข่ายสามเหลี่ยมทางอากาศ (Aerial Triangulation) ซึ่งจะเป็นการคำนวณหาค่าพารามิเตอร์การจัดวางภาพภายนอก รวมถึงมีการวัดสอบค่าพารามิเตอร์ในการปรับแก้ค่าความคลาดเคลื่อนทางเลนส์ด้วยกระบวนการวัดสอบด้วยตัวเอง (Self-calibration) ในขั้นตอนนี้ด้วย โดยกระบวนการทางคอมพิวเตอร์ชันจะมีการจับคู่ภาพเพื่อสร้าง Automatic Tie points ผ่านการสกัดหาข้อมูลจุดสำคัญที่เปรียบเสมือนจุดโยงยืดบนภาพถ่ายที่เป็นสองมิติ ซึ่งจะมีการโยงยึดค่าพิกัดจุดควบคุมภาคพื้นดินเข้าไปด้วยในการควบคุมคุณภาพค่าความถูกต้องเชิงตำแหน่ง



รูปแบบที่ 1 (ภาพถ่ายดิจิทัลหน้า)

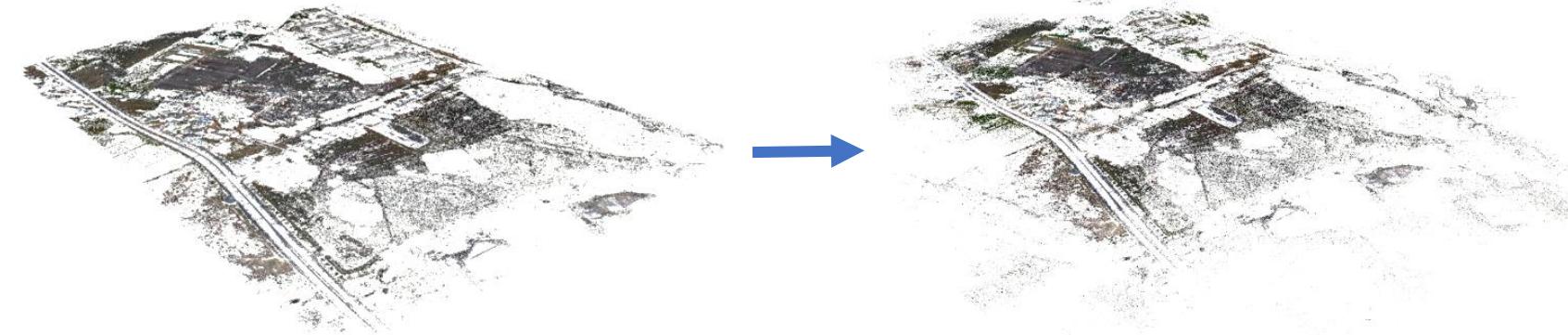


รูปแบบที่ 2 (ภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายเฉียง)

ขั้นตอนที่ 2 การผลิตข้อมูลพอยต์คลาวด์ (Dense Cloud Generation)

เป็นขั้นตอนในการสร้างข้อมูลพื้นผิวที่แสดงลักษณะของรูปร่างในพื้นที่ โดยเป็นการเพิ่มจำนวนจุดโดยยึดช่วยวิให้ข้อมูลมีองค์ประกอบรายละเอียดหนาแน่นมากขึ้นและช่วยให้ค่าความถูกต้องเชิงเรขาคณิตที่แม่นยำ ซึ่งมีความสำคัญต่อการนำไปประมวลผลสร้างแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศขั้นต่อไป

รูปแบบที่ 1 (ภาพถ่ายดิจิทัลท่าน้ำ)

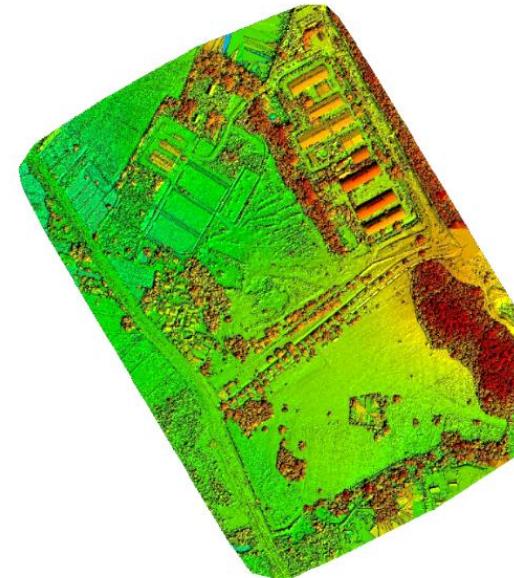


รูปแบบที่ 2 (ภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายเฉียง)



ขั้นตอนที่ 3 การผลิตแผนที่ภาพถ่ายทางอากาศหรือภาพออร์โธ (Orthomosaic Generation)

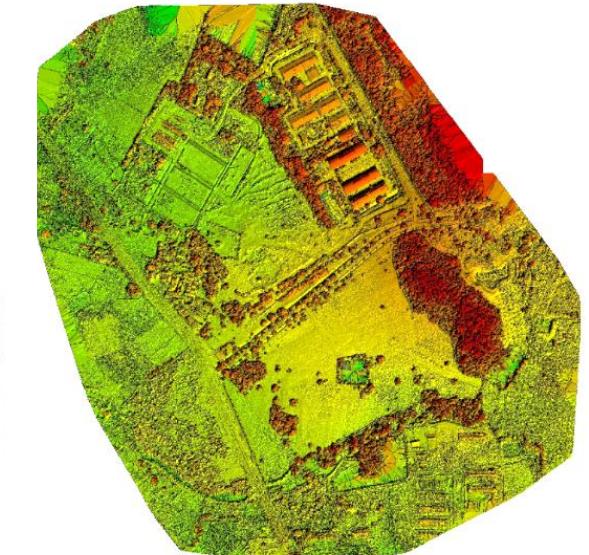
เป็นขั้นตอนการประมวลผลผลิตผลลัพธ์ไปใช้งาน โดยภาพออร์โธที่ได้จะถูกแก้ไขและขัดความผิดเพี้ยนทางลักษณะเรขาคณิตของวัตถุทั้งหมด รวมถึงสามารถผลิตแบบจำลองพื้นผิวภูมิประเทศและแบบจำลองค่าระดับความสูงเชิงเลขไปใช้งานได้



รูปแบบที่ 1 (ภาพถ่ายดิจิทัลเท่านั้น)

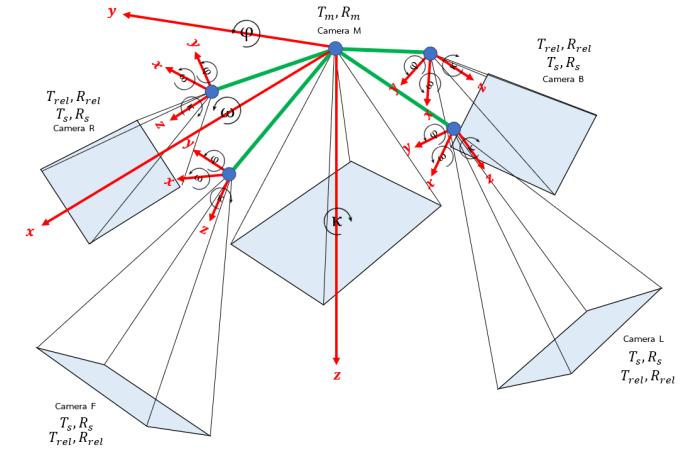


รูปแบบที่ 2 (ภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายเฉียง)

