

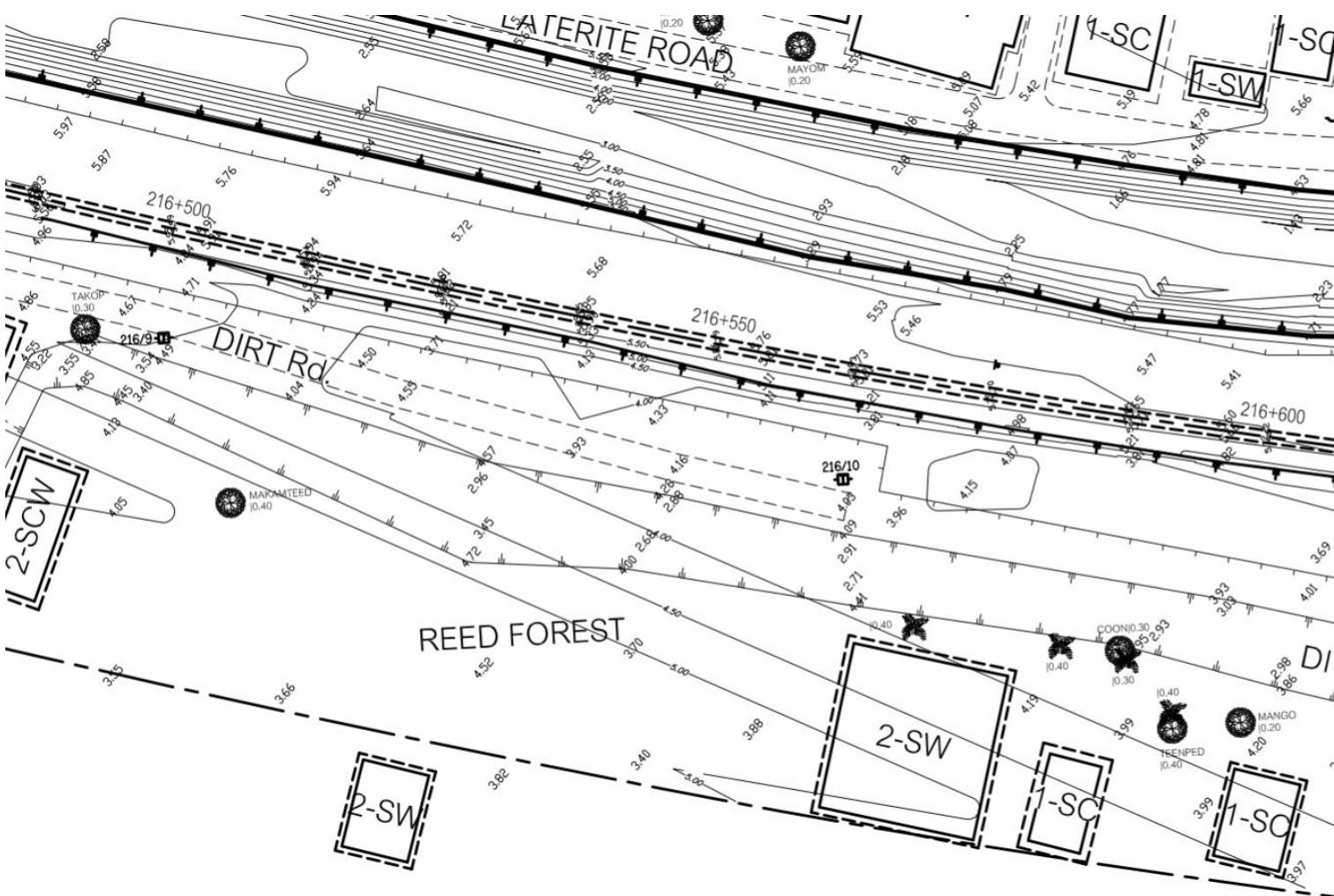
# การทำแผนที่ภูมิประเทศด้วยภาษาจีบู๊เกิล

รองศาสตราจารย์ ดร. ไพบูล สันติธรรมนนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาฯ

Email : Phisan.Chula@gmail.com

แผนที่ภูมิประเทศ  
สิ่งปลูกสร้าง และ<sup>ก</sup>  
สาธารณูปโภค<sup>ก</sup>  
สำหรับงาน  
ออกแบบและ  
ก่อสร้าง



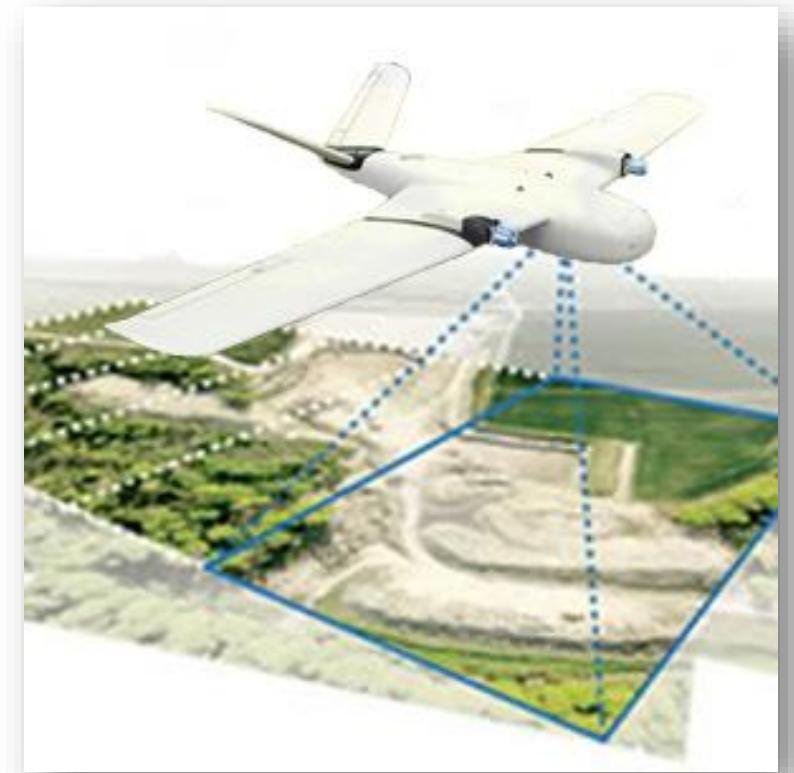


## แผนที่ภูมิประเทศ 1:1,000 หรือ 1:500

- ระยะทาง 1 มิลลิเมตรบนแผนที่ เท่ากับ 1 เมตรบนพื้นดิน
- ความถูกต้องในการระบุตำแหน่ง 0.25 เมตร (หรือ 0.125 เมตร)
- ความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง 0.25 เมตร (หรือ 0.125 เมตร) หรือดีกว่า ขึ้นกับวัตถุประสงค์
- เส้นชี้ความสูง ทุกๆ 0.10 / 0.5 / 1.0 เมตร หรือ ในรูปแบบ spot-height @0.1 เมตร

# Totalstaion GNSS RTK UAV

- ยุคเอวีสามารถใช้งานทดแทนได้หรือไม่ ???



# การบันทึกภาพถ่ายทางอากาศ

# เป้าหมายการถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่

- เป้าหมายการทำแผนที่คือ **รายละเอียดที่จะมองเห็น และความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง** ที่ต้องการ
- ในการทำแผนที่วิธีปกติ คือ มาตราส่วน (map scale) หรือ ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง (geospatial accuracy)
- สำหรับ UAV เราทำได้ GSD 2-5 เซนติเมตร
- → ทำให้ต้อง กำหนดความสูงบิน FOV ของกล้อง

PLANIMETRIC (X or Y) ACCURACY <sup>3</sup> (limiting rms error, meters)	TYPICAL MAP SCALE
0.0125	1:50
0.025	1:100
0.050	1:200
<hr/>	
0.125	1:500
0.25	1:1,000
0.50	1:2,000
1.00	1:4,000
1.25	1:5,000
2.50	1:10,000
5.00	1:20,000

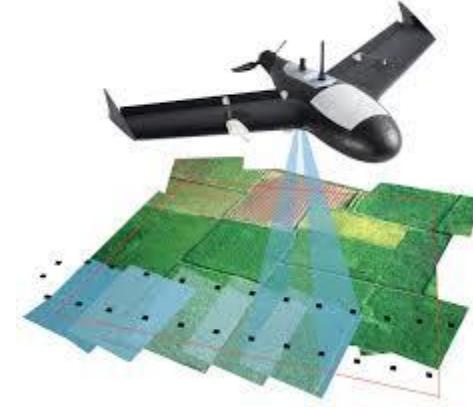
## 2. Vertical Accuracy:

Vertical map accuracy is defined as the rms error in evaluation in terms of the project's evaluation datum for well-defined points only. For Class 1. maps the limiting rms error in evaluation is set by the standard at *one-third* the indicated contour interval for well-defined points only. Spot heights shall be shown on the map within a limiting rms error of *one-sixth* of the contour interval.

# การบินถ่ายภาพทางอากาศ

## GSD=Ground Sampling Distance

- Small-format Camera
  - $< 4,096 \times 4,096$  pixel
  - GSD = 2 cm ... 10 cm.
- Medium-format Camera
  - $\geq 4,096 \times 4,096$  pixel
  - GSD = 5 cm ... 20 cm
- Large-format Camera e.g. DMC-III (RTSD)
  - $\geq 8,192 \times 8,192$  pixel ( $>67$ MP)
  - GSD = 15 cm ... 60 cm



# กล้องถ่ายภาพทางอากาศ กรมแผนที่ทหาร DMC II & DMC III



# การกำหนดจุดพิกัดอ้างอิง

- โครงข่ายรังวัดดาวเทียมจาก สถานี RTSD/DOL CORS
- งานระดับชั้น 3 ความถูกต้อง  $12 \sqrt{k} \text{ mm}$
- GNSS Precise Point Positioning (PPP)
  - ทางราบ  $\pm 2 \text{ cm}$
  - ทางดิ่ง  $\pm 5 \text{ cm}$
- Thai Geoid Model (TGM 2017)
  - $\pm 5 \text{ cm}$
  - @17 km สามารถใช้ PPP+TGM2017 ตรวจสอบงานระดับได้

หมุด SBR-01

ITRF2014 at Epoch 2020.94		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	-1180897.924 m	0.004 m
Y	6061691.634 m	0.008 m
Z	1589129.437 m	0.003 m
Latitude	$14^\circ 31' 24.77403'' \text{ N}$	0.003 m
Longitude	$101^\circ 01' 26.04472'' \text{ E}$	0.004 m
El. Height	27.089 m	0.008 m

Easting : 718098.485 m.

Northing : 1606595.794 m.

MSL (TGM2017) : 56.780 m.