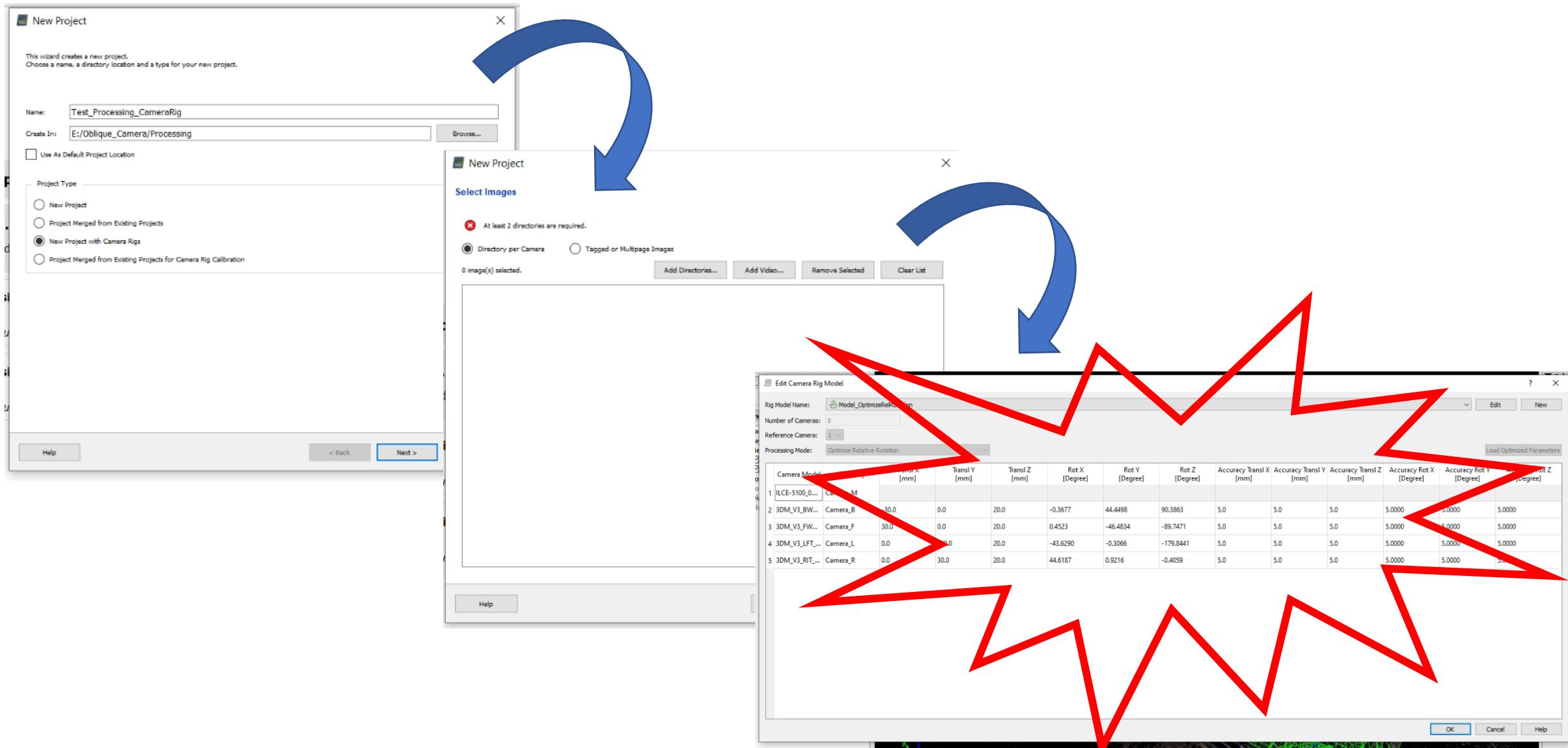


การประมวลผลภาพถ่าย

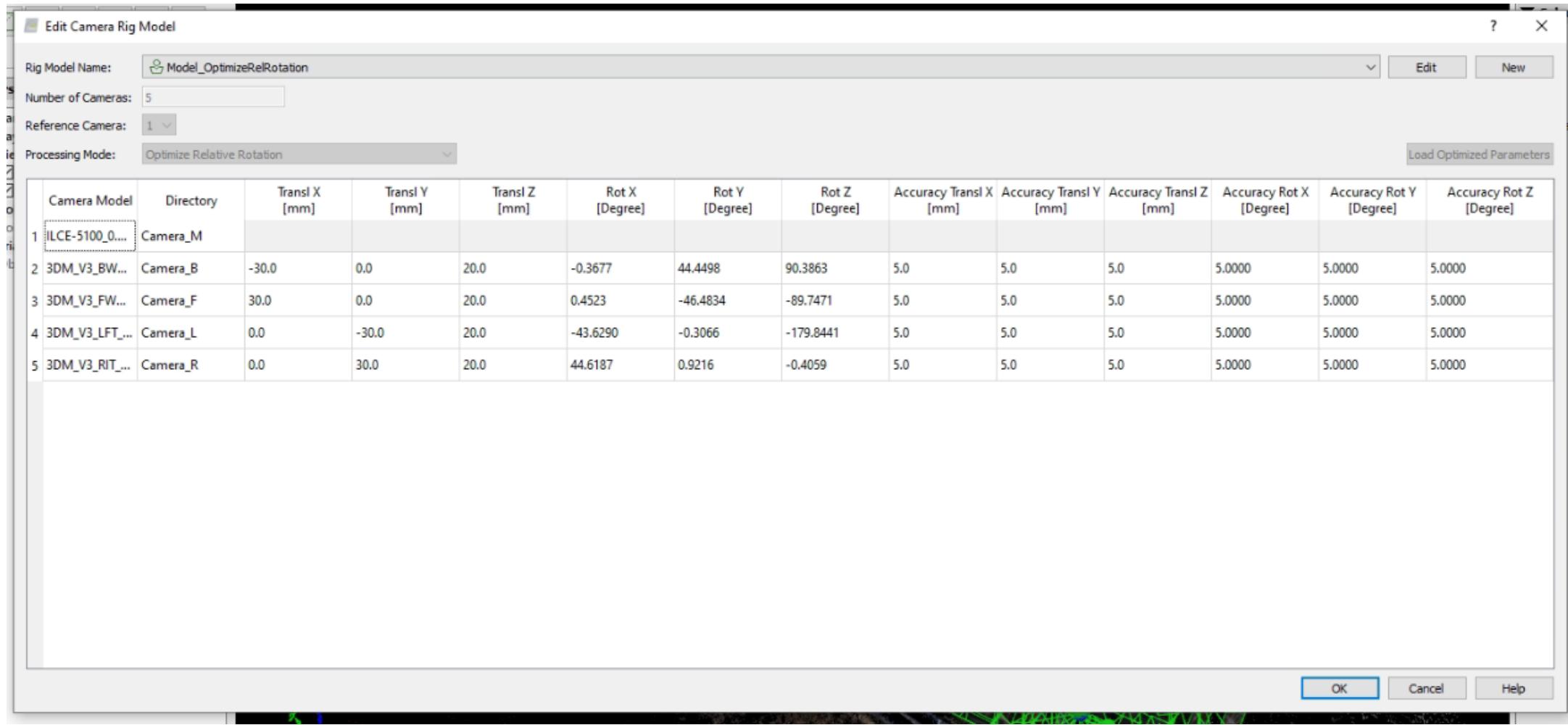
จากระบบกล้องเฉียง



การประมวลผลภาพถ่ายจากระบบกล้องเอียง



ตัวอย่างหน้าต่างการกำหนดพารามิเตอร์ต่าง ๆ ของระบบกล้องเฉียง



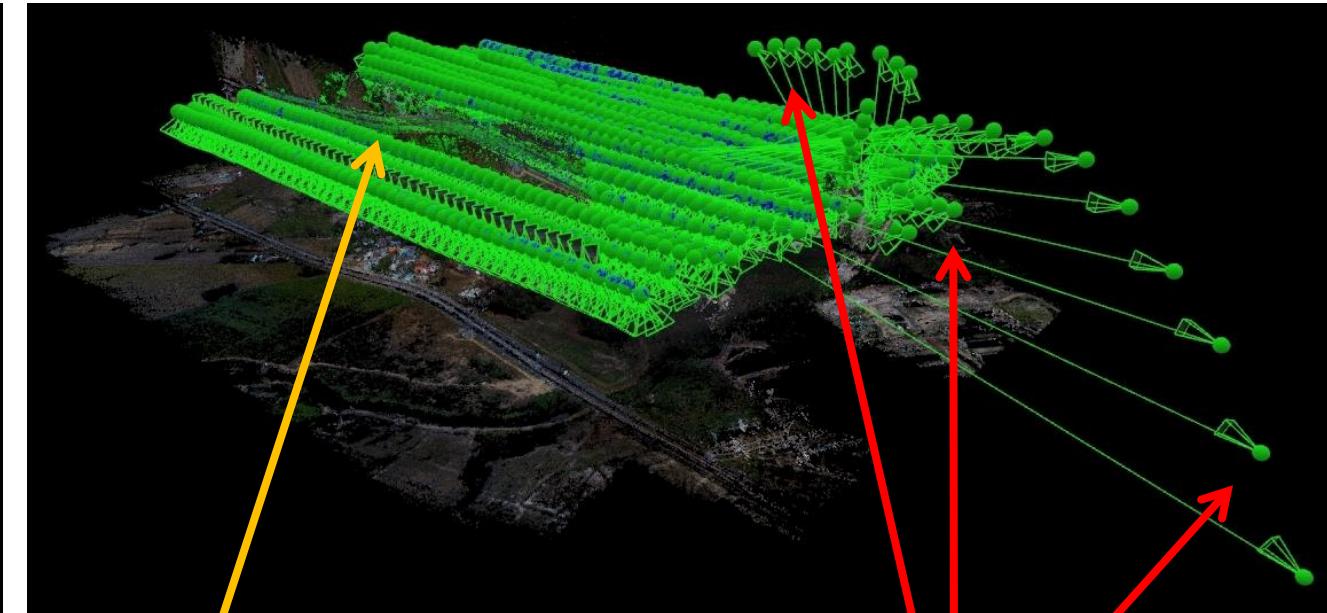
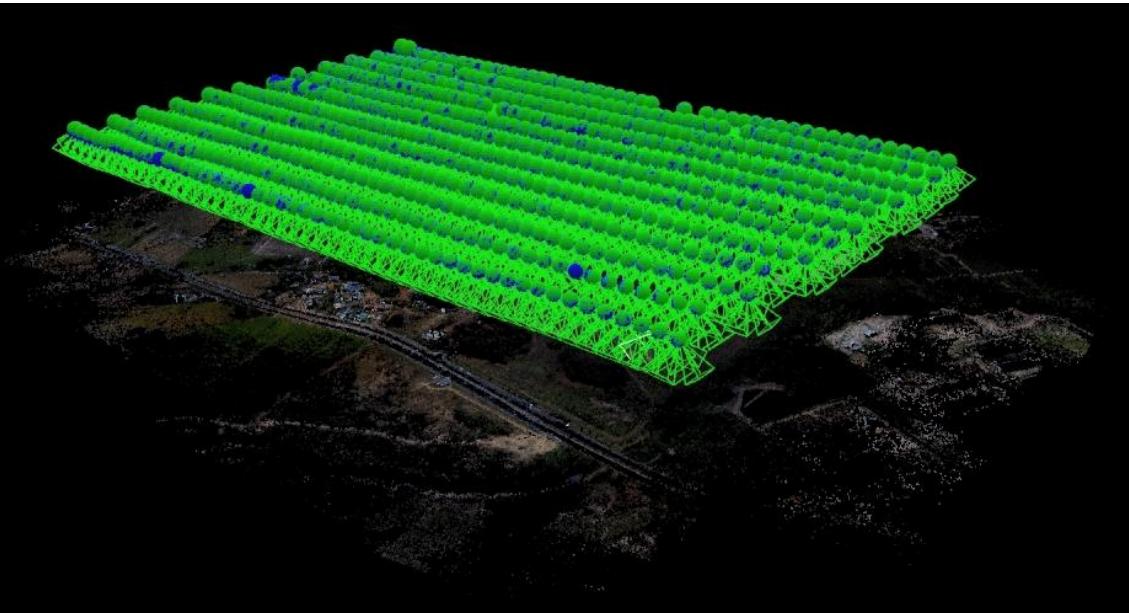
รูปแบบที่สามารถเลือกใช้ในการประมวลผลข้อมูลภาพถ่ายจากระบบกล้องเฉียง

Rely on relatives	To be used if the rig relatives (translations and rotations) should stay fixed and not be optimized/modified.
Optimize Relative Rotation	Will find matches across all cameras and optimize the rotations accordingly (the translations are fixed).
Optimize Relative Rotation with a subset of secondaries	Same as Optimize Relative Rotation but reducing the number of rig instances in the computation to decrease processing time. This is recommended for multispectral cameras in Pix4D's camera model database. The results are similar to Optimize Relative Rotation (but faster).
Optimize Independently	It allows the relatives to take different values for different rig instances, for example in case of vibrations. This would make sense for rigs with larger cameras.
Disable rig	Calibrate ignoring the rig constraints.
Calibrate rig	Option to obtain the rig constraints (both translation and rotation). Requires GCPs for scale.