# ประสิทธิภาพในการบินบันทึกภาพ

- Multi-Rotor (MR)
- ความเร็ว 5-10 เมตร ต่อ วินาที

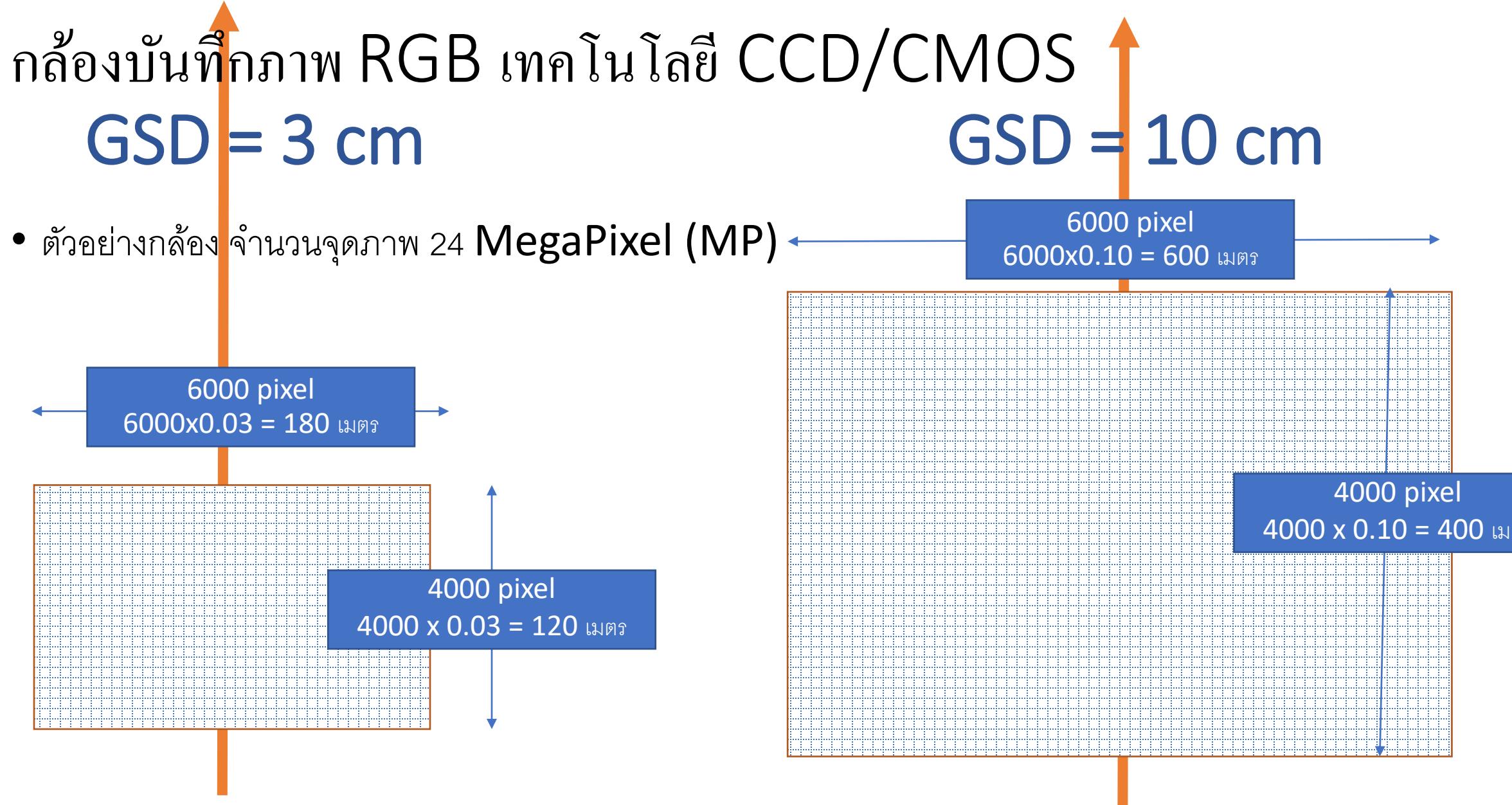


- Fix-wing (FW) VTOL/Tail-Sitter
- ความเร็ว 15-20 เมตรต่อวินาที



$$36 \text{ km/h} = 10 \text{ m/s}$$

$$72 \text{ km/h} = 20 \text{ m/s}$$



# Global shutter and rolling shutter

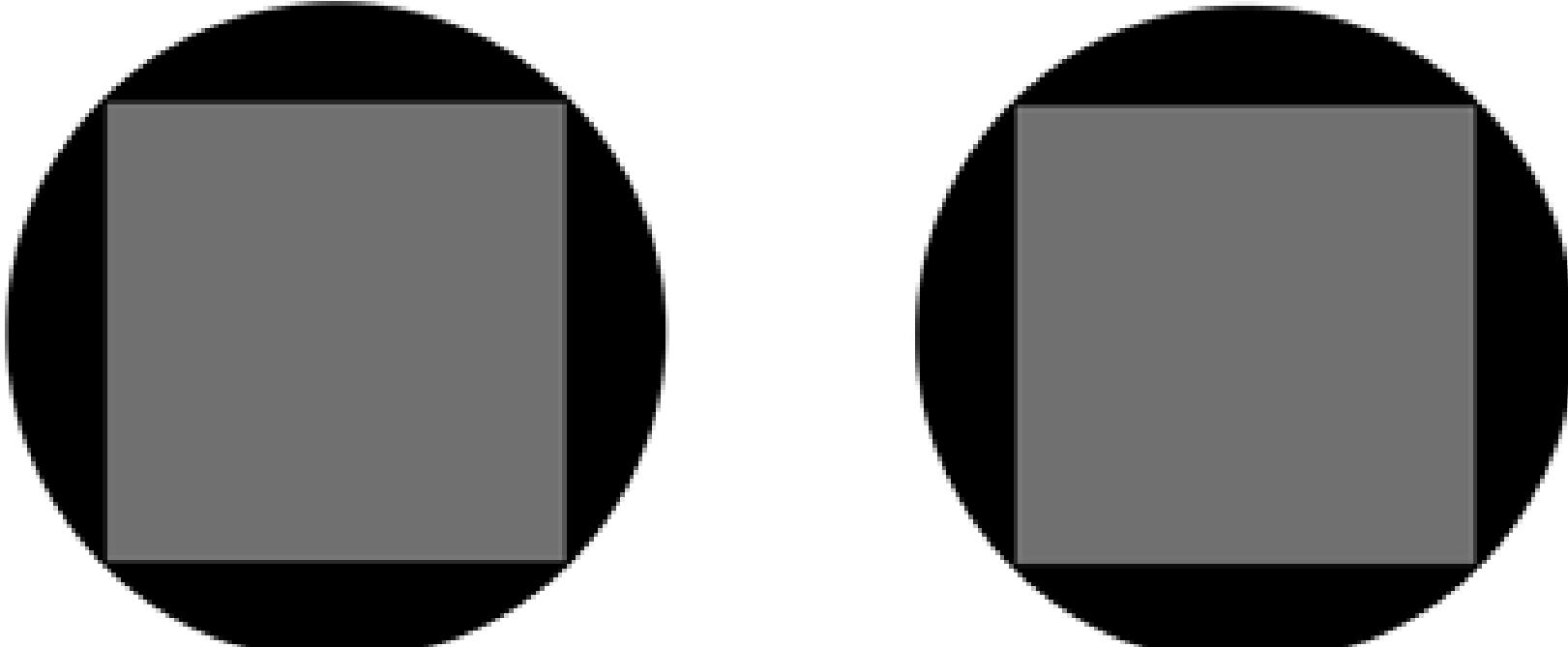


Figure 6: Camera movement estimated by the rolling shutter camera model. The green line follows the computed image positions. The blue dots represent the camera position at the start of the exposure. The blue lines represent the camera motion during the rolling shutter readout, re-scaled by a project dependant scaling factor for better visibility.

Median Camera Speed	8.0322 [m/s]
Median Camera Displacement During Sensor Readout)	0.4831 [m]
Median Rolling Shutter Readout Time	59.2952 [ms]

# Camera Calibration (การวัดสอบกล้อง)

radial distortion :  $k_1, k_2, k_3$

tangential distortion :  $p_1, p_2$

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

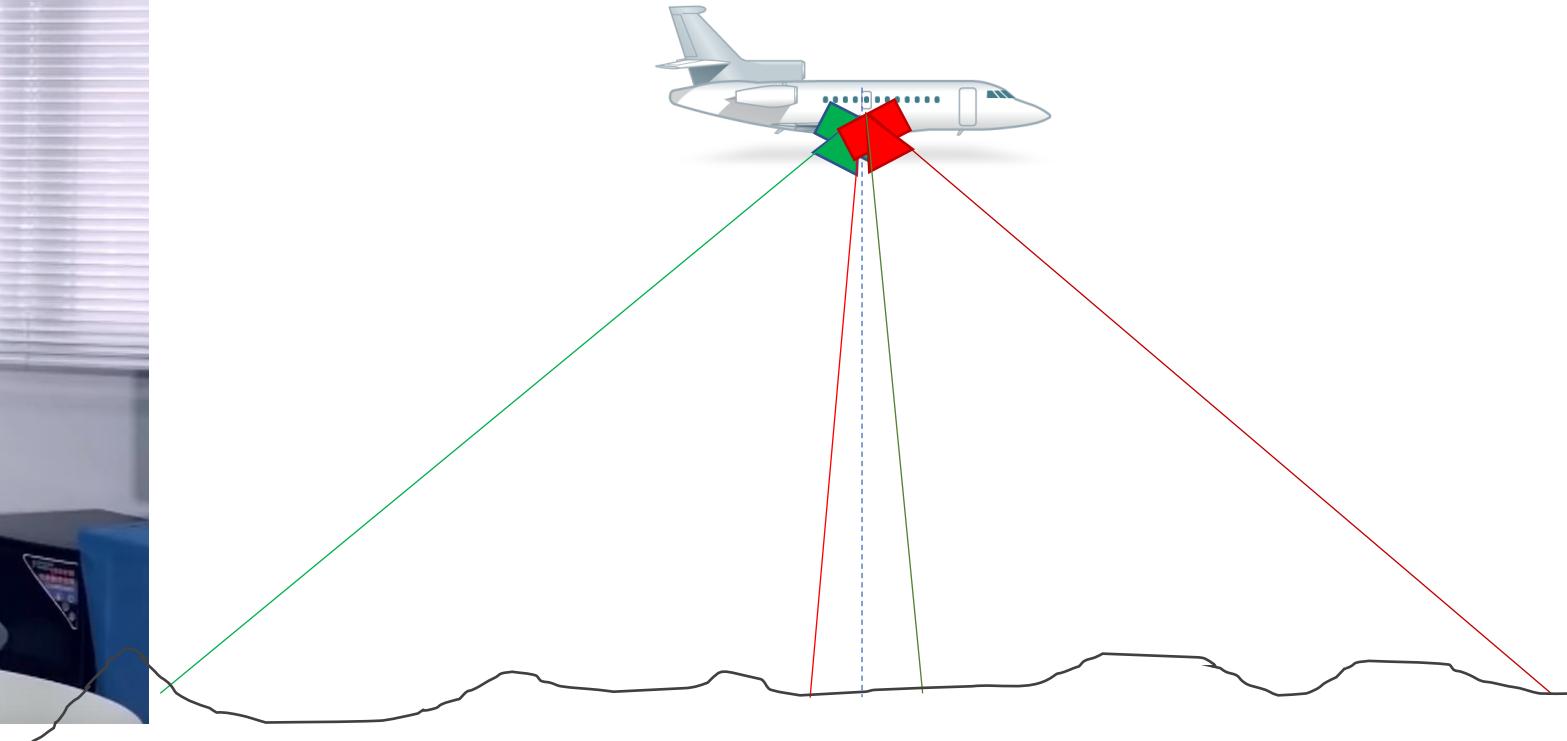
A UAV remote sensing system with a non-metric digital camera distortion correction model is given as follows.

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

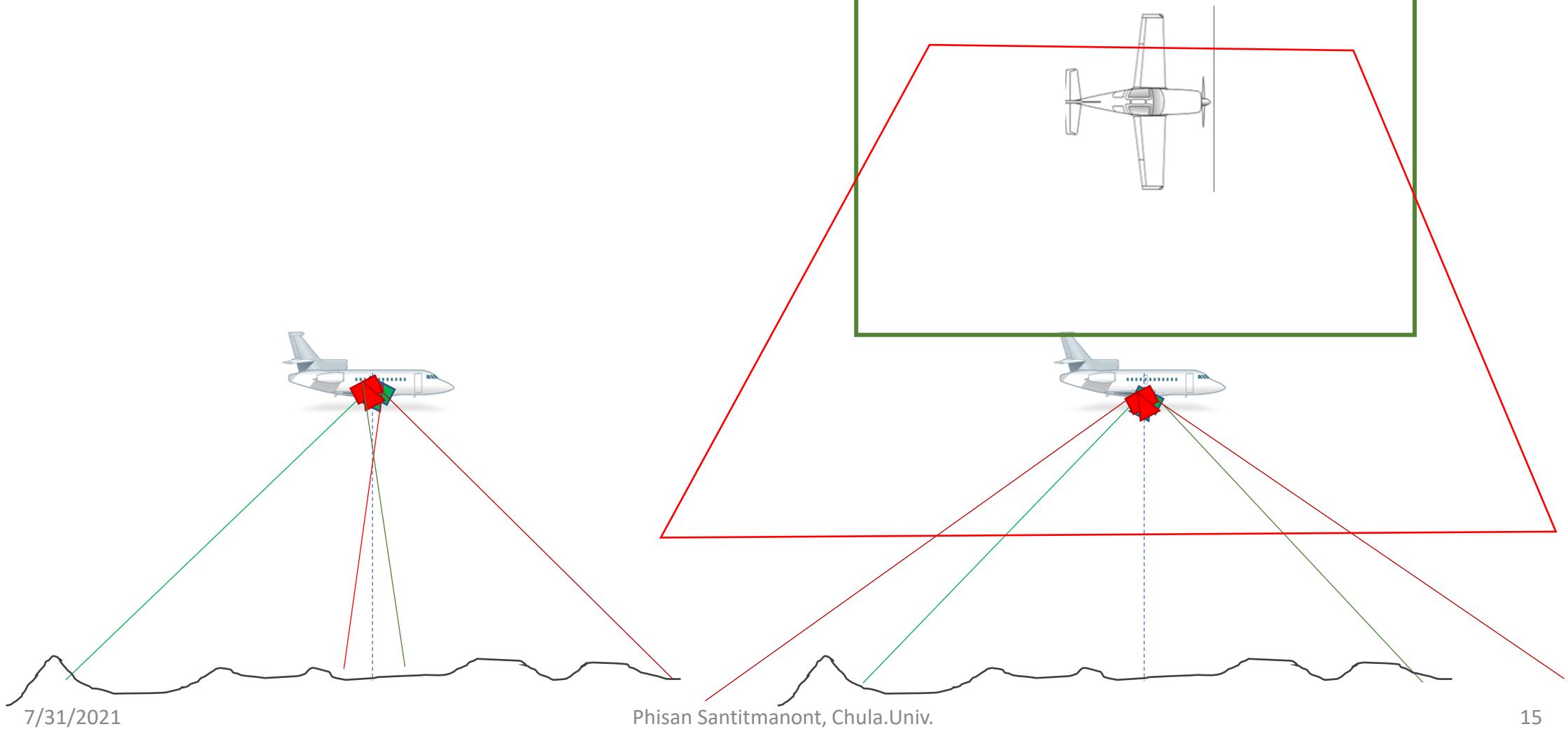
$$\Delta y = (y - y_0)(k_1 r^2 + k_2 r^4 + k_3 r^6) + p_2(r^2 + 2(y - y_0)^2) + 2p_1(x - x_0)(y - y_0)$$

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  $r = \sqrt{(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2}$

# Oblique Camera System

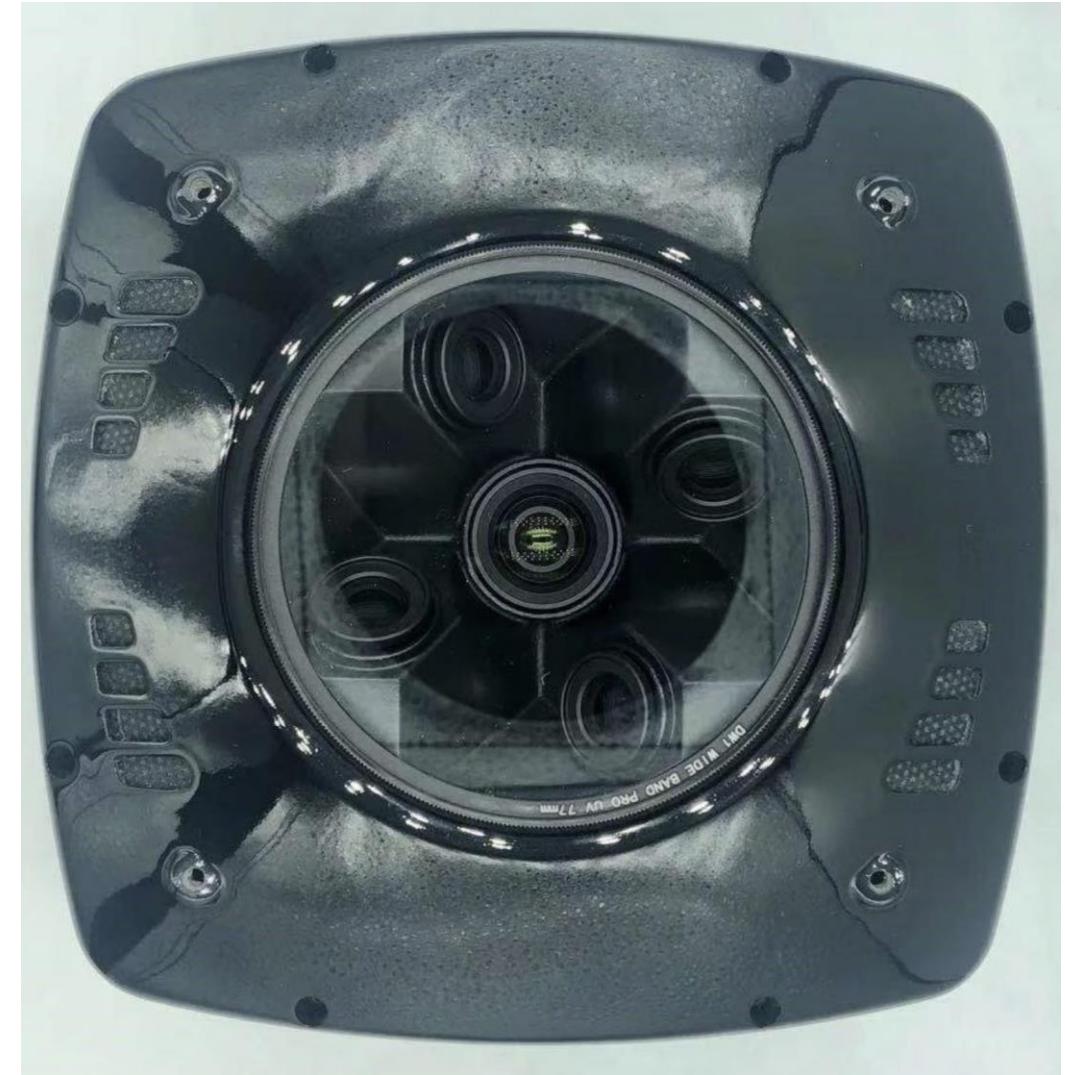


# Dual Camera System : Configuration



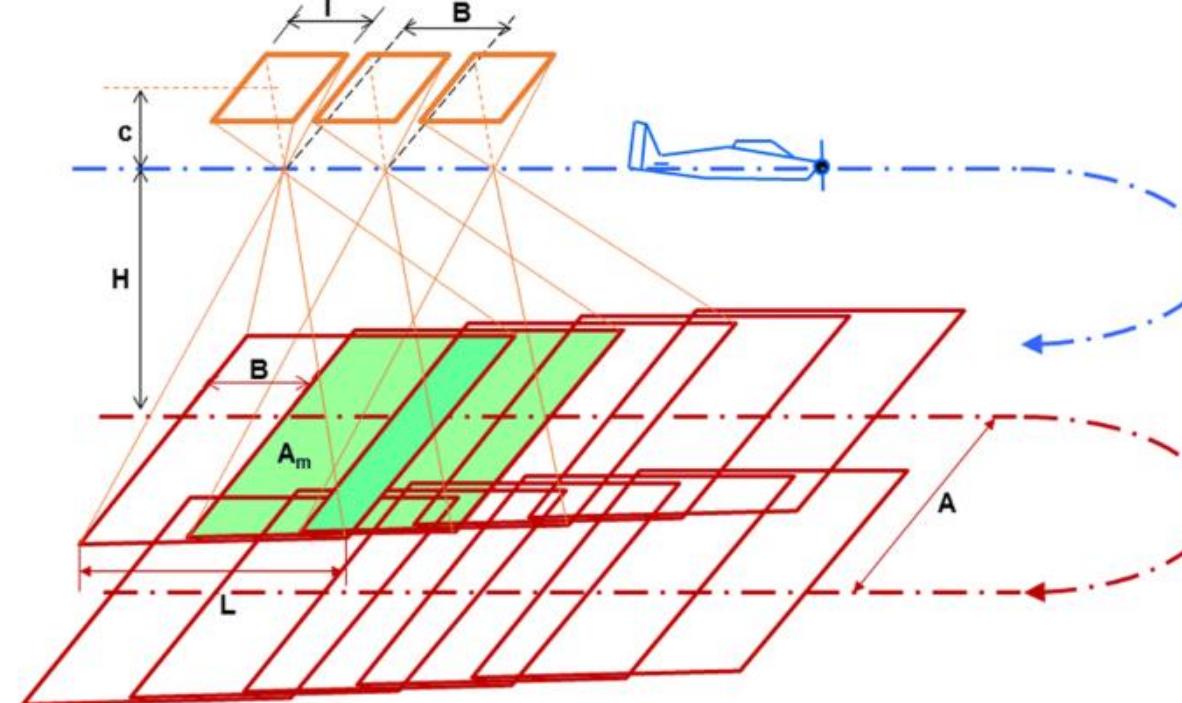
# Oblique Camera System for 3D Modelling and Inspection

- Sensor: APS-C CMOS(23.5X15.6mm)
- Minimum exposure time: 0.6s
- Lens: 25mm/35mm
- Pixels Number: 24MP x5 = 120MP
- Oblique Lens Angle: 45 degree
- Total memory capacity: 320GB
- Weight: 700 g



รูปแบบการบิน ส่วนซ่อน :

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



Simple  
Strip



Cross  
Strip

รูปแบบการบินที่  
พอเหมำะสำหรับ  
พื้นที่สีเหลี่ยม

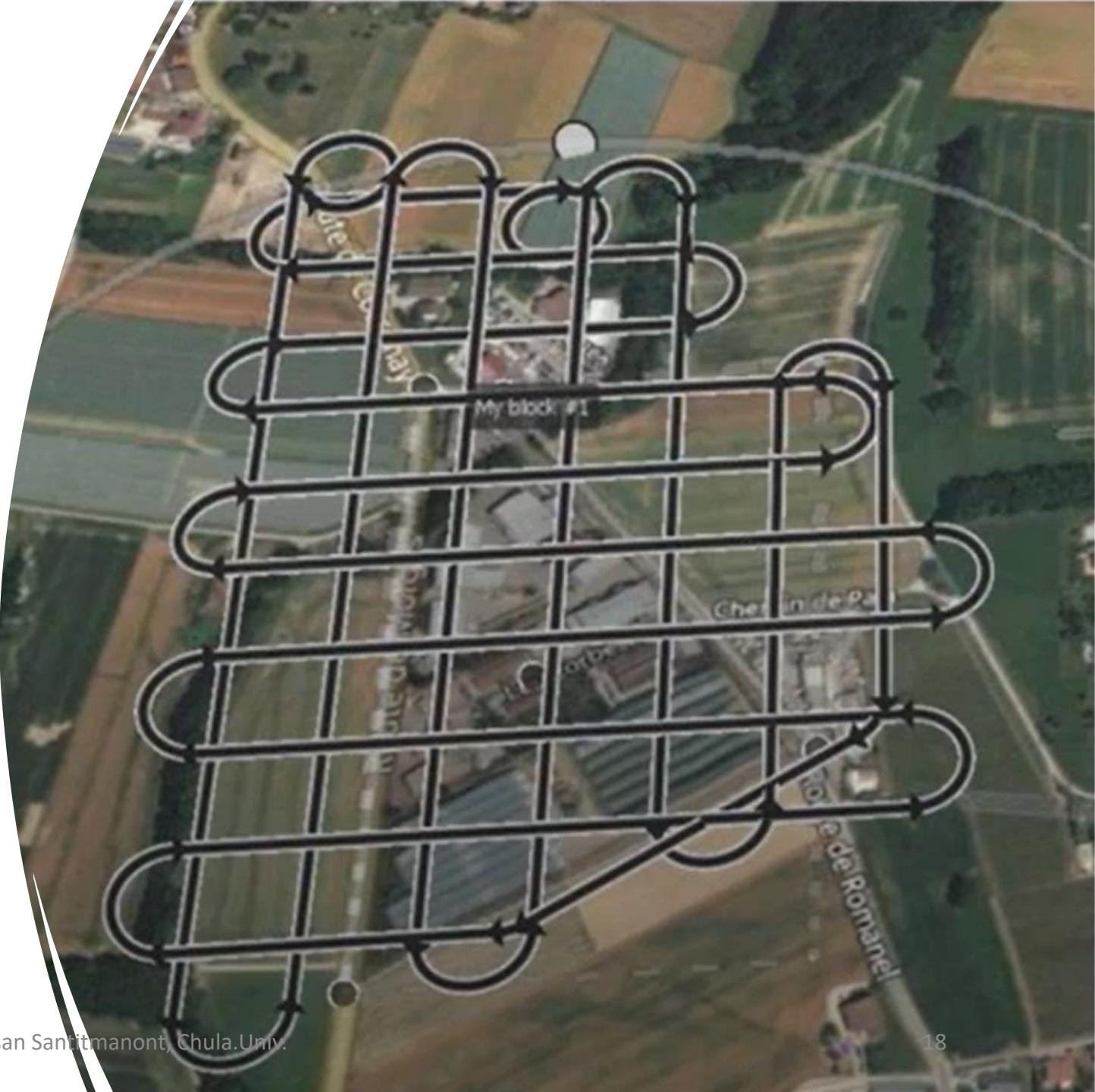
เพื่อ ผลิต DTM

$$p=60\%$$

$$q=60\%$$

---

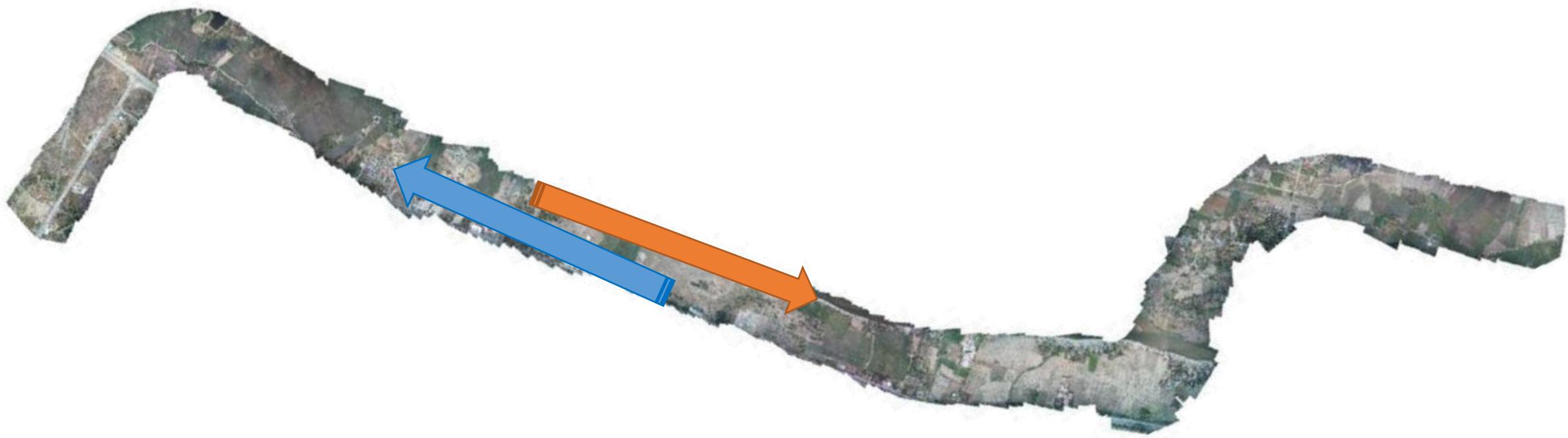
$$DTM = 5 \times GSD$$



# การบินถ่ายภาพเส้นทางด้วย ยูเอวี

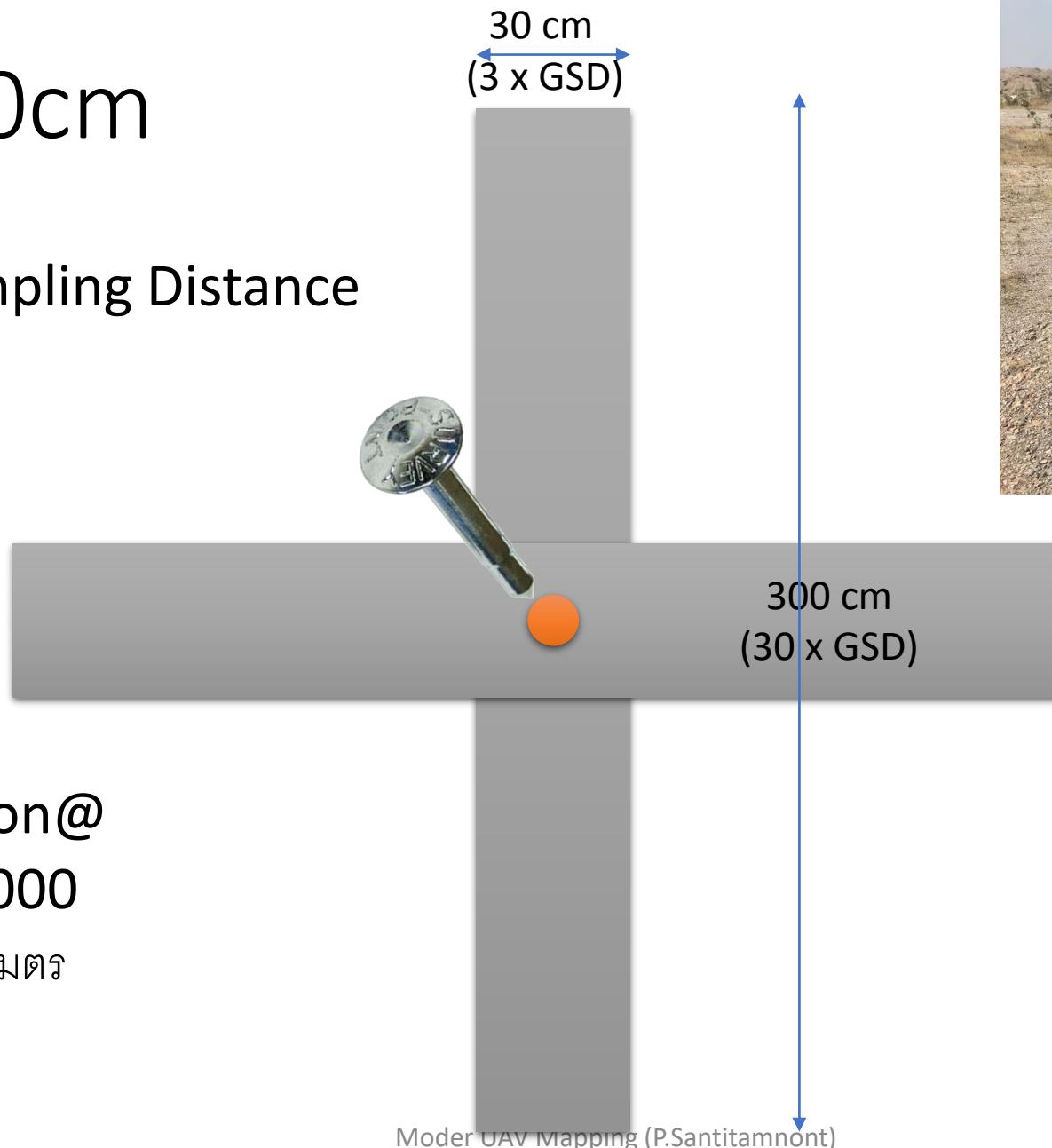
2,000 m

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



# GSD@10cm

- Ground-Sampling Distance



## การติดตั้งเป้า GCP/CHK

- สำหรับ GSD@5cm

- แผ่นพีเจอร์บอร์ด

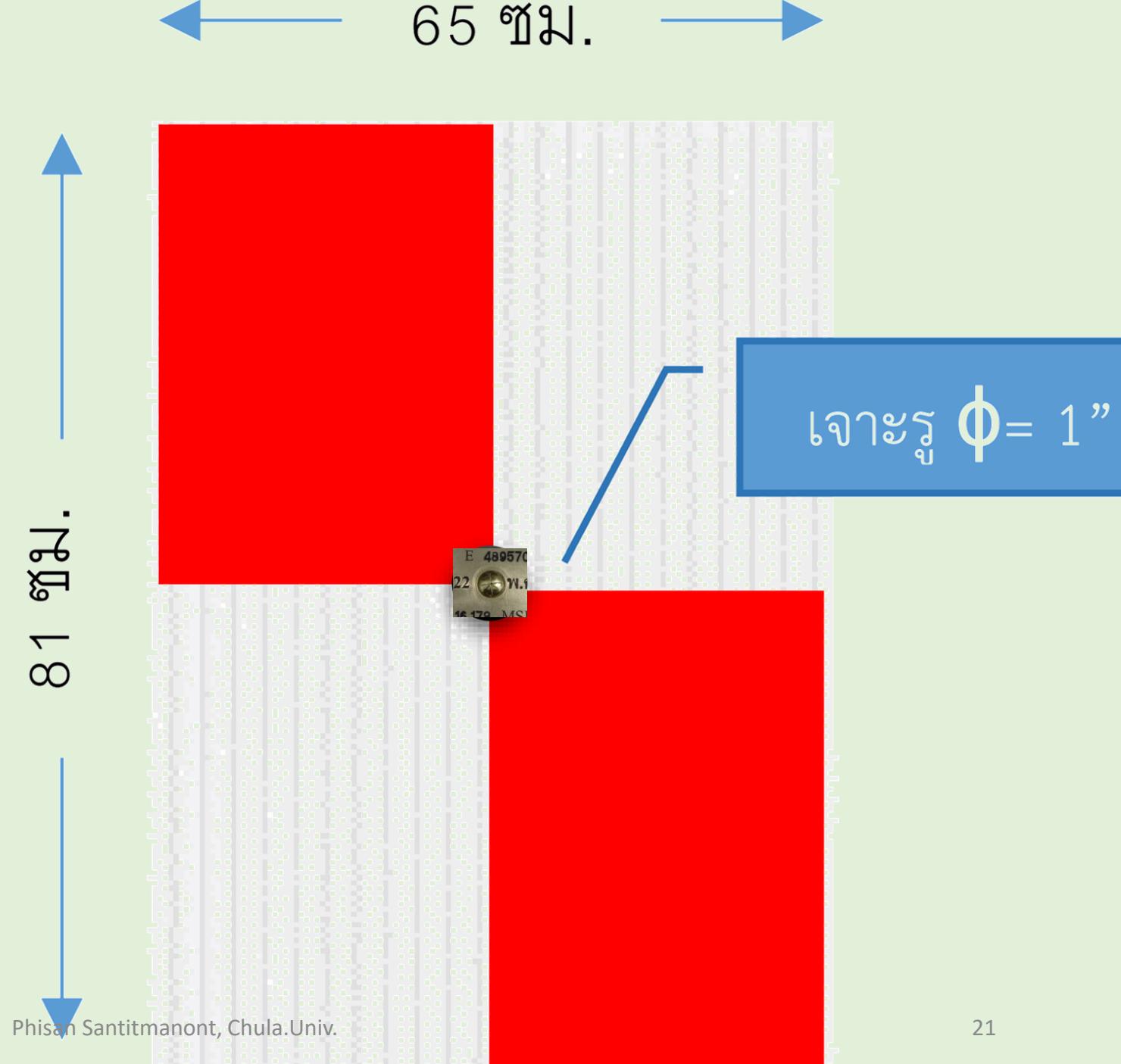
(ไซส์มาตรฐาน )