การประมวลผลโดยคำนึงถึงพารามิเตอร์จับยึดกล้อง

VS

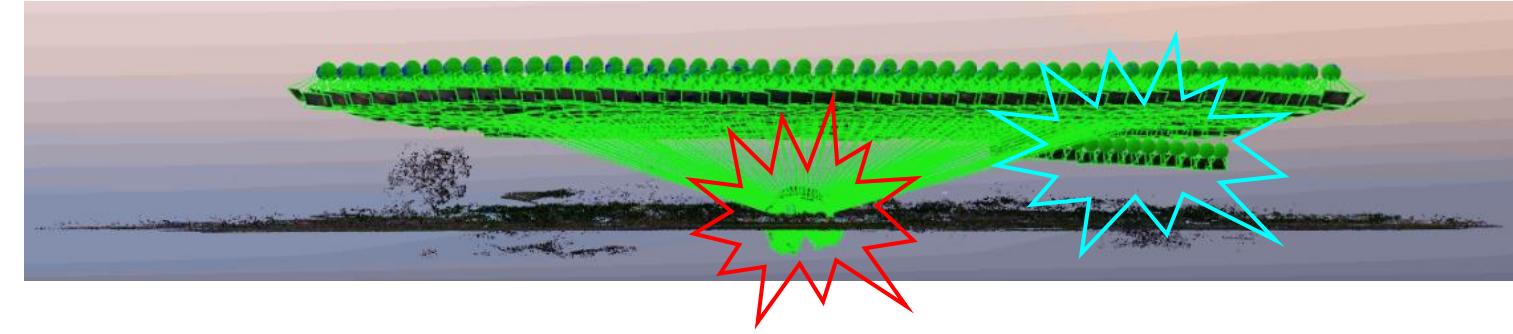
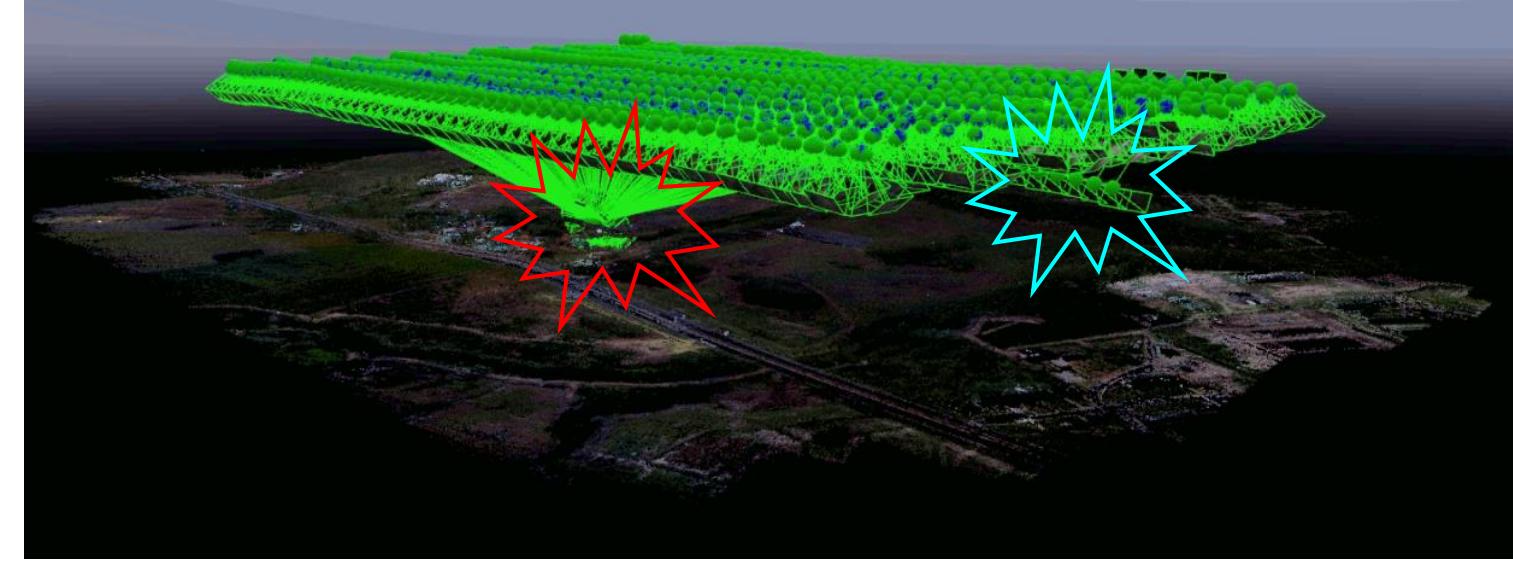
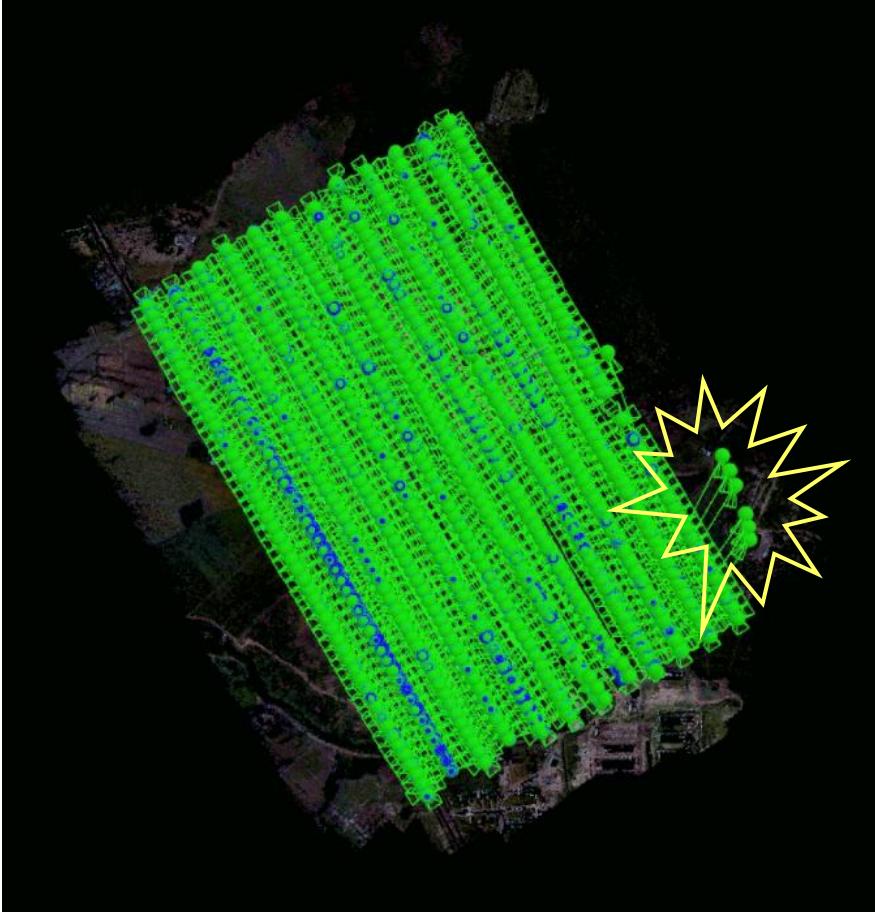
การประมวลผลโดยให้กล้องแต่ละกล้อง เป็นอิสระต่อกัน



พอยต์คลาวด์ตัวแทนภูมิประเทศมีระดับผิดปกติ

EOP ของกล้องเฉียงจากชุดกล้องเดียวกันปรากฏในตำแหน่งและมุมเอียงไม่สอดคล้องกับภาพ

แบบจำลองกล้อง: แบบไม่คำนึงอุปกรณ์จับยึดกล้อง (Disable Camera-rig)



- การสร้างแบบจำลองทางคณิตศาสตร์เป็นการกำหนดพารามิเตอร์การวางแผนตัวของกล้องรองที่อ้างอิงสัมพัทธ์กับกล้องหลักดังที่กล่าวมาแล้ว ซึ่งจะเป็นค่าพารามิเตอร์ตามลักษณะการภาพการเลื่อนแกน (T_X, T_Y, T_Z) และการหมุนแกน (R_X, R_Y, R_Z)
- กำหนดให้ตัวไม่ทราบค่าของการจับยึดกล้องทั้ง 4 ตัว จำนวน 24 พารามิเตอร์ กำหนดให้มีความอิสระ (free) ในการคำนวณปรับแก้เชิงเลข เรียกในที่นี่ว่า “แบบจำลองกล้องแบบที่ 1” ทำการประมาณข้อมูลภาพถ่ายจากระบบกล้องหลายหัวร่วมกับข้อมูลจุดบังคับภาพถ่ายภาคพื้นดิน

แบบจำลองกล้องแบบที่ 1

พารามิเตอร์การเลื่อนแกน → ค่าบังคับอิสระ (Free constraint)
 พารามิเตอร์การหมุนแกน → ค่าบังคับอิสระ (Free constraint)



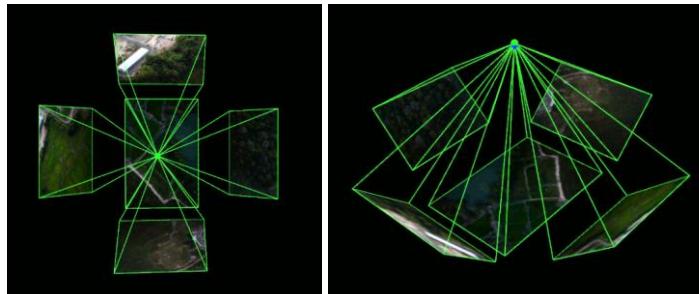
แบบจำลองกล้องแบบที่ 1

	T_X [m.]	T_Y [m.]	T_Z [m.]	R_X [deg.]	R_Y [deg.]	R_Z [deg.]
Reference Camera						
3DM_V3_MID_25.2mm_6000x4000 (RGB)	0.092	-0.301	0.009	-0.3520	44.1820	90.3790
Uncertainties (sigma)				0.006	0.007	0.009
3DM_V3_BWD_35.7mm_6000x4000 (RGB)	-0.229	0.269	-0.007	0.1820	-44.0710	-89.9520
Uncertainties (sigma)				0.006	0.007	0.009
3DM_V3_LFT_35.7mm_6000x4000 (RGB)	0.496	-14.535	-14.147	-48.4910	0.0790	-179.9520
Uncertainties (sigma)				0.006	0.007	0.009
3DM_V3_RIT_35.7mm_6000x4000 (RGB)	-0.351	0.897	-3.269	45.9500	1.2900	-0.4950
Uncertainties (sigma)				0.006	0.007	0.009

- กำหนดให้ค่าพารามิเตอร์การเลื่อนแกนเป็นค่าบังคับให้ใกล้ตามค่าคงที่ (constraint) และให้ค่าเข้าใกล้นี้มีค่าตามลักษณะทางกายภาพความเป็นจริงของระบบกล้องโดยการรังวัดตรวจสอบว่าค่าการเลื่อนแกนทางแกน X และแกน Y มีค่า +/-30 มิลลิเมตร การเลื่อนแกนทางแกน Z มีค่า +20 มิลลิเมตร พร้อมกับกำหนดน้ำหนักในรูปแบบความถูกต้องเป็น 5 มิลลิเมตร
- ในส่วนค่าพารามิเตอร์การหมุนแกน ไม่สามารถตรวจสอบค่าที่แน่นชัดได้ แต่สามารถวัดค่าประมาณแล้วนำมาใช้เป็นค่าเริ่มต้นเป็น +/-45 องศา พร้อมกำหนดน้ำหนักในรูปแบบความถูกต้องเป็น 5 องศา (แบบจำลองกล้องแบบที่ 2)

แบบจำลองกล้องแบบที่ 2

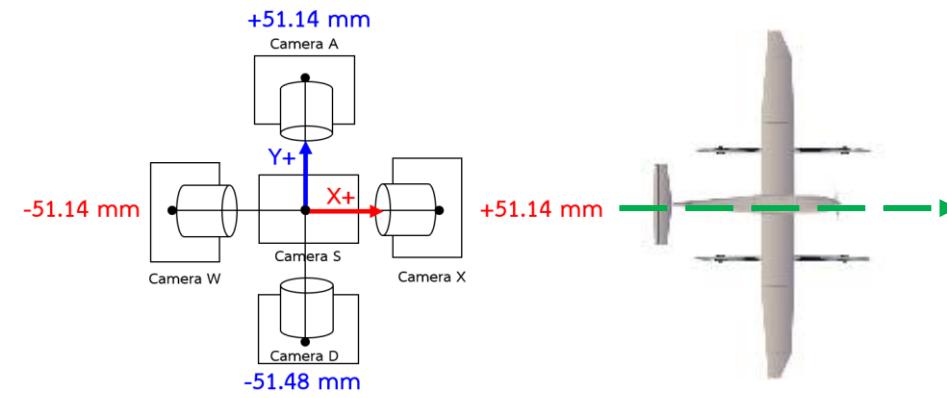
พารามิเตอร์การเลื่อนแกน → ค่าบังคับเข้าใกล้ (Constraint)
พารามิเตอร์การหมุนแกน → ค่าบังคับอิสระ (Free constraint)