- ใช้การรังวัด RTK

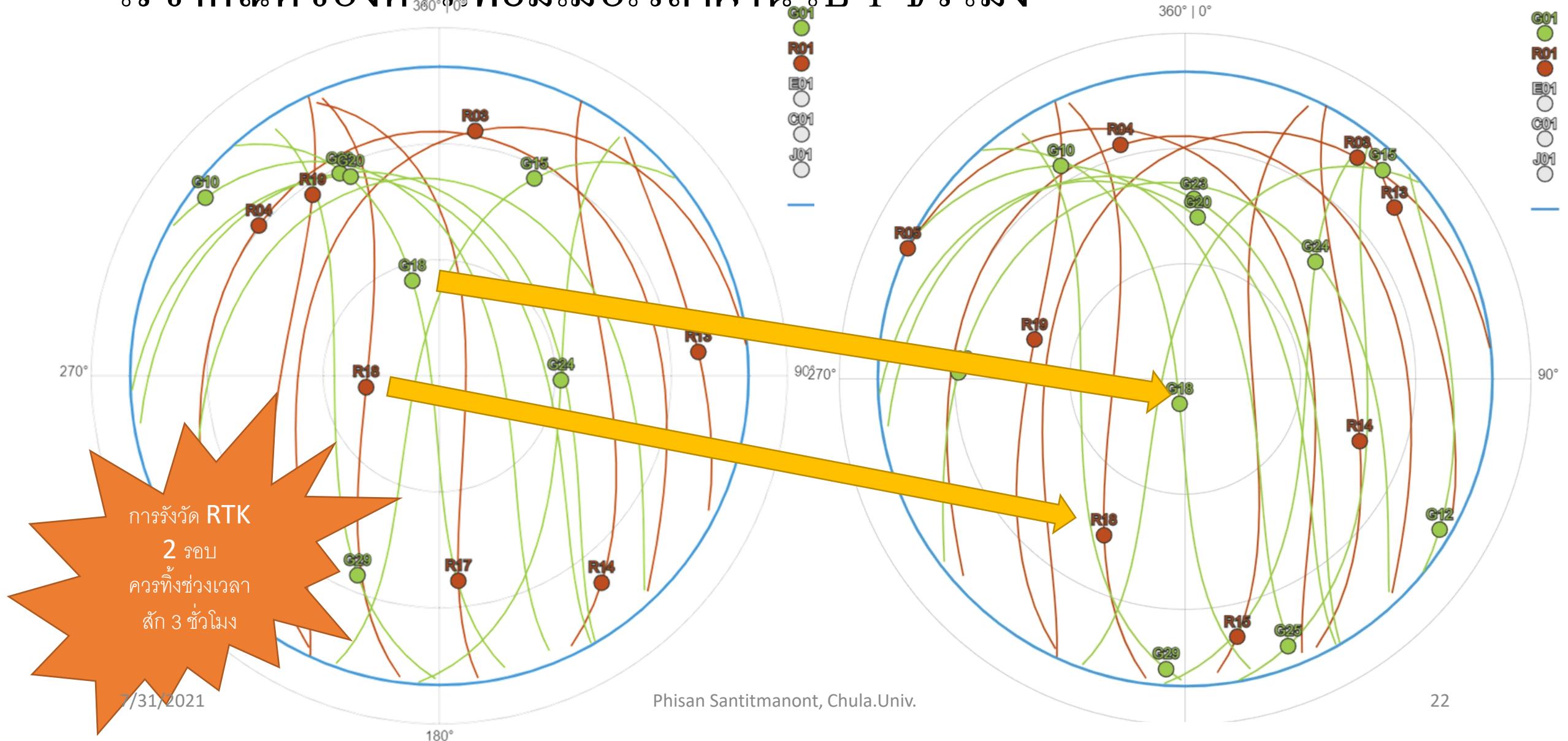
$$\sigma_{hor} = \pm 2 \text{ cm}$$

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

- ตอกหมุดบนพื้น รังวัด RTK ส่อง  
รอบห่างกัน 3 ซม.



# เรขาคณิตของดาวเทียมเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง



# สรุปการรังวัด RTK สำหรับ GCP/CHK สำหรับยูเอวีเพื่อการทำแผนที่ (QC-2)

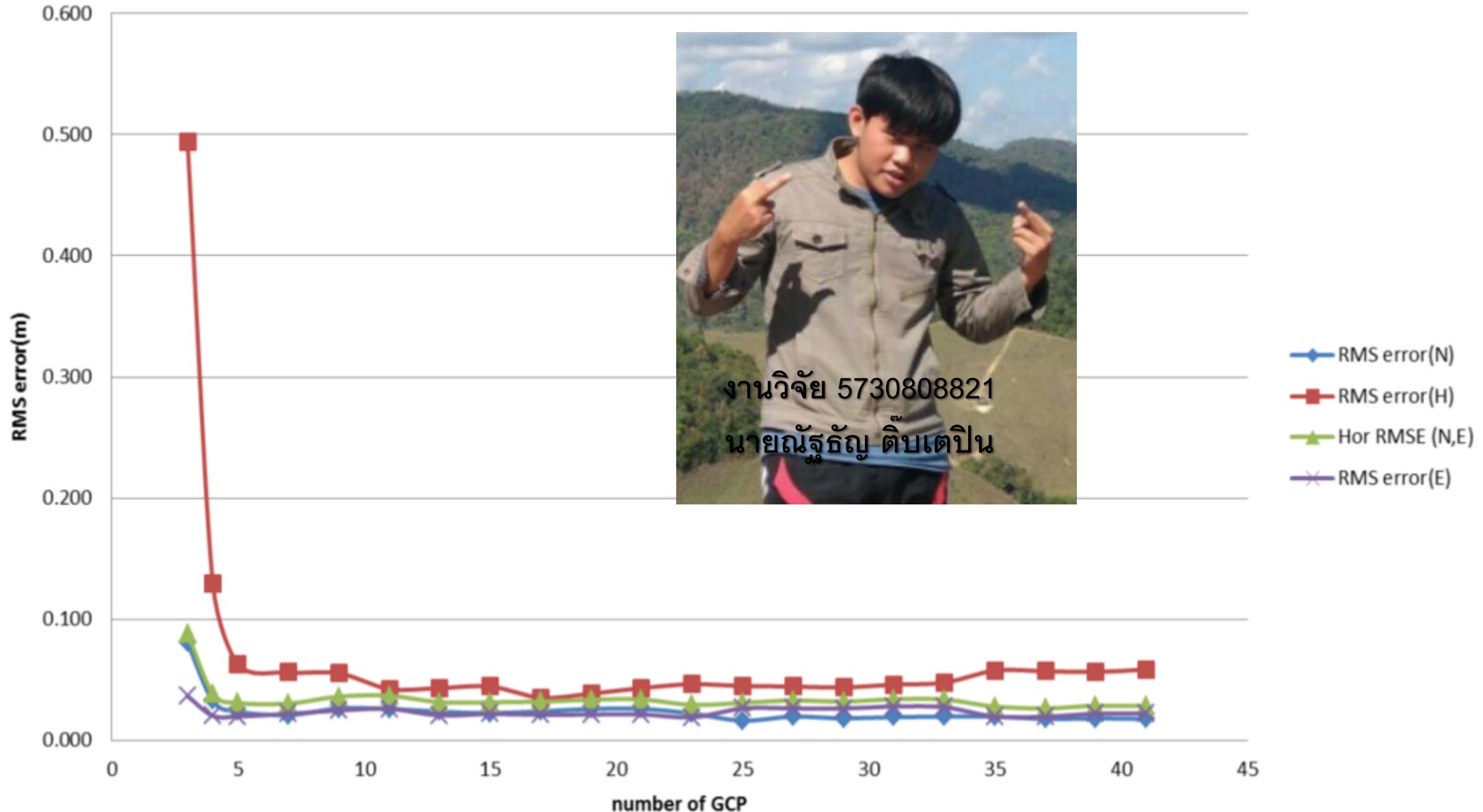
โครงการ .....  
ชื่อคล้องภาพ : ..... ว.ด.ป. ....  
Base.Stn : ..... หมายเลข .....  
Rover : ..... หมายเลข .....  
ระยะทาง กลางบล็อก ถึง Base.Sta: ..... กม. ( < 5 กม. ) RTK Solution : [ ] Float [ ] Fixed

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							
7/31/2021 2			Phisan Santitmanont, Chula.Univ.				

	GCP				Check point			
	RMS error(N)	RMS error(E)	RMS error(H)	Hor RMSE (N,E)	RMS error(N)	RMS error(E)	RMS error(H)	Hor RMSE (N,E)
GCP41	0.019	0.015	0.046	0.024	0.018	0.022	0.059	0.0284
GCP39	0.020	0.015	0.046	0.025	0.018	0.022	0.057	0.0287
GCP37	0.020	0.015	0.047	0.025	0.018	0.020	0.057	0.0266
GCP35	0.020	0.015	0.048	0.025	0.020	0.020	0.058	0.0280
GCP33	0.020	0.015	0.049	0.025	0.020	0.027	0.048	0.0339
GCP31	0.019	0.014	0.050	0.024	0.019	0.028	0.046	0.0341
GCP29	0.019	0.013	0.049	0.024	0.018	0.026	0.044	0.0322
GCP27	0.020	0.014	0.048	0.024	0.020	0.027	0.045	0.0331
GCP25	0.018	0.014	0.047	0.023	0.016	0.026	0.045	0.0312
GCP23	0.017	0.012	0.051	0.021	0.022	0.019	0.046	0.0294
GCP21	0.014	0.011	0.052	0.018	0.026	0.022	0.043	0.0339
GCP19	0.014	0.010	0.049	0.017	0.026	0.021	0.039	0.0337
GCP17	0.009	0.008	0.038	0.011	0.024	0.021	0.035	0.0321
GCP15	0.008	0.008	0.033	0.012	0.023	0.022	0.045	0.0315
GCP13	0.007	0.007	0.032	0.010	0.024	0.021	0.043	0.0316
GCP11	0.007	0.005	0.034	0.009	0.026	0.026	0.043	0.0370
GCP9	0.007	0.005	0.036	0.009	0.026	0.025	0.056	0.0363
GCP7	0.005	0.004	0.018	0.006	0.021	0.022	0.056	0.0305
GCP5	0.003	0.002	0.009	0.004	0.024	0.020	0.063	0.0311
GCP4	0.002	0.038	0.054	0.038	0.033	0.020	0.130	0.0388
GCP3	0.002	0.002	0.001	0.003	0.081	0.037	0.494	0.0885
GCP2	0.004	0.003	0.010	0.005	2.357	0.421	22.962	2.3945
GCP1				0.000	7.279	5.977	32.149	9.4189
GCP0				0.000	0.834	5.604	54.636	5.6660

## RMS error (Check Point )



# การประมวลผลภาษาพูดอิวี

ซอฟต์แวร์ประมวลสำหรับยูเอวี



Education and Non-commercial

Pix4Dmapper for educational, non-commercial and non-governmental use

Educational  
Perpetual licenses

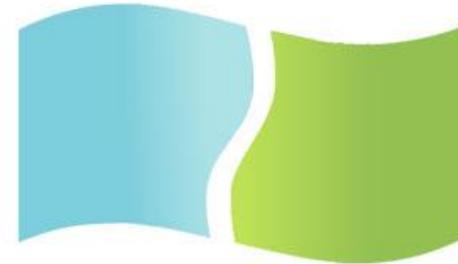
Professor license  
2 devices

1990 USD

Non-commercial  
Perpetual licenses

Non commercial  
2 devices

4990 USD



Professional Edition

Stand-alone license

\$ 3499

Standard Edition

Stand-alone license

\$ 179

# PhotoScan

*3D Modeling and Mapping*



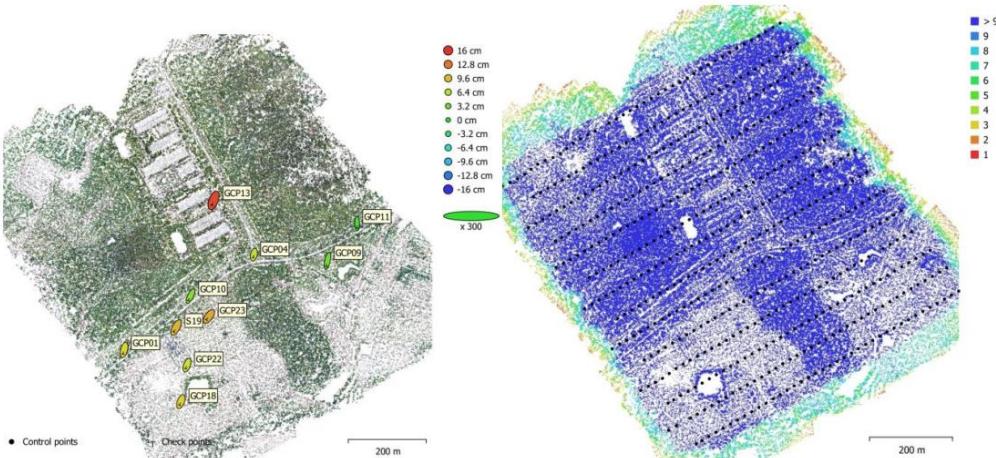
# สรุปการถ่ายภาพและประมวลผลย่อวีเพื่อการทำแผนที่ (QC-1)

1. โครงการ .....  
 ชื่อทีม ..... วิศวกรสำรวจ .....  
 ชื่อบริษัทภาพ ..... ว/ด/ป บินถ่าย .....  
 ยูเอวี : ..... หมายเลขอารยธรรม .....

2. ภาพรวมปล็อกภาพ

Project	PPK_7GCPs_8CHks
Processed	2020-07-21 23:06:42
Camera Model Name(s)	DSC-RX1RM2_35.0_7952x5304 (RGB)
Average Ground Sampling Distance (GSD)	2.86 cm / 1.13 in
Area Covered	0.733 km <sup>2</sup> / 73.2616 ha / 0.28 sq. mi. / 181.1270 acres

3. แผนที่แสดงตำแหน่ง GCPs และการทับซ้อนกันของภาพ (overlapping)



4. ผลการคำนวนปรับแก้กล้องแผนที่แสดง ตำแหน่งภาพ ตำแหน่ง GCP/CHK

แบบจำลองกล้อง [✓] global shutter [...] rolling shutter with delay ..... ms

EXIF ID: DSC-RX1RM2\_35.0\_7952x5304

	Focal Length	Principal Point x	Principal Point y	R1	R2	R3	T1	T2
Initial Values	7451.230 [pixel] 32.796 [mm]	3949.280 [pixel] 17.382 [mm]	2642.930 [pixel] 11.633 [mm]	-0.011	0.043	-0.069	0.001	-0.000
Optimized Values	7444.371 [pixel] 32.766 [mm]	3991.546 [pixel] 17.568 [mm]	2649.465 [pixel] 11.661 [mm]	-0.012	0.039	-0.065	0.000	0.000
Uncertainties (Sigma)	4.991 [pixel] 0.022 [mm]	0.442 [pixel] 0.002 [mm]	0.419 [pixel] 0.002 [mm]	0.000	0.001	0.001	0.000	0.000

# สรุปการถ่ายภาพและประมวลผลย่อวีเพื่อการทำแผนที่ (QC-1)

5. ผลการคำนวนปรับแก้จุดบังคับภาพ ในขั้นการตรวจสอบ

5.1 Ground Control Point (GCP) \_\_ 7 \_\_ จุด

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP01 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.003	-0.002	0.361	16 / 16
GCP03 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.010	-0.009	0.261	18 / 18
GCP05 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.001	0.007	0.342	19 / 19
GCP08 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.002	-0.001	0.314	22 / 22
GCP09 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.009	-0.004	0.382	20 / 20
GCP11 (3D)	0.020/0.020	0.000	-0.001	0.003	0.368	22 / 22
GCP14 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.002	0.005	0.348	22 / 22
<b>Mean [m]</b>	-0.000042	-0.000028	-0.000297			
<b>Sigma [m]</b>	0.004501	0.005315	0.005155			
<b>RMS Error [m]</b>	0.004501	0.005315	0.005164			

5.2 Check Point (CHK) \_\_ 2 \_\_ จุด

GCP15	-0.0089	0.0056	0.0616	0.3012	24 / 24
GCP16	0.0142	0.0092	-0.0137	0.3160	21 / 21
<b>Mean [m]</b>	-0.000852	-0.001599	0.060340		
<b>Sigma [m]</b>	0.014426	0.009580	0.059451		
<b>RMS Error [m]</b>	0.014451	0.009713	0.084708		

5.3 ผลการเปรียบเทียบ RMSE จาก GCPs กับ CHks

	DIFF.RMSE X (m)	DIFF.RMSE Y (m)	DIFF.RMSE Z (m)
Difference	0.010	0.004	0.079

6. ผลการคำนวนปรับแก้จุดบังคับภาพ ในขั้นของการผลิต

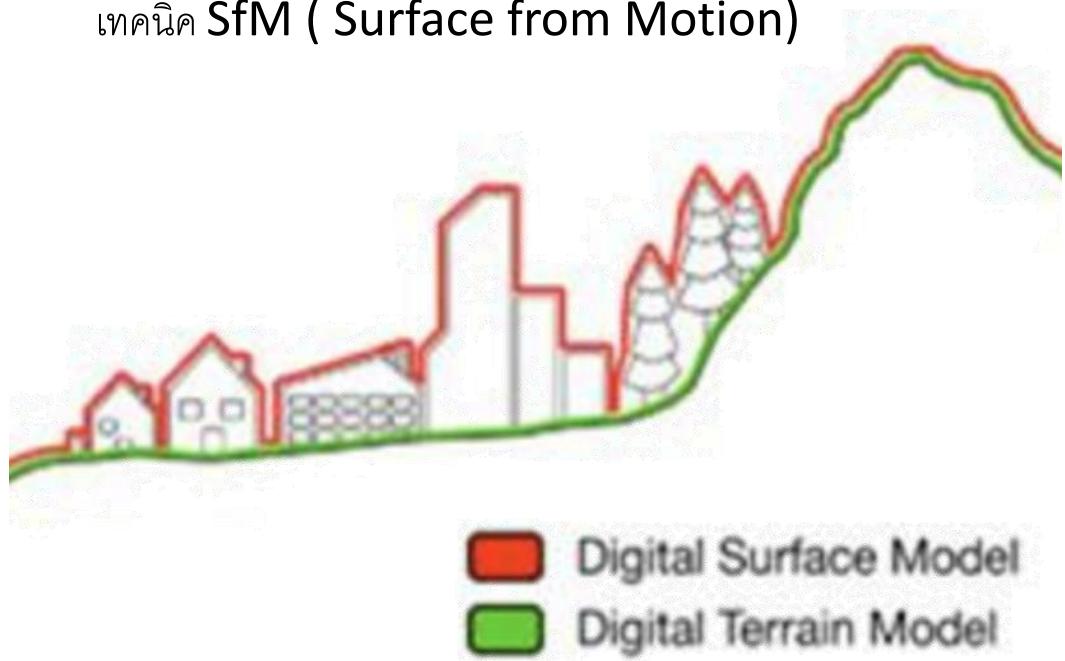
Ground Control Point (GCP) \_\_ 9 \_\_ จุด

GCP Name	Accuracy XY/Z [m]	Error X [m]	Error Y [m]	Error Z [m]	Projection Error [pixel]	Verified/Marked
GCP01 (3D)	0.020/0.020	0.007	-0.003	-0.002	0.361	16 / 16
GCP03 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.010	-0.009	0.261	18 / 18
GCP05 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.001	0.007	0.342	19 / 19
GCP08 (3D)	0.020/0.020	-0.003	0.002	-0.001	0.314	22 / 22
GCP09 (3D)	0.020/0.020	-0.004	-0.009	-0.004	0.382	20 / 20
GCP11 (3D)	0.020/0.020	0.000	-0.001	0.003	0.368	22 / 22
GCP14 (3D)	0.020/0.020	0.006	0.002	0.005	0.348	22 / 22
<b>GCP15</b>	-0.0089	0.0056	0.0616	0.3012	24 / 24	
<b>GCP16</b>	0.0142	0.0092	-0.0137	0.3160	21 / 21	
<b>Mean [m]</b>	-0.000852	-0.001599	0.060340			
<b>Sigma [m]</b>	0.014426	0.009580	0.059451			
<b>RMS Error [m]</b>	0.014451	0.009713	0.084708			

7. ซอฟต์แวร์ ข้อมูลและ รายงานอ้างอิง (pix4d/metashape) .....

# Digital Elevation Model (DEM)

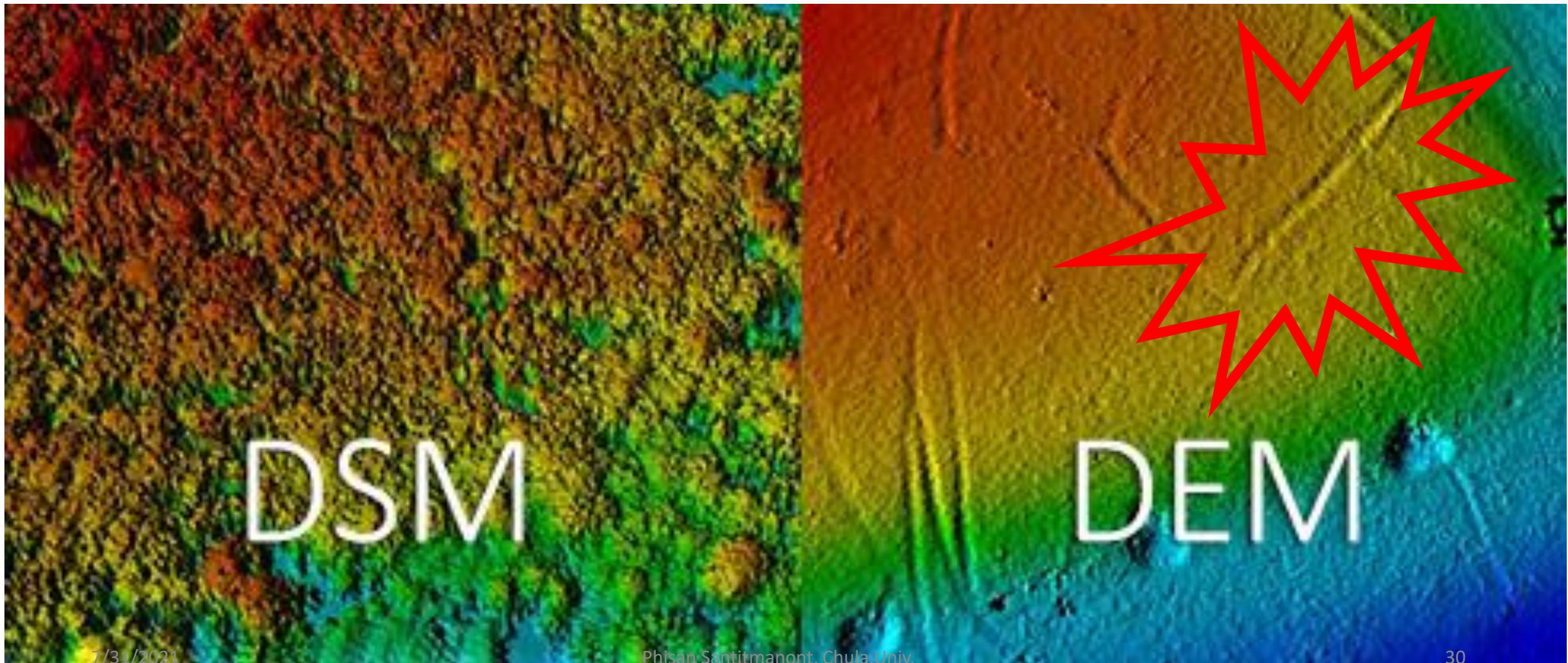
- พัฒนาสร้างจากภาพที่ส่วนห้องกันเป็นจำนวนมากด้วย  
เทคนิค SfM ( Surface from Motion)