แบบจำลองกล้องแบบที่ 2

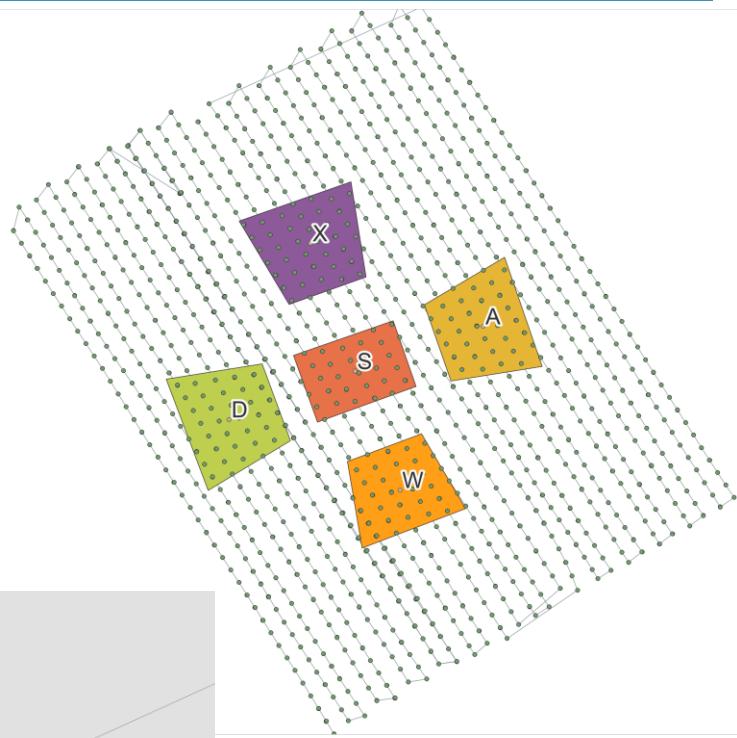
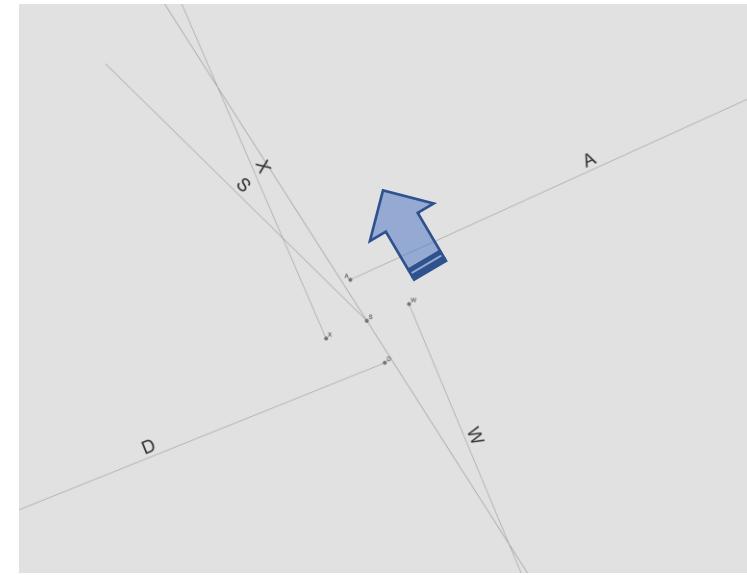
	T_X [m.]	T_Y [m.]	T_Z [m.]	R_X [deg.]	R_Y [deg.]	R_Z [deg.]
Reference Camera						
3DM_V3_MID_25.2mm_6000x4000 (RGB)						
3DM_V3_BWD_35.7mm_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.030	0.000	0.020	0.0000	45.0000	90.0000
Optimized values	-0.030	0.000	0.020	-0.4672	44.4599	90.4823
Uncertainties (sigma)				0.013	0.027	0.016
3DM_V3_FWD_35.7mm_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.030	0.000	0.020	0.0000	-45.0000	-90.0000
Optimized values	0.030	0.000	0.020	0.1368	-45.1517	-89.9893
Uncertainties (sigma)				0.013	0.002	0.019
3DM_V3_LFT_35.7mm_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.030	0.020	-45.0000	0.0000	-180.0000
Optimized values	0.000	-0.030	0.020	-43.5275	0.1859	-179.7811
Uncertainties (sigma)				0.013	0.027	0.037
3DM_V3_RIT_35.7mm_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	0.030	0.020	45.0000	0.0000	0.0000
Optimized values	0.000	0.030	0.020	44.3343	0.9347	-0.4073
Uncertainties (sigma)				0.013	0.026	0.037

ตัวอย่าง 2 กล้องวงจรปิดแบบเจล่องกล้อง CA502R

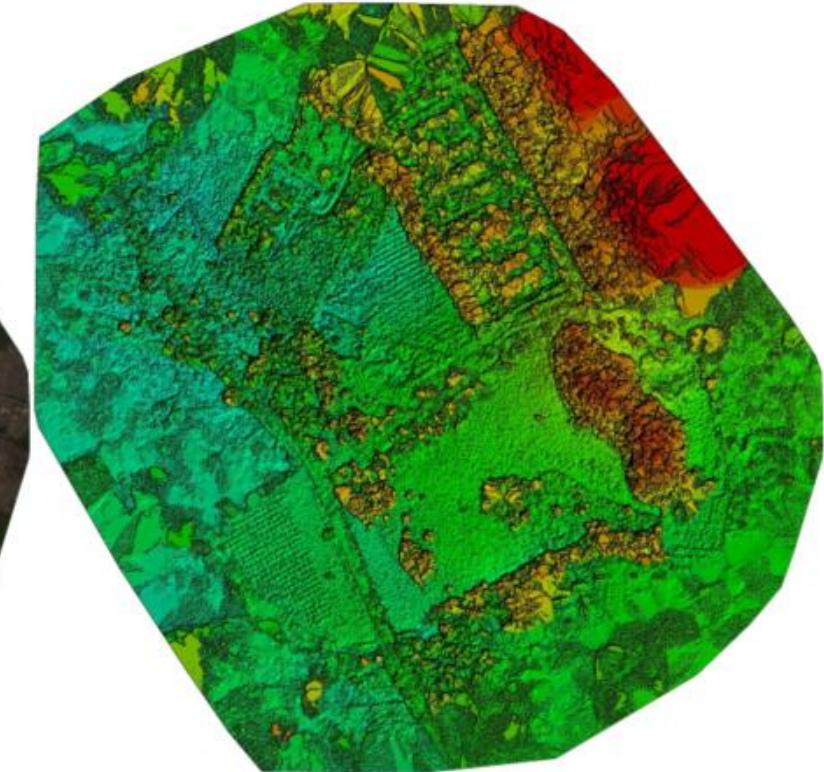
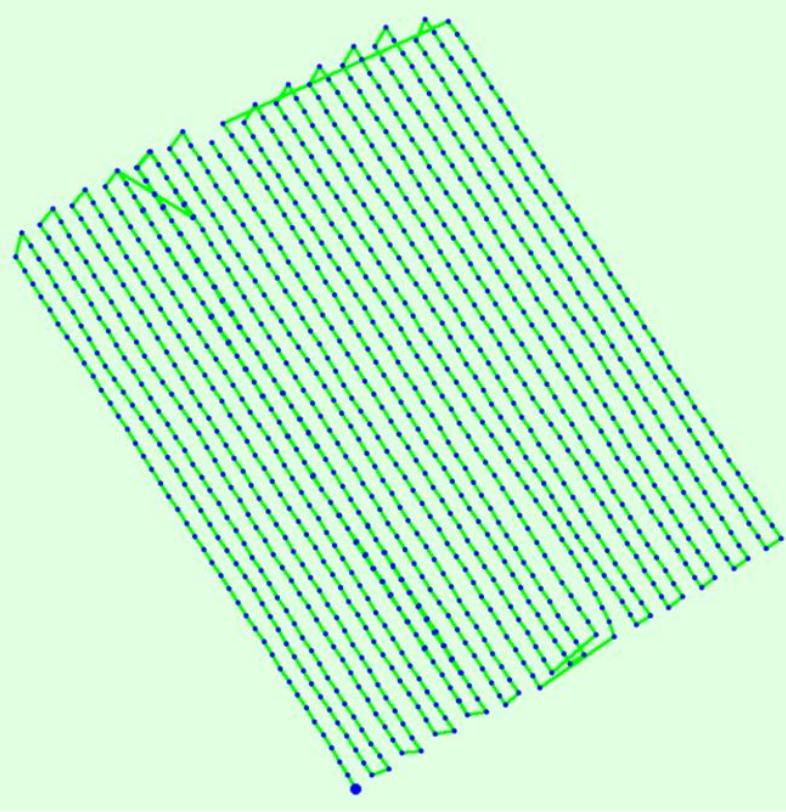


Camera Rig «CA502_OBLIQUE_RIG» Relatives. Images: 6065

	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB)	Reference Camera					
CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	0.051	-0.022	0.000	-45.000	-90.000
Optimized values	0.000	0.051	-0.022	0.316	-45.746	-89.986
Uncertainties (sigma)				0.009	0.007	0.014
CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.051	-0.022	0.000	45.000	90.000
Optimized values	0.000	-0.051	-0.022	0.389	44.285	89.550
Uncertainties (sigma)				0.010	0.007	0.014
CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.051	0.000	-0.022	45.000	0.000	0.000
Optimized values	-0.051	0.000	-0.022	43.396	-0.884	0.082
Uncertainties (sigma)				0.007	0.002	0.010
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.051	0.000	-0.022	-45.000	0.000	180.000
Optimized values	0.051	0.000	-0.022	-44.886	-0.357	179.113
Uncertainties (sigma)				0.010	0.013	0.001



ตำแหน่งจุดเปิดถ่ายภาพ 1,213 จุด ($1213 * 5 = 6,065$ ภาพ)



ตัวอย่าง 2 ผลลัพธ์แบบจำลองกล้อง CA502R

กรณีแทนค่าเริ่มต้นห่างไกลจากผลคำตอบ

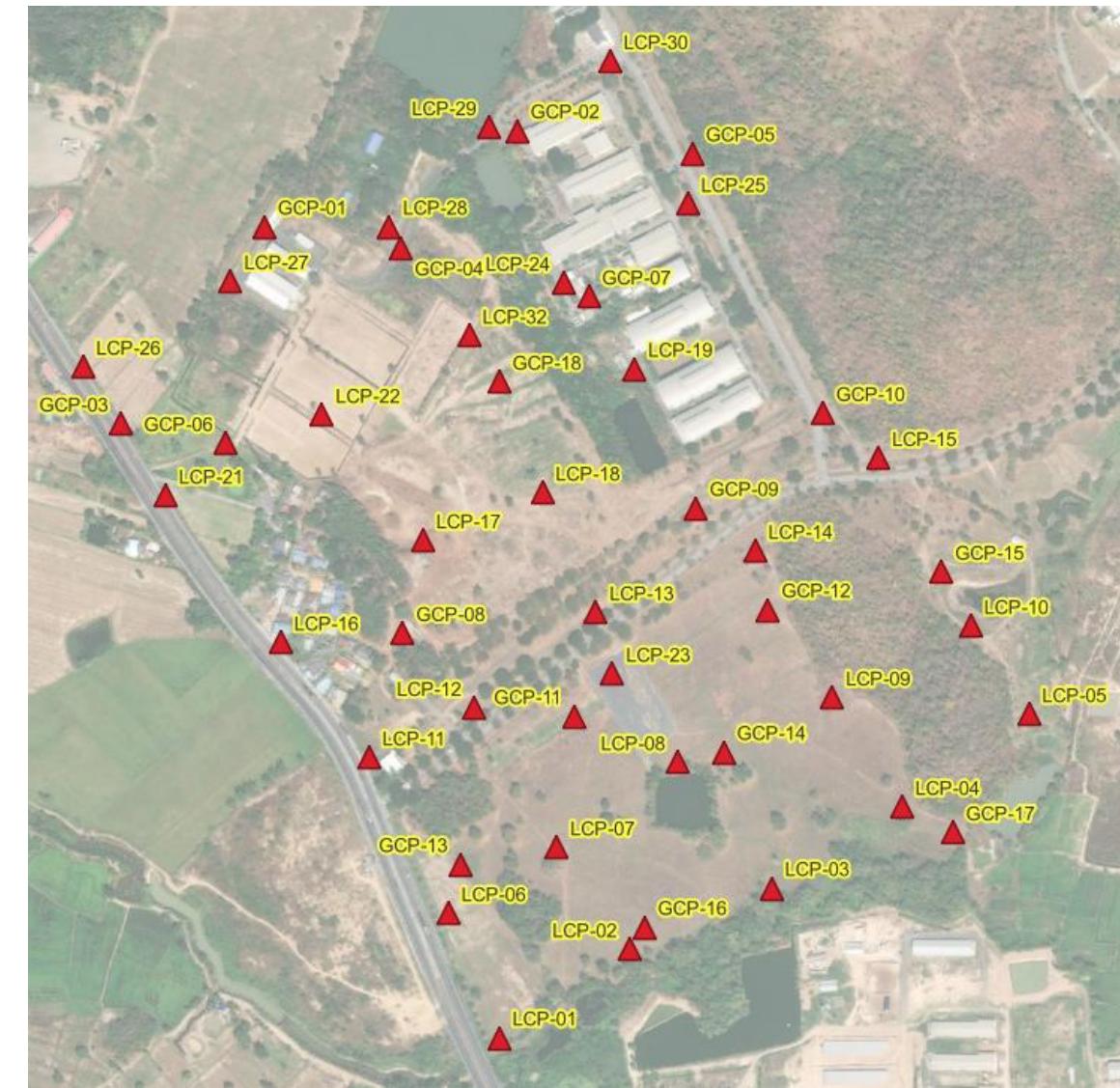
Page 24

Summary

Project	CA502R_FullBlock CU_SBR
Processed	2022-12-10 15:06:55
Camera Model Name(s)	CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB), CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB), CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB), CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB), CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)
Rig name(s)	«CA502_OBLIQUE_RIG»
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.59 cm / 1.02 in
Area Covered	1.575 km ² / 157.4591 ha / 0.61 sq. mi. / 389.2913 acres