DTM

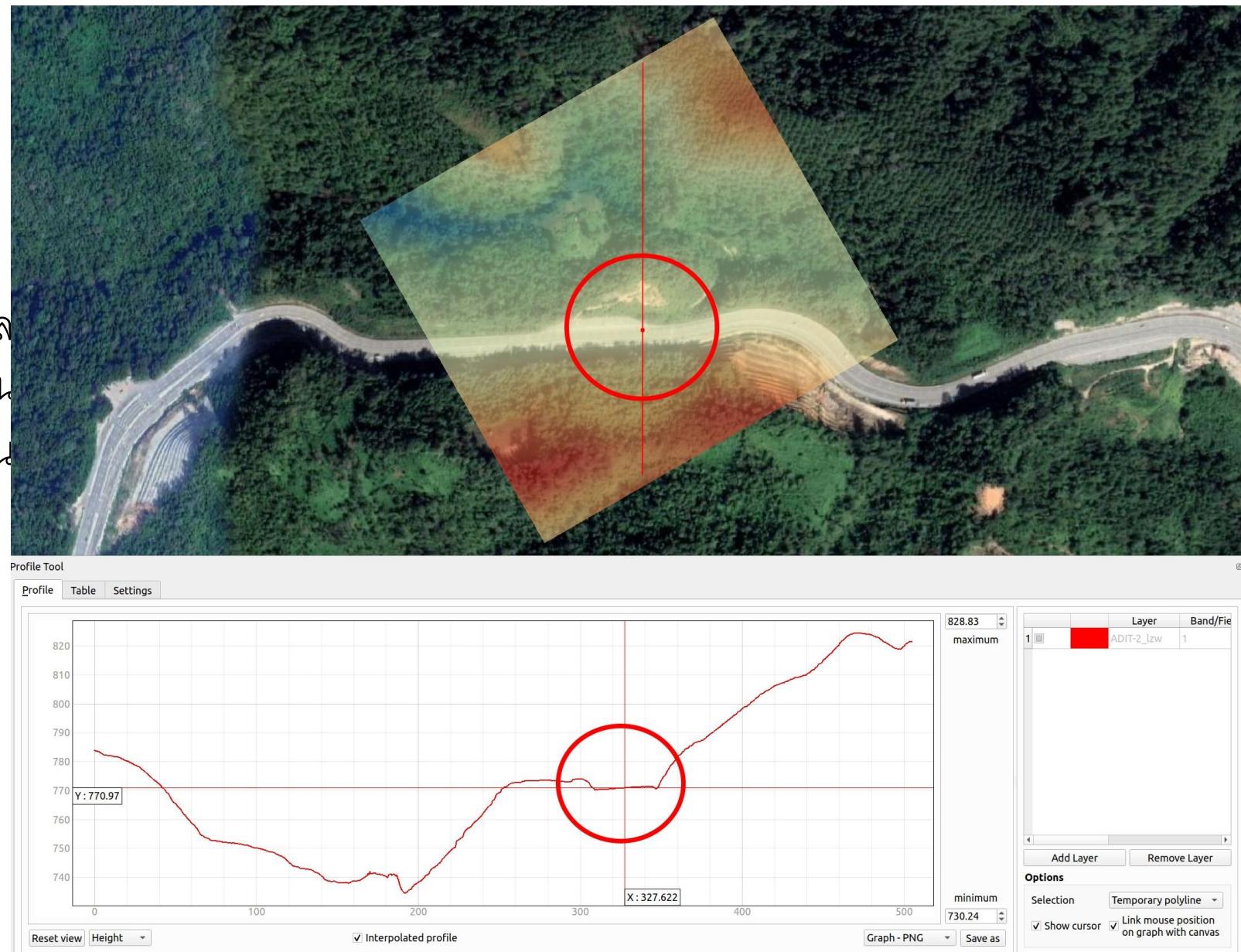
DSM

# พื้นที่คลาวจาก ULS ( UAV Lidar / Laser Scanning )

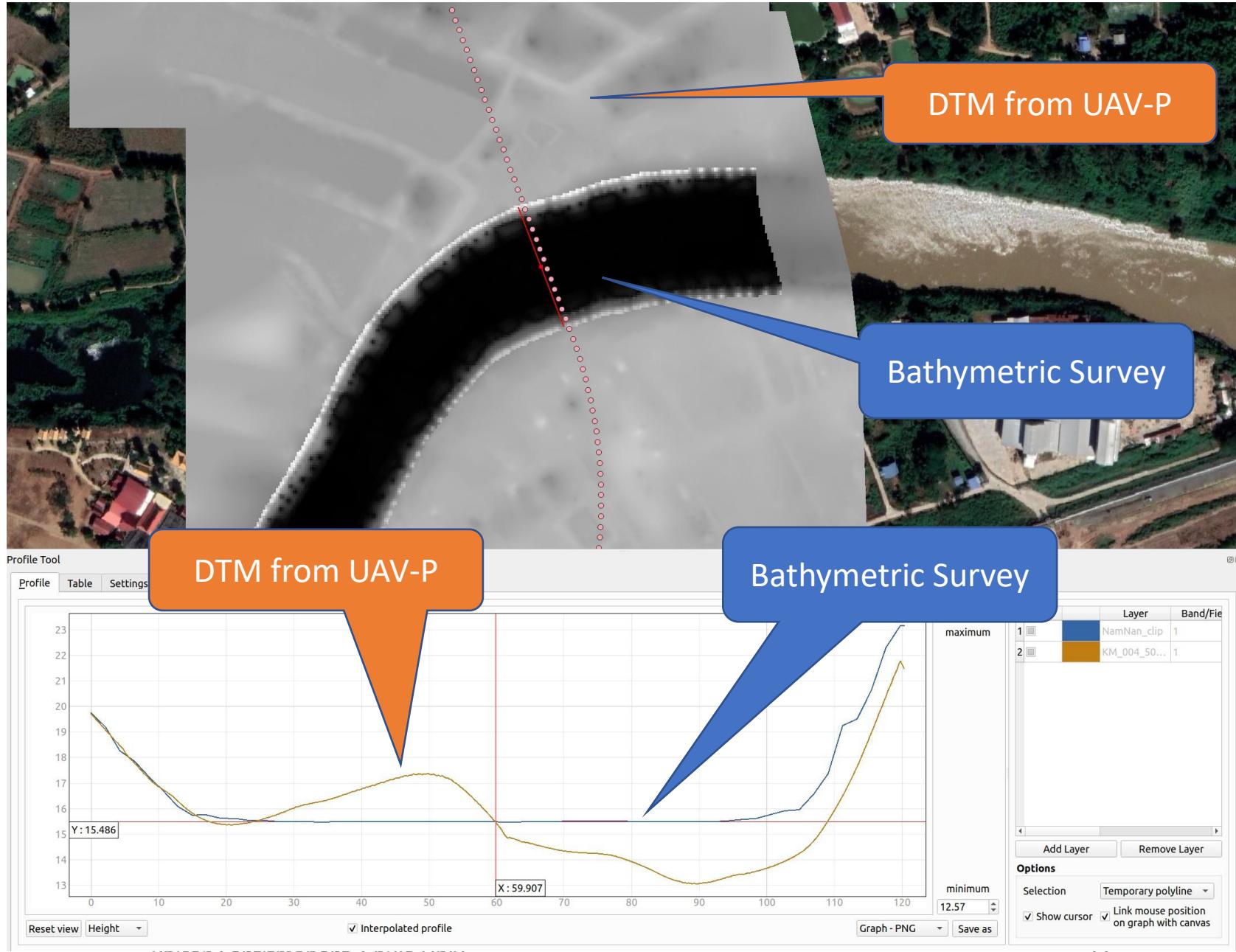


# รูปตัวอย่าง UAV-LS

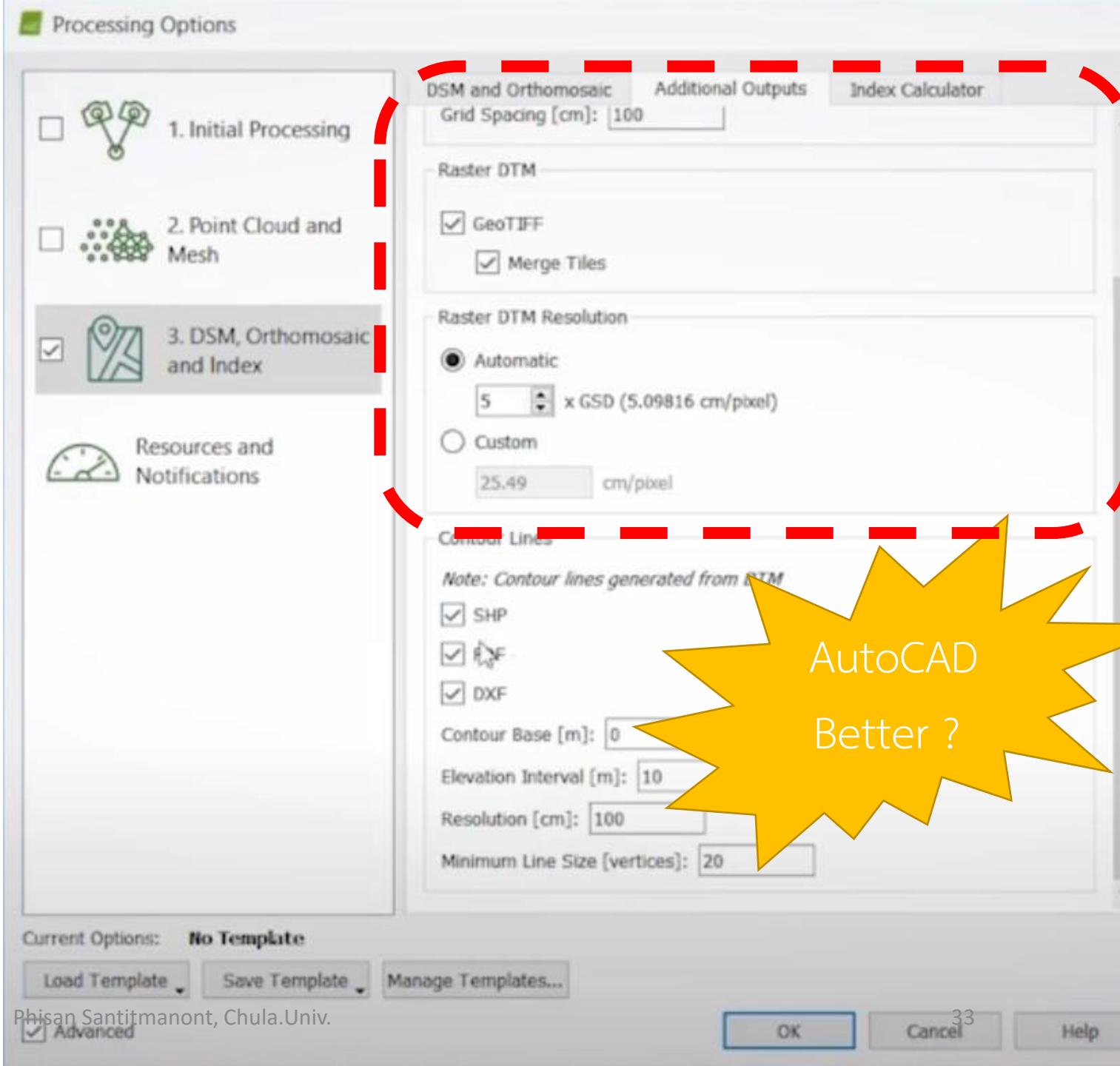
- ด้วยความสามารถ laser scanner จะเห็นว่า เเรทะลุป่าล พื้นดิน เห็นร่องน้ำ ใต้ป่าทึบ บนถนน จะเห็น side slope ร่องน้ำ ใน ภาพประกอบ มี super-elevation ด้วย



- บล็อกภาพพญะเอวีที่ มีผืนน้ำขนาดใหญ่ควรจะ mask-out
- ในตัวอย่างข้ามแม่น้ำган BA + PointCloud ให้ค่าระดับลงไปลึกใต้น้ำราก+13 เมตร เส้นสิน้ำตาล
- ในขณะค่าระดับจาก Bathymetric survey ให้ค่าระดับ ราก 15.5 เมตร และ ดูราบเรียบเป็นรูปตัด แม่น้ำgan



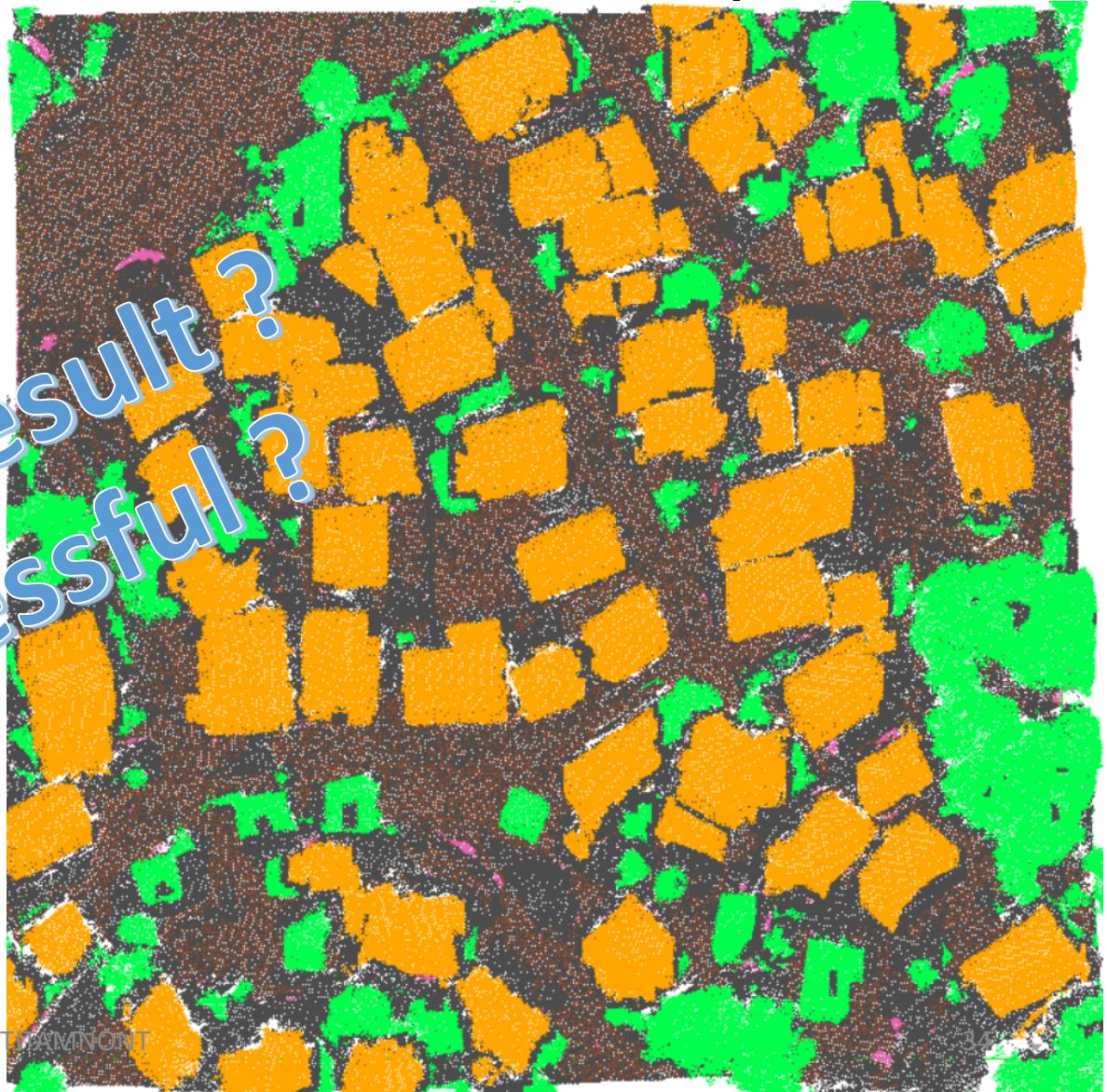
# การผลิต DTM เพื่อทำการ “ลบ” ต้นไม้ และสิ่งปลูก สร้าง



# ความสามารถ classification LasTool/lasclassify

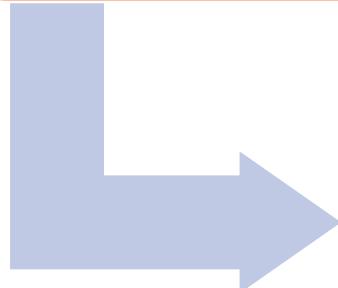


Good result?  
Successful?

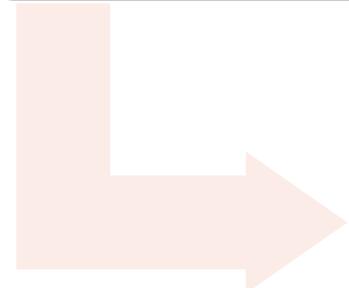


# แนวทางเลือก : จำแนกพื้นที่คลาวด์เสียงก่อน

Point  
Cloud DSM



Classified  
'GROUND'



Interpolate  
to DTM

Point Cloud Classification

*Note: improves the DTM generation*

Classify Point Cloud

>  Point Clouds

▼  Point Groups

▼ Display Properties

Show Class Color

Unclassified

Disabled

Ground

Road Surface

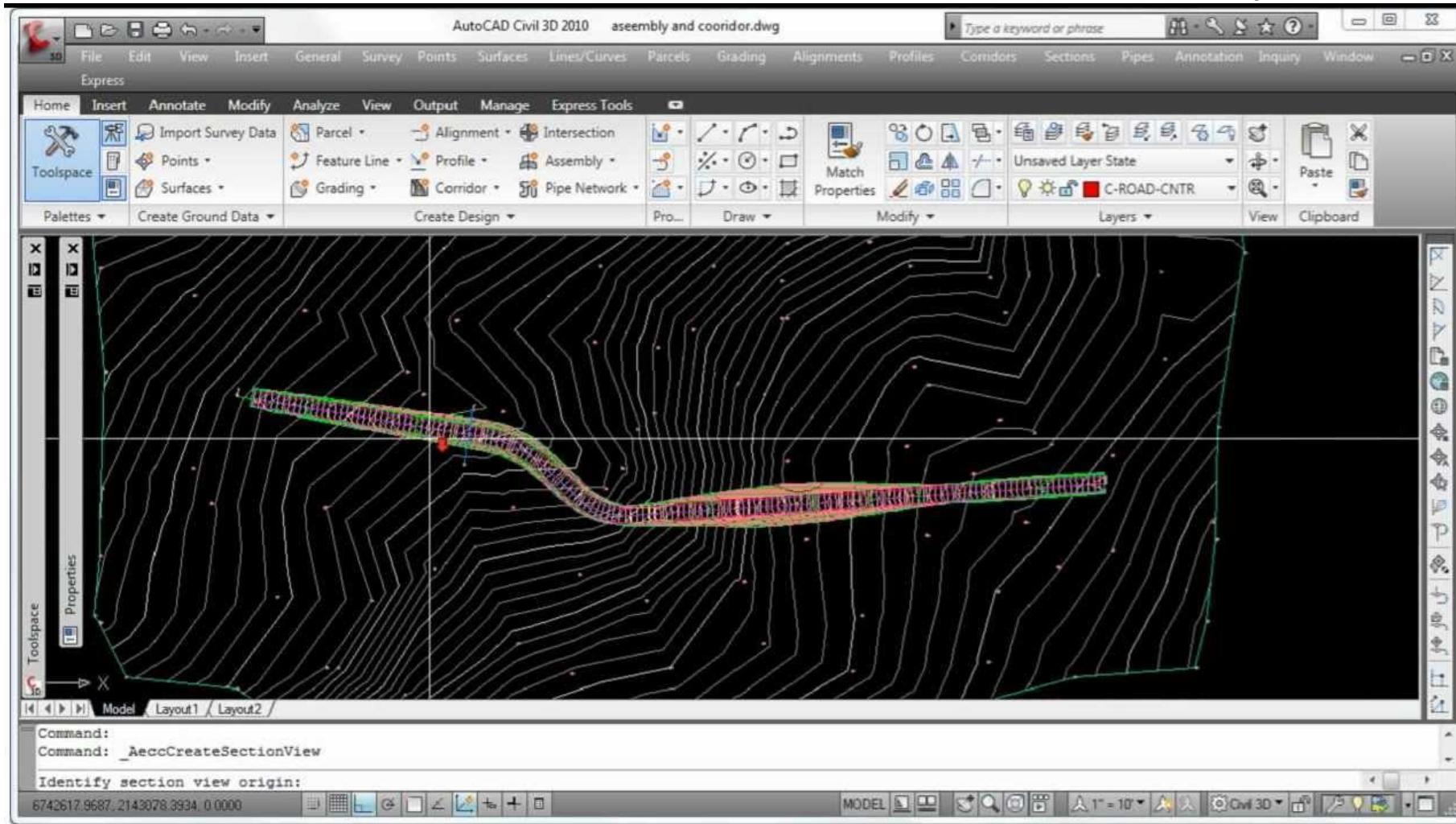
High Vegetation

Building

Human Made Object

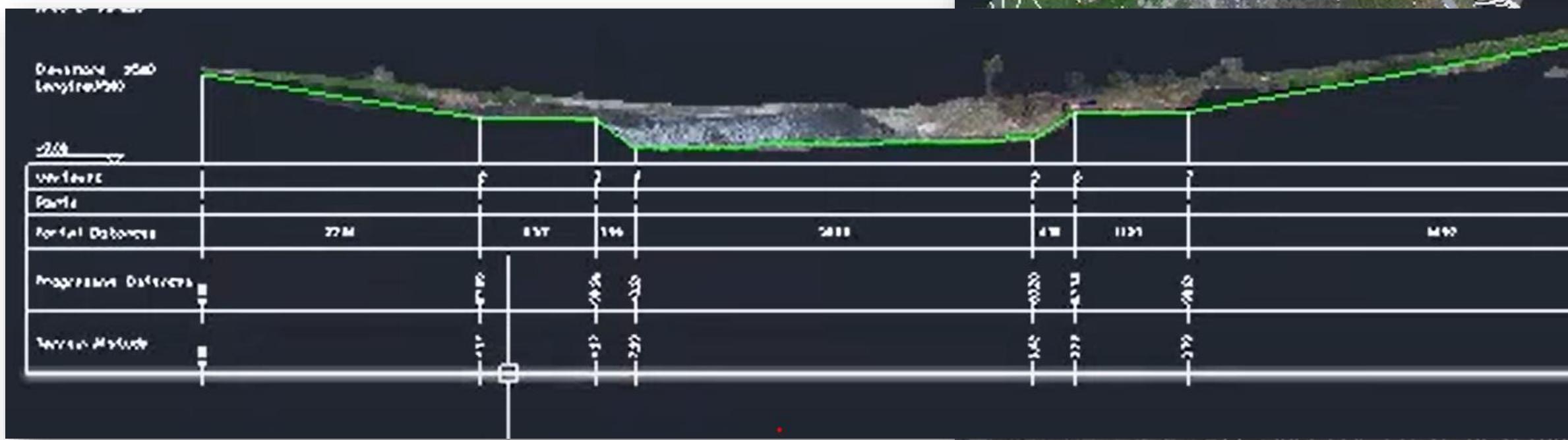
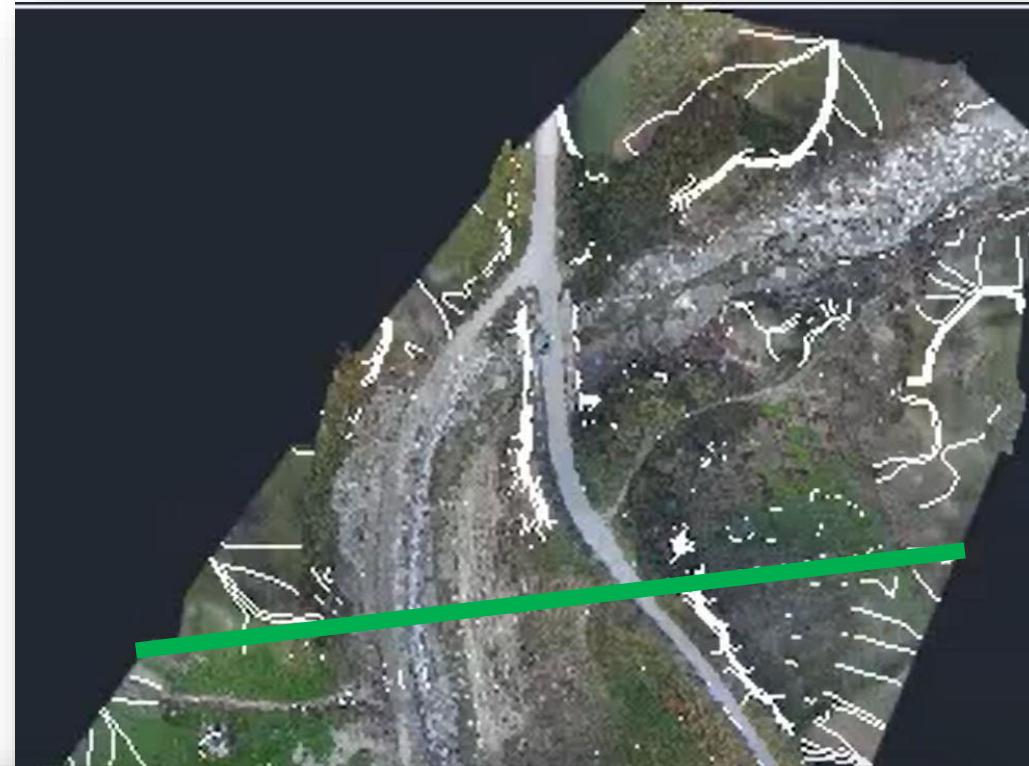
# สร้างเส้นชั้นความสูง จาก spot-height หรือ raster DTM ?

- แล้วสร้าง Civil3D surface หลังจากนั้นทำการผลิต cross-section และ profile



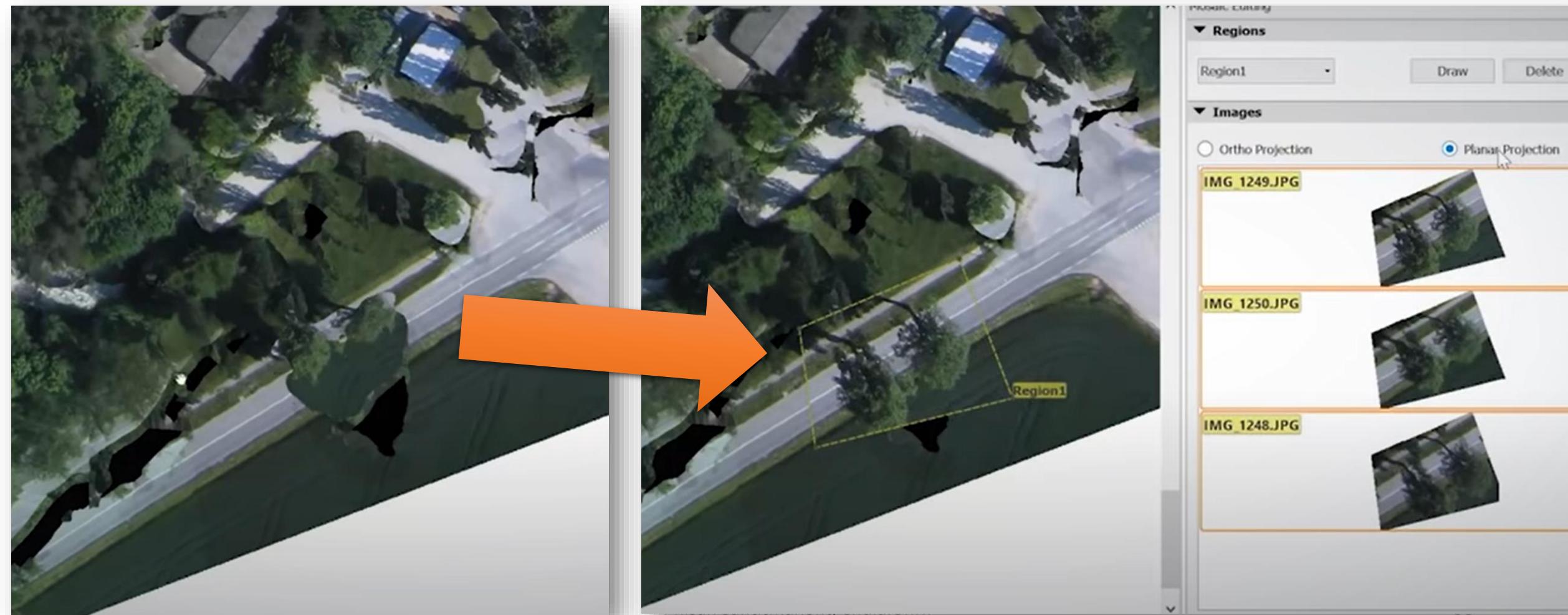
## สร้าง cross-section จากพื้อยคลาเวด์โดยตรง แนวทางใหม่

- สำหรับ cross-section ที่การผลิต DTM ไม่ได้ผล C3D ໂອປຣເຕອຣ໌ພິຈາລະນາຈຸດຕໍ່ສຸດຂອງ point-cloud ด້ວຍສາຍຕາ



# การซ่อมอร์โน ด้วย Planar Projection

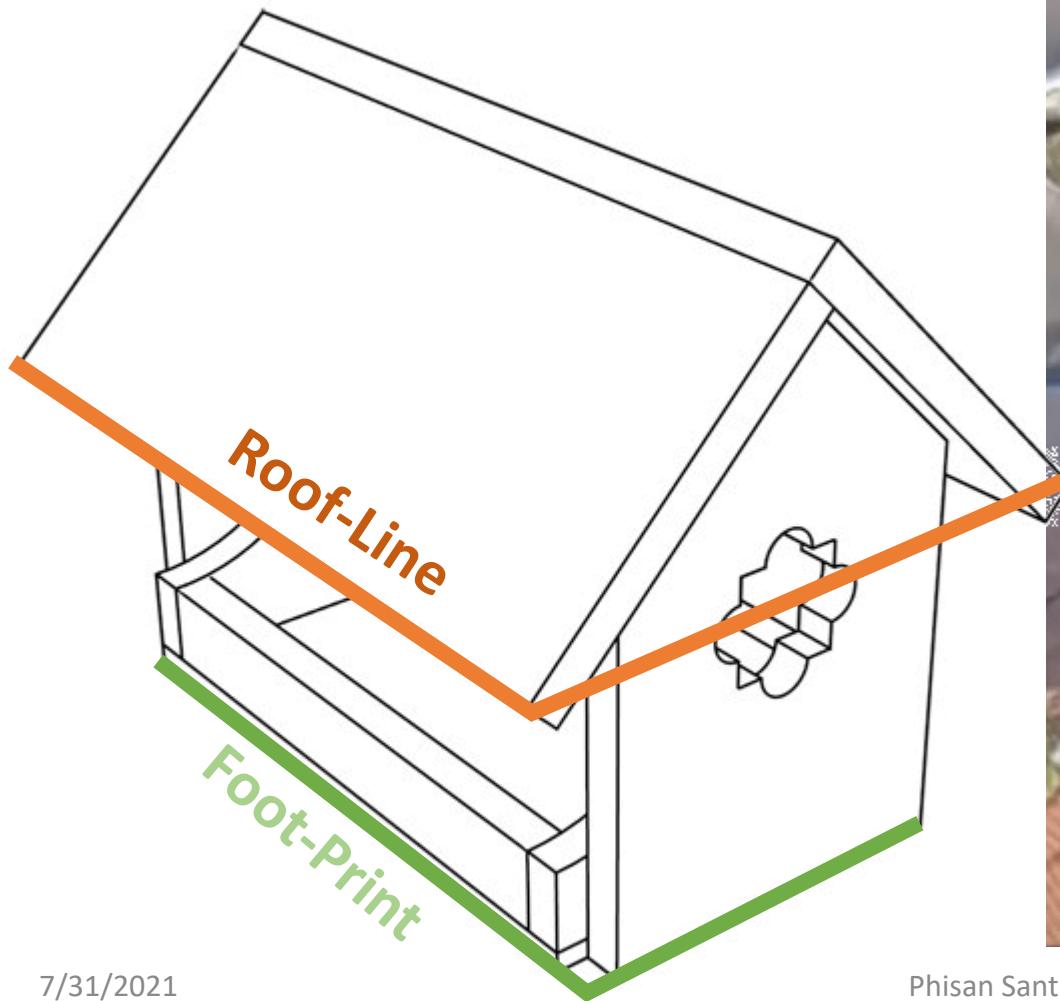
ในงานติดตามความก้าวหน้างานก่อสร้าง -> ลบ ร่องรอย เครื่องจักร

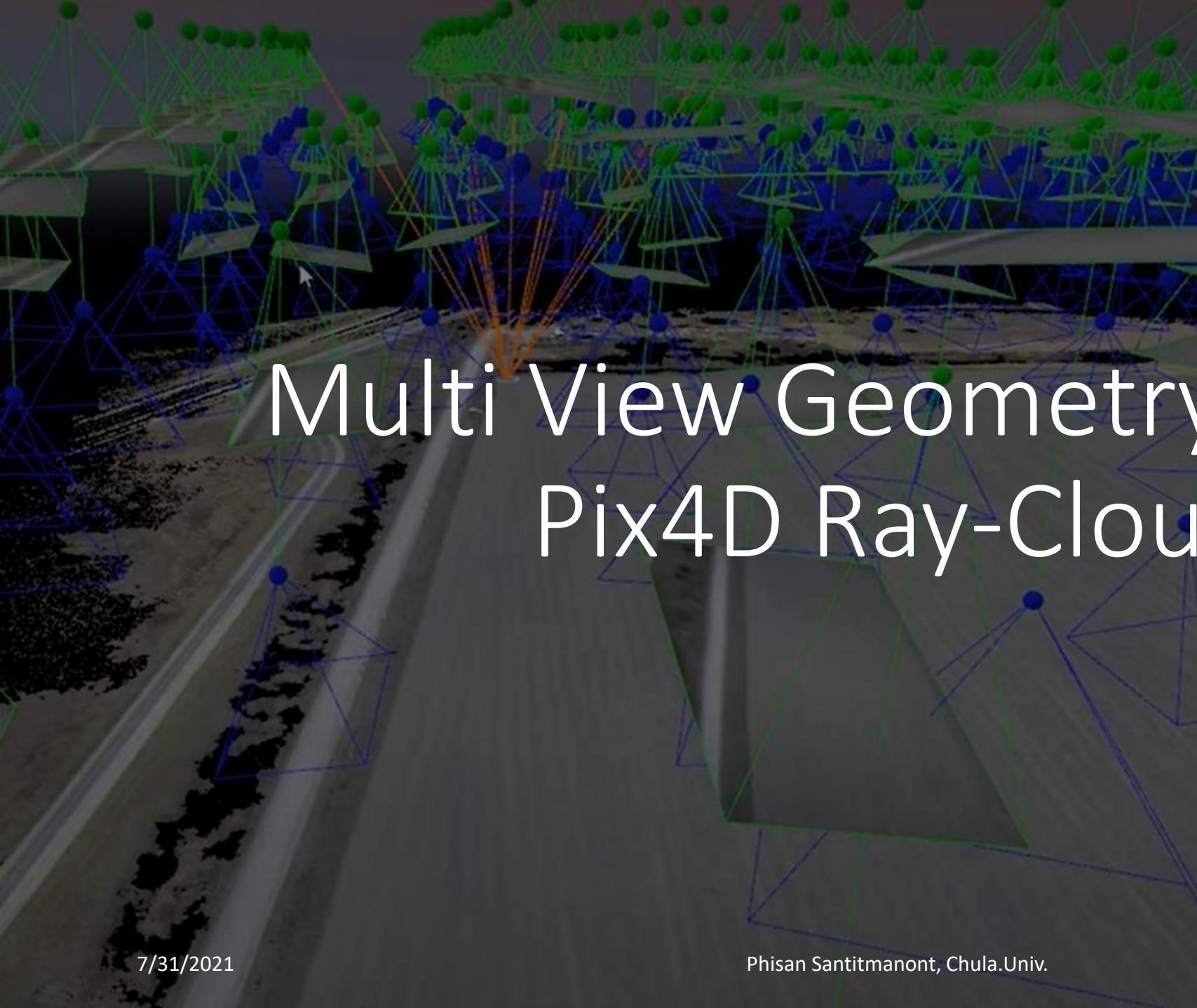


# Topo Detail Survey

เส้นรอบหลังคา กับ เส้นรอบฐาน (อาคาร)

Roof-Line vs. Foot-Print





# Multi View Geometry : MVG Pix4D Ray-Cloud

Properties

▼ Selection

3 (3D GCP)