Quality Check

Images	median of 7189 keypoints per image	✓
Dataset	6065 out of 6065 images calibrated (100%), all images enabled	✓
Camera Optimization	0.49% relative difference between initial and optimized internal camera parameters	✓
Matching	median of 233.552 matches per calibrated image	✓
Georeferencing	yes, 48 GCPs (48 3D), mean RMS error = 0.024 m	✓



Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XyfZ [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
LCP-01 (3D)	0.020/ 0.050	0.042	0.009	0.107	0.291	24 / 30
LCP-02 (3D)	0.020/ 0.050	0.007	-0.015	-0.021	0.218	25 / 30
LCP-03 (3D)	0.020/ 0.050	-0.006	0.008	0.031	0.177	25 / 30
LCP-04 (3D)	0.020/ 0.050	0.048	-0.016	0.054	0.211	27 / 30

ค่าเตษะเหลือหลังคำนวนปรับแก้ ดูปกติ!!!

GCP-11 (3D)	0.020/ 0.050	-0.014	0.003	-0.025	0.242	26 / 30
GCP-12 (3D)	0.020/ 0.050	-0.010	-0.021	-0.015	0.204	23 / 30
GCP-13 (3D)	0.020/ 0.050	0.005	0.007	-0.079	0.220	28 / 30
GCP-14 (3D)	0.020/ 0.050	0.026	-0.013	-0.001	0.231	26 / 30
GCP-15 (3D)	0.020/ 0.050	-0.021	0.005	-0.008	0.234	26 / 30
GCP-16 (3D)	0.020/ 0.050	0.010	-0.017	-0.074	0.456	24 / 30
GCP-17 (3D)	0.020/ 0.050	0.008	-0.008	-0.014	0.182	26 / 30
GCP-18 (3D)	0.020/ 0.050	-0.025	-0.002	-0.014	0.200	22 / 30
Mean [m]		0.000556	0.000124	0.003156		
Sigma [m]		0.023226	0.017734	0.031541		
RMS Error [m]		0.023233	0.017734	0.031698		

GCP-05 (3D)	0.020/ 0.050	-0.030	-0.016	-0.011	0.147	24 / 30
GCP-06 (3D)	0.020/ 0.050	-0.001	0.021	-0.004	0.284	25 / 30
GCP-07 (3D)	0.020/ 0.050	-0.002	-0.009	-0.001	0.156	28 / 30
GCP-08 (3D)	0.020/ 0.050	0.032	0.011	-0.036	0.257	26 / 30
GCP-09 (3D)	0.020/ 0.050	-0.008	-0.014	-0.028	0.165	24 / 30
GCP-10 (3D)	0.020/ 0.050	-0.014	-0.013	-0.026	0.075	26 / 30
GCP-11 (3D)	0.020/ 0.050	-0.014	0.003	-0.025	0.242	26 / 30
GCP-12 (3D)	0.020/ 0.050	-0.010	-0.021	-0.015	0.204	23 / 30
GCP-13 (3D)	0.020/ 0.050	0.005	0.007	-0.079	0.220	28 / 30
GCP-14 (3D)	0.020/ 0.050	0.026	-0.013	-0.001	0.231	26 / 30
GCP-15 (3D)	0.020/ 0.050	-0.021	0.005	-0.008	0.234	26 / 30
GCP-16 (3D)	0.020/ 0.050	0.010	-0.017	-0.074	0.456	24 / 30
GCP-17 (3D)	0.020/ 0.050	0.008	-0.008	-0.014	0.182	26 / 30
GCP-18 (3D)	0.020/ 0.050	-0.025	-0.002	-0.014	0.200	22 / 30
Mean [m]		0.000556	0.000124	0.003156		
Sigma [m]		0.023226	0.017734	0.031541		
RMS Error [m]		0.023233	0.017734	0.031698		

แต่ Exterior orientation ดูผิดปกติจากที่คาดหวัง (5mm/5องศา)

Camera Rig «CA502_OBLIQUE_RIG_WRONG_INITIAL» Relatives. Images: 6065

	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB)						
	Reference Camera					
CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	0.051	-0.022	0.000	-45.000	90.000
Optimized values	0.000	0.051	-0.022	-0.003	-44.996	49.122
Uncertainties (sigma)				4.700	4.242	6.772
CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.051	-0.022	0.000	45.000	90.000
Optimized values	0.000	-0.051	-0.022	0.383	44.275	89.553
Uncertainties (sigma)				18.435	14.114	27.745
CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.051	0.000	-0.022	45.000	0.000	0.000
Optimized values	-0.051	0.000	-0.022	43.394	-0.891	0.085
Uncertainties (sigma)				14.527	2.814	18.586
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.051	0.000	-0.022	-45.000	0.000	180.000
Optimized values	0.051	0.000	-0.022	-44.894	-0.364	179.104
Uncertainties (sigma)				20.393	24.252	2.504



ค่าสูงมาก ปกติ Uncertainty

$f < 5$ micron

$cx, cy < 15$ micron

และเมื่อพิจารณา Interior orientation ของแต่ละกล้องดูผิดปกติ

ค่าสูงมาก ค่าปกติ R1,R2,R3

Uncertainty

$< 0.009, 0.207, 1.425$

CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7142.860 [pixel] 28.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized values	7147.185 [pixel] 28.017 [mm]	3032.468 [pixel] 11.887 [mm]	1919.151 [pixel] 7.523 [mm]	-0.107	-0.002	-0.001	-0.001	0.001
Uncertainties (Sigma)	530.464 [pixel] 2.079 [mm]	426.064 [pixel] 1.670 [mm]	322.329 [pixel] 1.264 [mm]	0.519	4.658	12.364	0.011	0.014

CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11061.139 [pixel] 43.360 [mm]	3072.692 [pixel] 12.045 [mm]	2019.980 [pixel] 7.910 [mm]	-8.821	-0.060	0.113	-5.358	4.174
Uncertainties (Sigma)	1322.409 [pixel] 5.184 [mm]	50.490 [pixel] 0.198 [mm]	51.106 [pixel] 0.200 [mm]	7.828	203.300	1388.355	0.689	0.533

CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11031.186 [pixel] 43.242 [mm]	3007.076 [pixel] 11.788 [mm]	1945.948 [pixel] 7.628 [mm]	0.017	-0.360	0.941	0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	890.130 [pixel] 3.489 [mm]	3553.054 [pixel] 13.928 [mm]	2840.811 [pixel] 11.136 [mm]	4.858	102.351	657.572	0.105	0.108

CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11002.366 [pixel] 43.129 [mm]	3065.797 [pixel] 12.018 [mm]	1926.759 [pixel] 7.553 [mm]	0.001	-0.203	0.478	0.001	-0.000
Uncertainties (Sigma)	819.614 [pixel] 3.213 [mm]	4817.693 [pixel] 18.885 [mm]	2729.370 [pixel] 10.699 [mm]	4.477	95.798	617.676	0.082	0.145

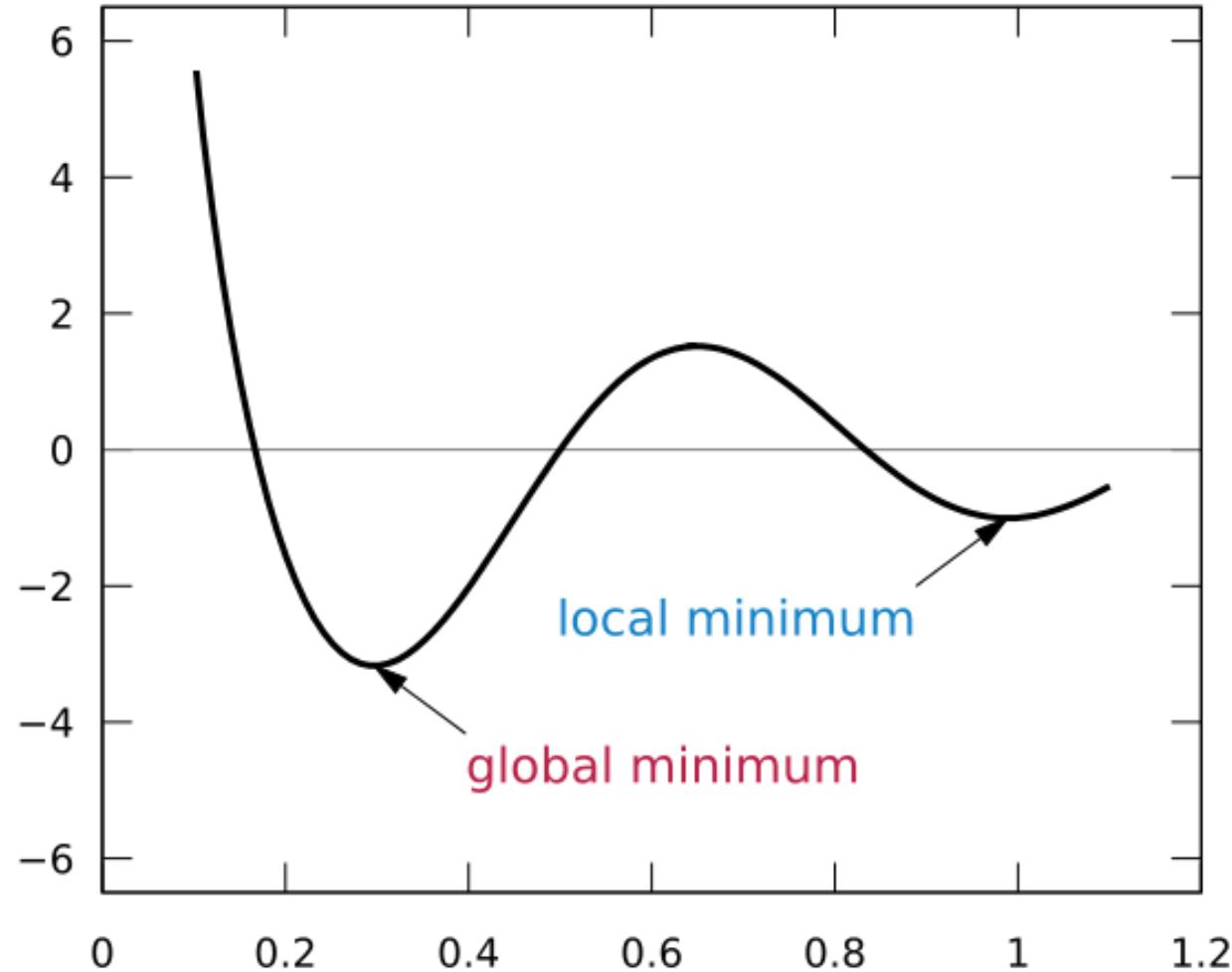
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11045.483 [pixel] 43.298 [mm]	3016.622 [pixel] 11.825 [mm]	1952.256 [pixel] 7.653 [mm]	-0.007	-0.276	1.783	0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	992.738 [pixel] 3.892 [mm]	4646.858 [pixel] 18.216 [mm]	3960.731 [pixel] 15.526 [mm]	5.498	112.836	693.682	0.145	0.138

A system with two minima

The Levenberg-Marquardt curve-fitting method is a combination of two minimization methods: the gradient descent method and the Gauss-Newton method. In the gradient descent method, the sum of the squared errors is reduced by updating the parameters in the steepest-descent direction. In the Gauss-Newton method, the sum of the squared errors is reduced by assuming the least square function is locally quadratic and finding the minimum of the quadratic. The Levenberg-Marquardt method acts more like a gradient-descent method when the parameters are far from their optimal value and acts more like the Gauss-Newton method when the parameters are close to their optimal value. This document describes these methods and illustrates the use of software to solve nonlinear least squares curve-fitting problems.



เมื่อพิจารณา Interior orientation ของแต่ละกล้อง (5mm/5องศา)

Internal Camera Parameters

CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7142.860 [pixel] 28.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	7147.838 [pixel] 28.020 [mm]	3030.942 [pixel] 11.881 [mm]	1919.940 [pixel] 7.526 [mm]	-0.106	-0.006	0.006	-0.001	0.001
Uncertainties (Sigma)	0.252 [pixel] 0.001 [mm]	0.231 [pixel] 0.001 [mm]	0.171 [pixel] 0.001 [mm]	0.000	0.003	0.007	0.000	0.000

CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11059.523 [pixel] 43.353 [mm]	3082.015 [pixel] 12.081 [mm]	1962.364 [pixel] 7.692 [mm]	-0.013	-0.032	0.113	0.001	0.001
Uncertainties (Sigma)	0.402 [pixel] 0.002 [mm]	2.287 [pixel] 0.009 [mm]	1.391 [pixel] 0.005 [mm]	0.002	0.049	0.327	0.000	0.000

CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11033.312 [pixel] 43.251 [mm]	3006.846 [pixel] 11.787 [mm]	1945.103 [pixel] 7.625 [mm]	0.012	-0.319	0.956	0.000	-0.001
Uncertainties (Sigma)	0.459 [pixel] 0.002 [mm]	1.892 [pixel] 0.007 [mm]	1.452 [pixel] 0.006 [mm]	0.003	0.055	0.352	0.000	0.000

CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11004.383 [pixel] 43.137 [mm]	3065.859 [pixel] 12.018 [mm]	1925.817 [pixel] 7.549 [mm]	0.002	-0.214	0.521	0.000	-0.000
Uncertainties (Sigma)	0.427 [pixel] 0.002 [mm]	2.497 [pixel] 0.010 [mm]	1.411 [pixel] 0.006 [mm]	0.002	0.052	0.333	0.000	0.000

CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB). Sensor Dimensions: 23.520 [mm] x 15.680 [mm]

EXIF ID: ILCE-5100_0.0_6000x4000

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	10969.400 [pixel] 43.000 [mm]	3000.000 [pixel] 11.760 [mm]	2000.000 [pixel] 7.840 [mm]	-0.048	0.037	-0.011	-0.000	-0.001
Optimized Values	11045.945 [pixel] 43.300 [mm]	3016.789 [pixel] 11.826 [mm]	1952.475 [pixel] 7.654 [mm]	-0.013	-0.173	1.245	0.001	0.000
Uncertainties (Sigma)	0.521 [pixel] 0.002 [mm]	2.468 [pixel] 0.010 [mm]	1.207 [pixel] 0.008 [mm]	0.003	0.060	0.368	0.000	0.000

Exterior orientation ได้ค่าตามที่คาดหวัง

Camera Rig «CA502_OBLIQUE_RIG» Relatives. Images: 6065



	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB)	Reference Camera					
CA502R_RIGHT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	0.051	-0.022	0.000	-45.000	-90.000
Optimized values	0.000	0.051	-0.022	0.316	-45.746	-89.986
Uncertainties (sigma)				0.009	0.007	0.014
CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.051	-0.022	0.000	45.000	90.000
Optimized values	0.000	-0.051	-0.022	0.389	44.285	89.550
Uncertainties (sigma)				0.010	0.007	0.014
CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.051	0.000	-0.022	45.000	0.000	0.000
Optimized values	-0.051	0.000	-0.022	43.396	-0.884	0.082
Uncertainties (sigma)				0.007	0.002	0.010
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.051	0.000	-0.022	-45.000	0.000	180.000
Optimized values	0.051	0.000	-0.022	-44.886	-0.357	179.113
Uncertainties (sigma)				0.010	0.013	0.001

Ground Control Points

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
LCP-01 (3D)	0.020/ 0.050	0.033	0.011	0.010	0.176	30 / 30
LCP-02 (3D)	0.020/ 0.050	0.008	-0.010	0.006	0.226	30 / 30
LCP-03 (3D)	0.020/ 0.050	-0.007	0.013	0.024	0.180	30 / 30
LCP-04 (3D)	0.020/ 0.050	0.056	-0.020	0.043	0.171	30 / 30
LCP-05 (3D)	0.020/ 0.050	-0.013	-0.004	-0.024	0.171	30 / 30
LCP-06 (3D)	0.020/ 0.050	0.007	0.030	-0.046	0.244	30 / 30
LCP-07 (3D)	0.020/ 0.050	0.043	0.022	0.053	0.258	30 / 30
LCP-08 (3D)	0.020/ 0.050	0.004	0.004	0.043	0.240	30 / 30
LCP-09 (3D)	0.020/ 0.050	-0.003	-0.034	0.036	0.312	30 / 30
LCP-10 (3D)	0.020/ 0.050	0.019	-0.046	0.028	0.211	30 / 30
LCP-11 (3D)	0.020/ 0.050	0.032	0.021	0.023	0.286	30 / 30
LCP-12 (3D)	0.020/ 0.050	0.022	0.002	0.014	0.246	30 / 30
LCP-13 (3D)	0.020/ 0.050	-0.027	-0.016	0.027	0.239	30 / 30
LCP-14 (3D)	0.020/ 0.050	-0.000	-0.018	0.009	0.253	30 / 30
LCP-15 (3D)	0.020/ 0.050	-0.014	-0.009	0.001	0.077	30 / 30
LCP-16 (3D)	0.020/ 0.050	0.018	0.021	0.030	0.171	30 / 30
LCP-17 (3D)	0.020/ 0.050	-0.010	0.007	0.028	0.185	30 / 30
LCP-18 (3D)	0.020/ 0.050	0.088	-0.030	-0.012	0.165	30 / 30
LCP-19 (3D)	0.020/ 0.050	-0.011	-0.018	-0.016	0.161	30 / 30
LCP-21 (3D)	0.020/ 0.050	0.004	0.031	0.042	0.239	30 / 30
LCP-22 (3D)	0.020/ 0.050	-0.030	0.016	0.010	0.186	30 / 30
LCP-23 (3D)	0.020/ 0.050	-0.015	-0.009	0.018	0.228	30 / 30
LCP-24 (3D)	0.020/ 0.050	-0.013	0.009	0.013	0.335	30 / 30
LCP-25 (3D)	0.020/ 0.050	-0.030	-0.031	0.016	0.134	30 / 30
LCP-26 (3D)	0.020/ 0.050	0.002	0.024	0.018	0.242	30 / 30
LCP-27 (3D)	0.020/ 0.050	-0.018	0.013	0.016	0.125	30 / 30
LCP-28 (3D)	0.020/ 0.050	-0.022	0.017	-0.004	0.255	30 / 30
LCP-29 (3D)	0.020/ 0.050	-0.021	0.025	0.025	0.185	30 / 30
LCP-30 (3D)	0.020/ 0.050	0.002	-0.005	-0.010	0.137	30 / 30
LCP-32 (3D)	0.020/ 0.050	-0.016	0.036	0.050	0.224	30 / 30



ค่าเสี้ยงเหลือหลังคำนวณปรับแก้ เป็นปกติ

GCP-01 (3D)	0.020/ 0.050	-0.027	0.011	-0.038	0.233	30 / 30
GCP-02 (3D)	0.020/ 0.050	-0.008	-0.004	-0.019	0.316	30 / 30
GCP-03 (3D)	0.020/ 0.050	0.019	0.018	-0.027	0.284	30 / 30
GCP-04 (3D)	0.020/ 0.050	-0.020	0.002	-0.014	0.249	30 / 30
GCP-05 (3D)	0.020/ 0.050	-0.031	-0.030	-0.008	0.143	30 / 30
GCP-06 (3D)	0.020/ 0.050	-0.003	0.024	-0.030	0.284	30 / 30
GCP-07 (3D)	0.020/ 0.050	0.002	-0.011	-0.004	0.325	30 / 30
GCP-08 (3D)	0.020/ 0.050	0.030	0.008	-0.033	0.302	30 / 30
GCP-09 (3D)	0.020/ 0.050	-0.020	-0.007	-0.050	0.270	30 / 30
GCP-10 (3D)	0.020/ 0.050	-0.019	-0.012	-0.033	0.093	30 / 30
GCP-11 (3D)	0.020/ 0.050	-0.013	0.005	-0.034	0.229	30 / 30
GCP-12 (3D)	0.020/ 0.050	-0.016	-0.025	-0.017	0.260	30 / 30
GCP-13 (3D)	0.020/ 0.050	0.009	0.007	-0.073	0.276	30 / 30
GCP-14 (3D)	0.020/ 0.050	0.017	-0.012	-0.006	0.267	30 / 30
GCP-15 (3D)	0.020/ 0.050	-0.029	-0.001	-0.023	0.309	30 / 30
GCP-16 (3D)	0.020/ 0.050	0.017	-0.009	-0.037	0.172	30 / 30
GCP-17 (3D)	0.020/ 0.050	0.022	-0.018	-0.019	0.209	30 / 30
GCP-18 (3D)	0.020/ 0.050	-0.024	-0.001	-0.014	0.242	30 / 30
Mean [m]		-0.000117	-0.000097	-0.000178		
Sigma [m]		0.024438	0.018848	0.028810		
RMS Error [m]		0.024439	0.018848	0.028811		

ตัวอย่าง 2 ผลลัพธ์แบบจำลองกล้อง CA502R (เปรียบเทียบการแทนค่าเริ่มต้น)

Camera Rig «CA502_OBLIQUE_RIG_WRONG_INITIAL» Relatives. Images: 6065

Wrong Initial

	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB)						
CA502R_REFERENCE Camera						
Initial Values	0.000	0.051	-0.022	0.000	-45.000	90.000
Optimized values	0.000	0.051	-0.022	-0.003	-44.996	49.122
Uncertainties (sigma)				4.700	4.242	6.772
CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.051	-0.022	0.000	45.000	90.000
Optimized values	0.000	-0.051	-0.022	0.383	44.275	89.553
Uncertainties (sigma)				18.435	14.114	27.745
CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.051	0.000	-0.022	45.000	0.000	0.000
Optimized values	-0.051	0.000	-0.022	43.394	-0.891	0.085
Uncertainties (sigma)				14.527	2.814	18.586
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.051	0.000	-0.022	-45.000	0.000	180.000
Optimized values	0.051	0.000	-0.022	-44.894	-0.364	179.104
Uncertainties (sigma)				20.393	24.252	2.504



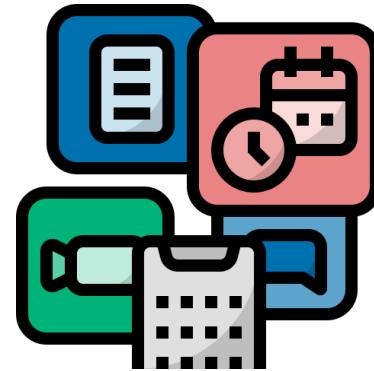
Correct Initial

Camera Rig «CA502_OBLIQUE_RIG» Relatives. Images: 6065

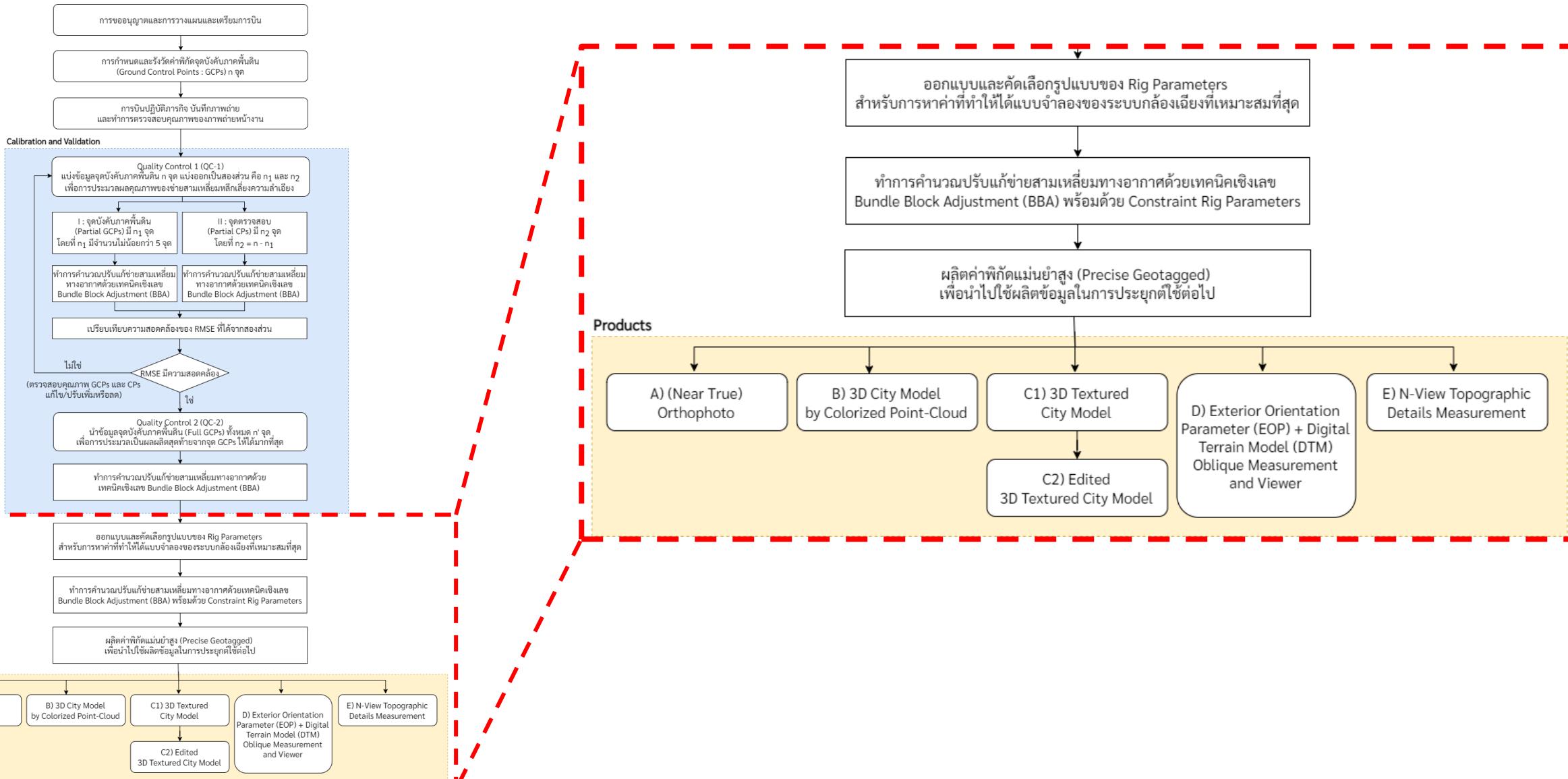
	Transl X[m]	Transl Y[m]	Transl Z[m]	Rot X[degree]	Rot Y[degree]	Rot Z[degree]
CA502R_NADIR_28.0_6000x4000 (RGB)						
CA502R_REFERENCE Camera						
Initial Values	0.000	0.051	-0.022	0.000	-45.000	-90.000
Optimized values	0.000	0.051	-0.022	0.316	-45.746	-89.986
Uncertainties (sigma)				0.009	0.007	0.014
CA502R_LEFT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.000	-0.051	-0.022	0.000	45.000	90.000
Optimized values	0.000	-0.051	-0.022	0.389	44.285	89.550
Uncertainties (sigma)				0.010	0.007	0.014
CA502R_REAR_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	-0.051	0.000	-0.022	45.000	0.000	0.000
Optimized values	-0.051	0.000	-0.022	43.396	-0.884	0.082
Uncertainties (sigma)				0.007	0.002	0.010
CA502R_FRONT_43.0_6000x4000 (RGB)						
Initial Values	0.051	0.000	-0.022	-45.000	0.000	180.000
Optimized values	0.051	0.000	-0.022	-44.886	-0.357	179.113
Uncertainties (sigma)				0.010	0.013	0.001

เปรียบเทียบ Exterior orientation
ระหว่างค่าเริ่มต้นถูกต้องกับห้างไกล

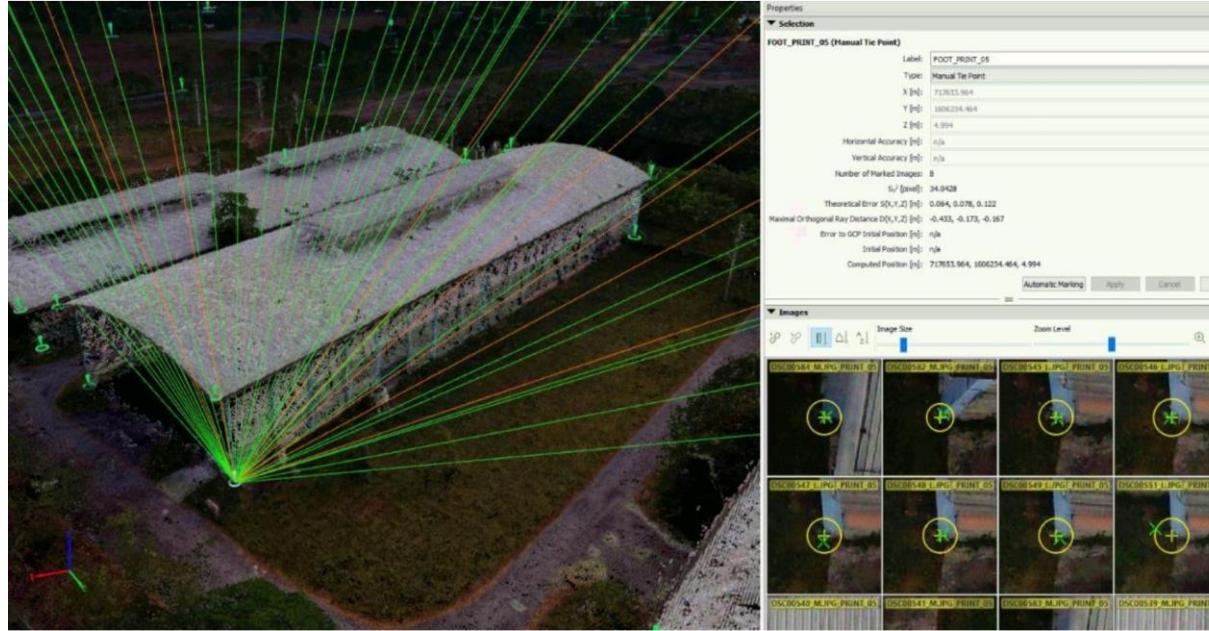
การประยุกต์ใช้สำหรับ งานทางด้านวิศวกรรม



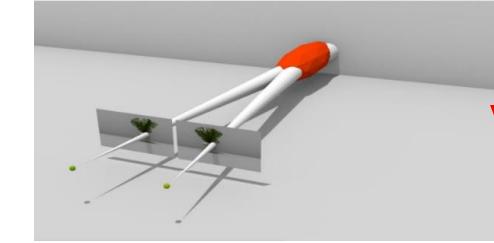
การประยุกต์ใช้สำหรับงานทางด้านวิศวกรรม



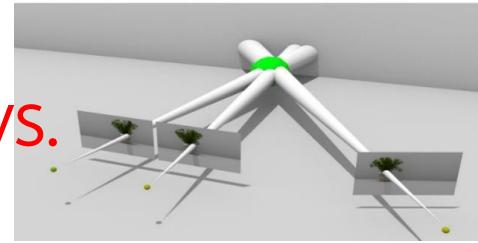
สามารถใช้ภาพจากโดรนรังวัดค่าพิกัด 3D ได้



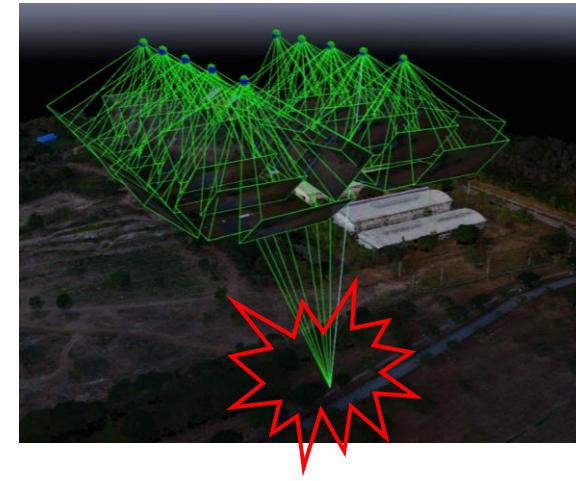
Stereophotogrammetry



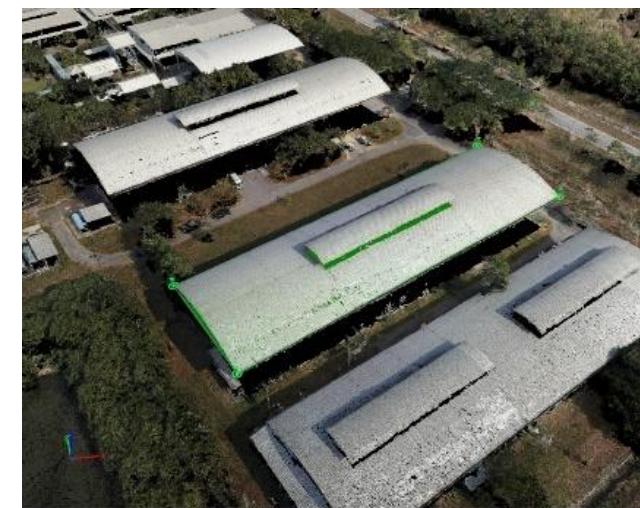
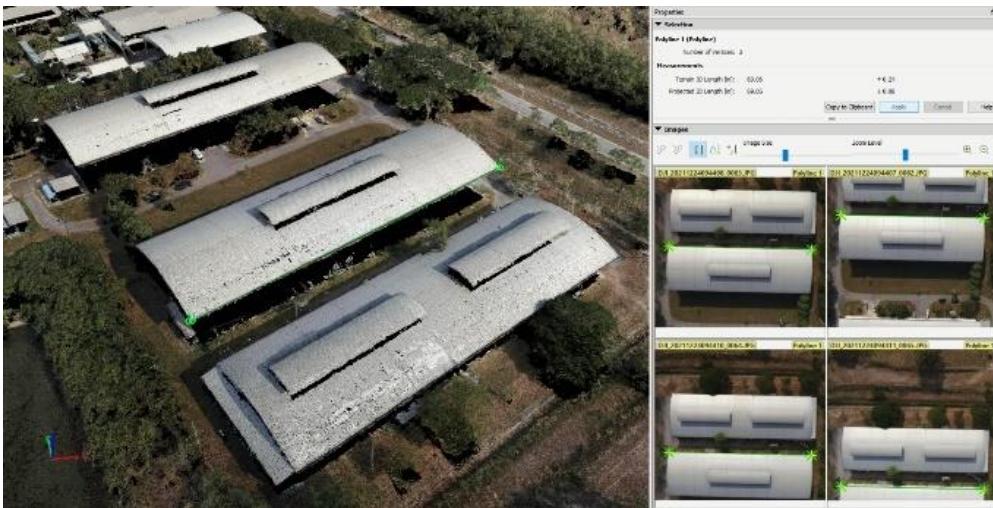
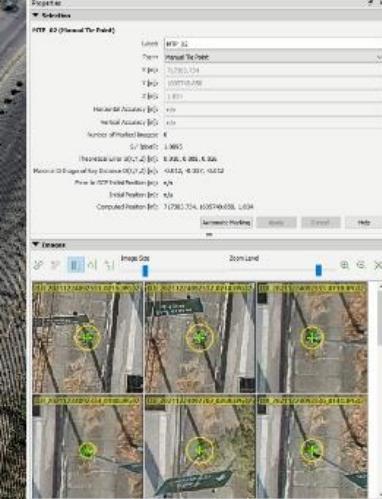
Multi View Geometry



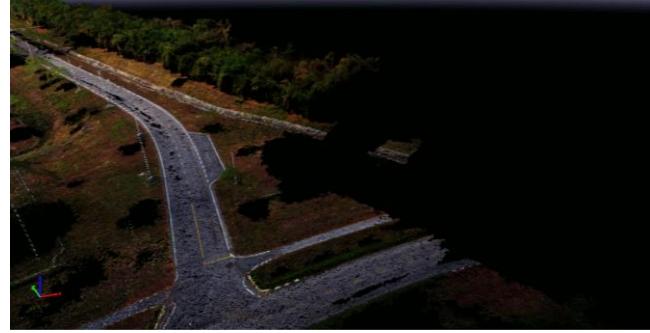
VS.



สามารถใช้ภาพจากโดรนรังวัดค่าพิกัด 3D ได้ (ข้อมูล Point - Line - Polygon)



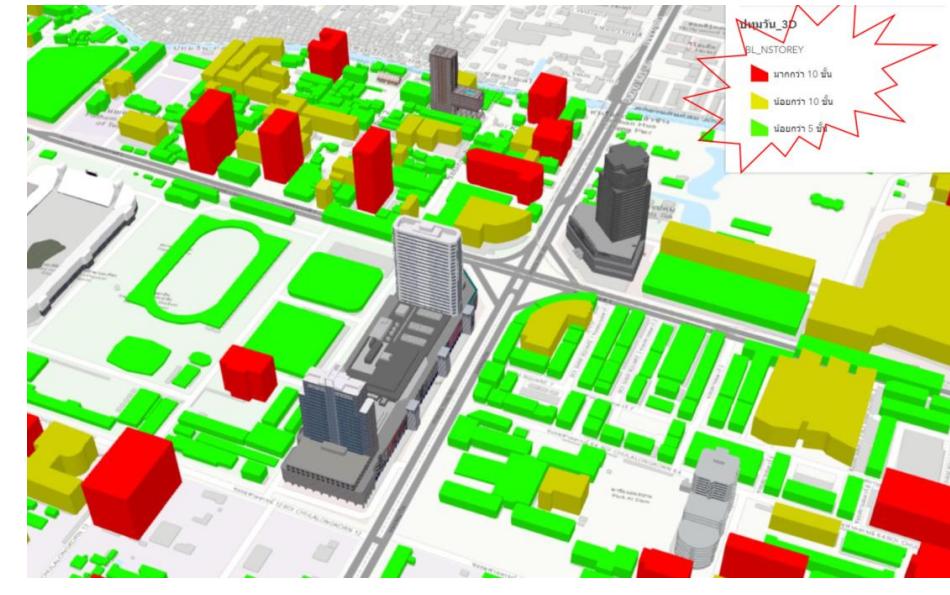
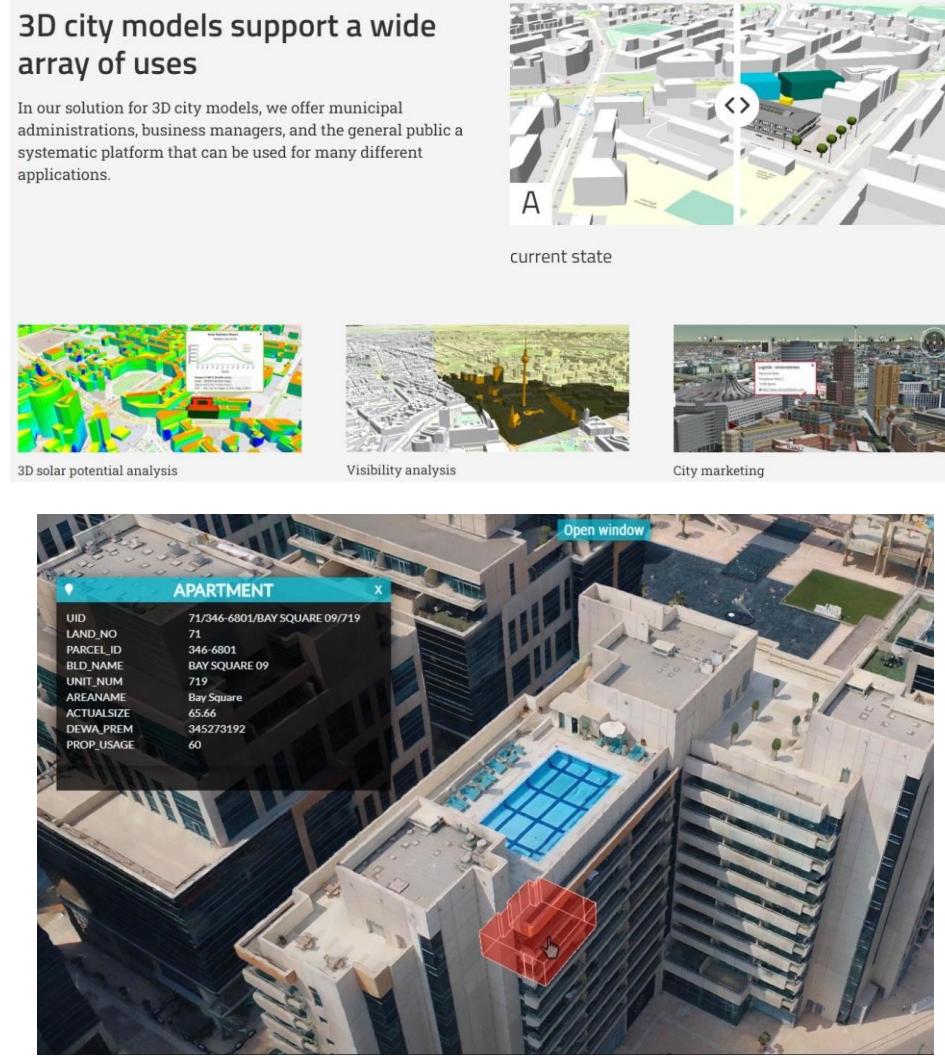
สามารถใช้ภาพจากโดรนผลิต Point cloud



รูปแบบที่ 1 (ภาพถ่ายดิจิทัลเท่านั้น)

รูปแบบที่ 2 (ภาพถ่ายดิจิทัลร่วมกับภาพถ่ายเฉียง)

สามารถใช้ประโยชน์จากภาพถ่ายมุมเฉียงและใช้ในการสร้างแบบจำลอง 3 มิติ

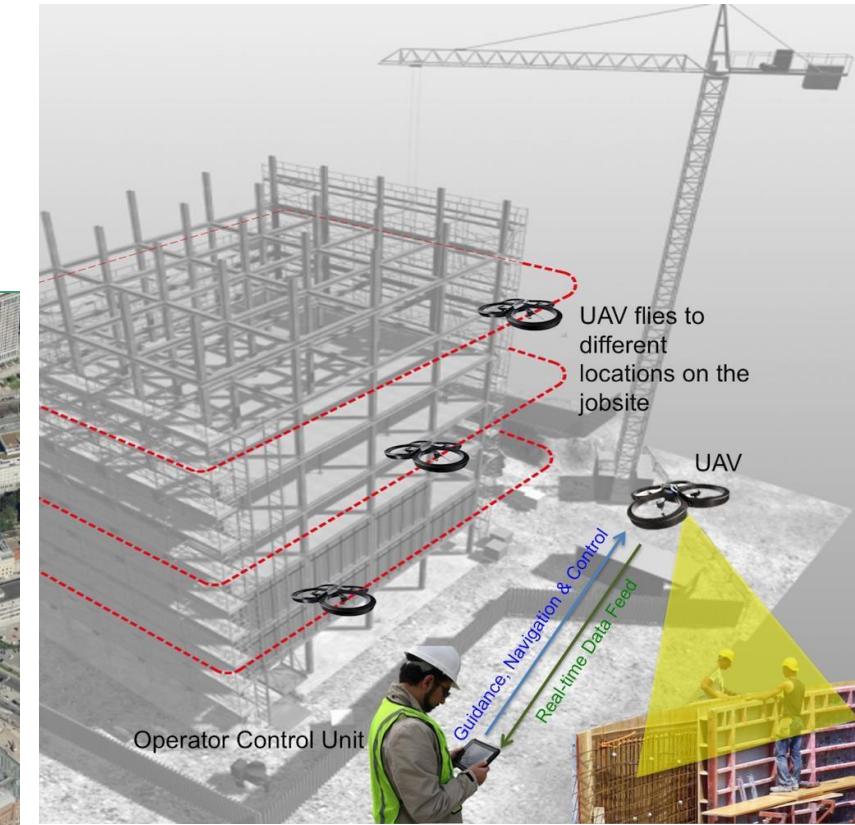


ระบบภาพถ่ายเฉียงช่วยในงานออกแบบภายใต้และช่วยตรวจสอบอาคารได้

Bangkok Digital Twin I



Oblique Viewer



- พิรวัฒน์ บรรณกุลพิพัฒน์. (2564). การพัฒนาแบบจำลองระบบกล้องหดเหลวที่บันทึกภาพทางอากาศยานไร้คนขับ สำหรับการผลิตแผนที่สามมิติและพอยต์คลาวด์ [วิทยานิพนธ์ปริญญาโท]
URL : <http://cuir.car.chula.ac.th/handle/123456789/80117>
- Bannakulpiphat, T., Santitamnont, P., & Maneenart. (2023). A CASE STUDY OF MULTI-HEAD CAMERA SYSTEMS ON UAV FOR THE GENERATION OF HIGH-QUALITY 3D MAPPING, Engineering Journal of Research and Development, 2023,33(4).
URL : <https://ph02.tci-thaijo.org/index.php/eit-researchjournal/article/view/246887>



Thank You