Label: 3

Type: 3D GCP

X [ft]: 1634346.440

Y [ft]: 550125.108

Z [ft]: 784.640

Horizontal Accuracy [ft]: 0.020

Vertical Accuracy [ft]: 0.020

Number of Marked Images: 15

$S_{\text{v}}^2$  [pixel]: 0.1552

Theoretical Error  $S(X, Y, Z)$  [ft]: 0.011, 0.011, 0.023

Maximal Orthogonal Ray Distance  $\delta(X, Y, Z)$  [ft]: 0.094, -0.004, 0.025

Error to GCP Initial Position [ft]: -0.011, 0.005, -0.003

Initial Position [ft]: 1634346.440, 550125.108, 784.640

Computed Position [ft]: 1634346.451, 550125.103, 784.643

Automatic Marking   Apply   Cancel   Help

▼ Images

Image Size   Zoom Level

EP-01-15233\_0016\_0034.JPG

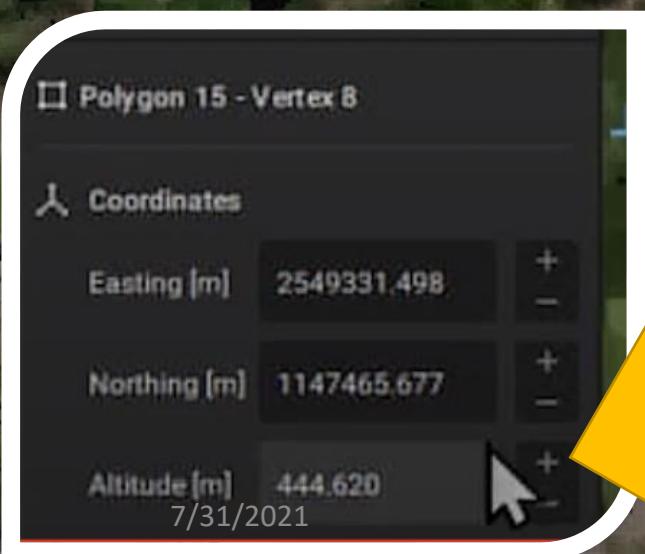


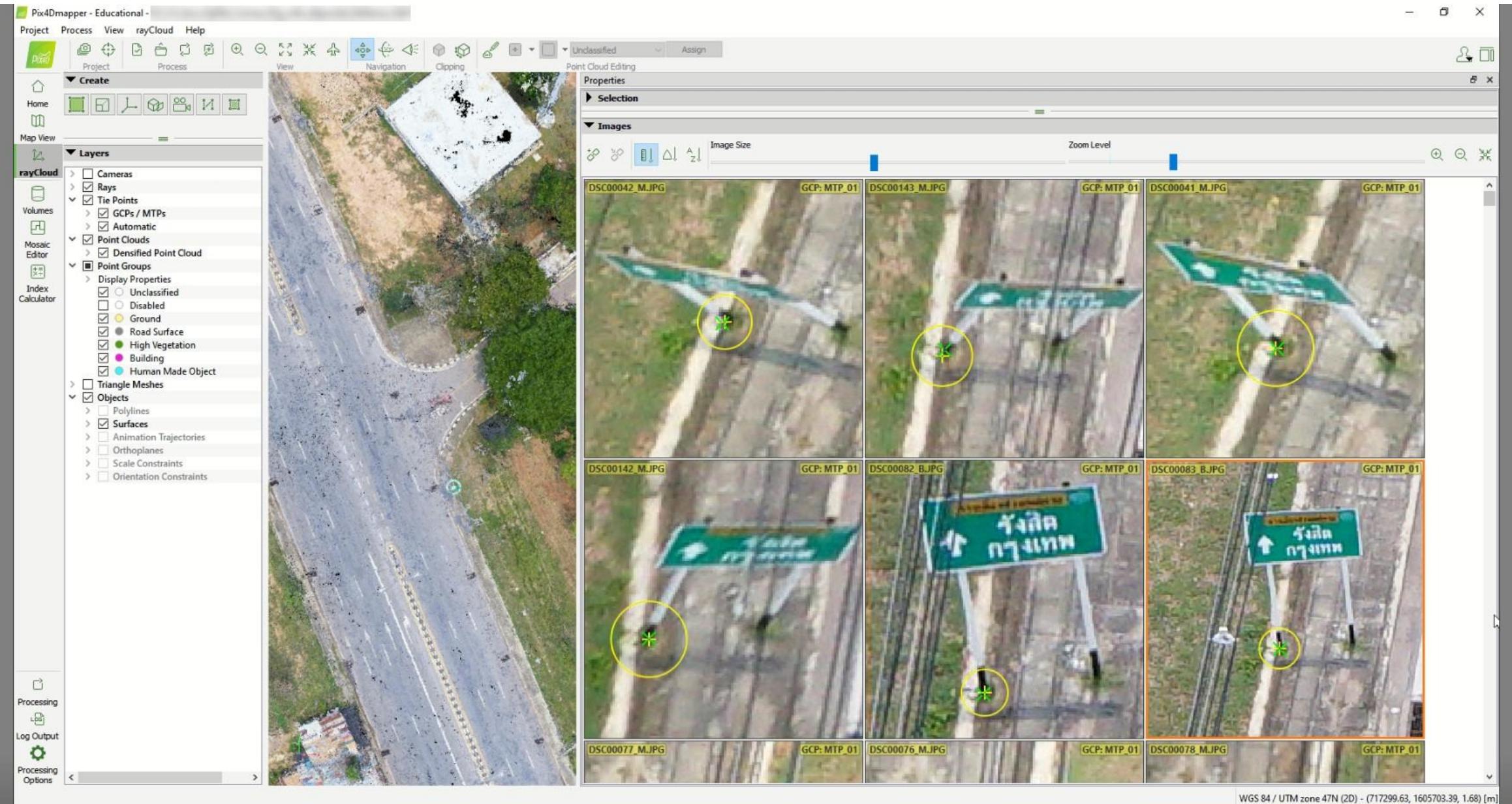
การดิจิทัลซัมมิติ จากแบบจำลองพื้นที่คลาวด์  
ด้วยภาพถ่ายมุ่งมอง (MVG)  $n=3++$   
โดยใช้ Pix4D mapper



# การดิจิทัล化สามมิติ จากแบบจำลองพื้นที่อย่างคลา ดวยภาพหลายมุมมอง (MVG) $n=3++$ โดยใช้ Pix4D Survey

บังคับค่าระดับของหลังคา





**Pix4Dmapper - Educational**

**Project** **Process** **View** **rayCloud** **Help**

**Project** **Process** **View** **Navigation** **Clipping** **Point Cloud Editing**

**Create**

**Home** **Map View** **rayCloud** **Volumes** **Mosaic Editor** **Index Calculator**

**Layers**

- Cameras
- Rays
- Tie Points
  - GCPs / MTPs
    - Display Properties
      - GCP-01 (20)
      - GCP-02 (20)
      - GCP-03 (20)
      - GCP-04 (20)
      - GCP-05 (20)
      - GCP-06 (20)
      - GCP-07 (20)
      - GCP-08 (20)
      - GCP-09 (20)
      - GCP-10 (20)
      - GCP-11 (20)
      - GCP-12 (20)
      - GCP-13 (20)
      - GCP-14 (20)
      - GCP-15 (20)
      - GCP-16 (20)
      - GCP-17 (20)
      - GCP-18 (20)
      - GCP-25 (3)
      - GCP-26 (3)
      - GCP-27 (3)
      - GCP-28 (3)
      - MTP\_01 (6)
      - MTP\_02 (6)
    - Automatic
  - Point Clouds
    - Densified Point Cloud
      - Display Properties
        - 02 CU\_Sara\_OptRel\_Cam
  - Point Groups
    - Display Properties
      - Unclassified
      - Disabled
      - Ground
      - Road Surface
      - High Vegetation
      - Building
      - Human Made Object
    - Triangles
    - Objects
      - Polygons



**Properties**

**Selection**

**MTP\_02 (Manual Tie Point)**

Label: **MTP\_02**  
Type: **Manual Tie Point**  
X [m]: 716939.040  
Y [m]: 1606281.604  
Z [m]: -0.925  
Horizontal Accuracy [m]: n/a  
Vertical Accuracy [m]: n/a  
Number of Marked Images: 6  
 $S_e$  [pixel]: 12.1369  
Theoretical Error S(x,y,z) [m]: 0.036, 0.061, 0.108  
Maximal Orthogonal Ray Distance d(x,y,z) [m]: 0.033, 0.108, 0.024  
Error to GCP Initial Position [m]: n/a  
Initial Position [m]: n/a  
Computed Position [m]: 716939.040, 160628.

**Images**

Theoretical Error S(x,y,z) [m]: 0.036, 0.061, 0.108

Automatic Marking    Apply    Cancel    Help

DSC00009.JPG GCP: MTP\_02    DSC00010.JPG GCP: MTP\_02    DSC00013.JPG GCP: MTP\_02

DSC00014.JPG GCP: MTP\_02    DSC00015.JPG GCP: MTP\_02    DSC00016.JPG GCP: MTP\_02

Zoom Level

WGS 84 / UTM zone 47N (2D) - (717005.75, 1606196.07, -1.74) [m]

# การส่งต่อ Block ที่ผลิตแล้วไป เก็บข้อมูลรายละเอียดจำนวนมาก





## 2-D Digitizing on AutoCAD/ QGIS /ArcMap

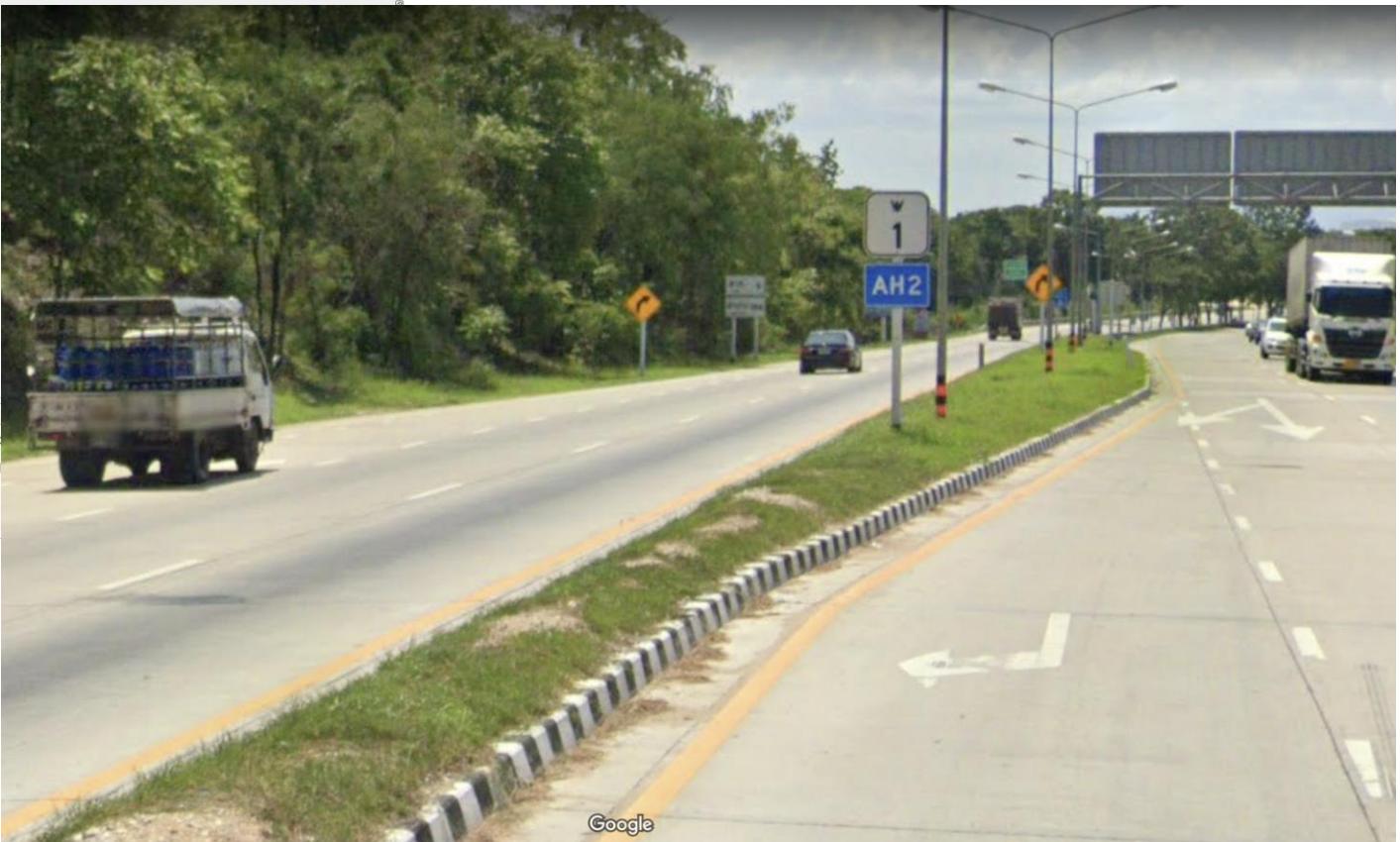
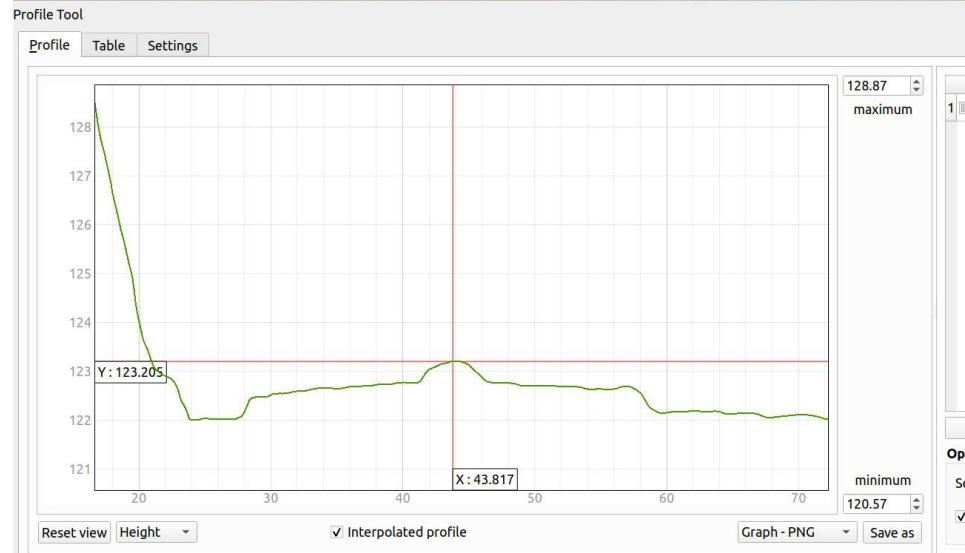
# การดิจิตาล化รายละเอียดบนแผนที่ภาพออร์บิท

- เป็นวิธีที่ทำได้ง่ายที่สุดสำหรับการเก็บรายละเอียดภูมิประเทศ สิ่งปลูกสร้าง สาธารณูปโภค
- สามารถกระจายภาระงานได้ง่าย
- ทำได้โดยการ **export**
  - รูปแบบ (Tiled) GeoTIFF : AutoCAD, QGIS, Arc Map
  - รูปแบบ KML Super Overlay : Google Earth
  - รูปแบบ Tile Map Service สำหรับระบบแผนที่ออนไลน์ **เรียกผ่าน ArcMap/QGIS** ได้
- ค่าระดับอากาศ ข้อมูลประกอบได้แก่
  - เส้นชั้นความสูง
  - จุดระดับที่สำคัญ (สำคัญ)
  - ในระบบที่เป็นแผนที่ดิจิทัลแสดงบนคอมพิวเตอร์ สามารถใช้ raster DTM/DSM





# รูปตัดขวาง DSM@GSD5cm



7/31/2021

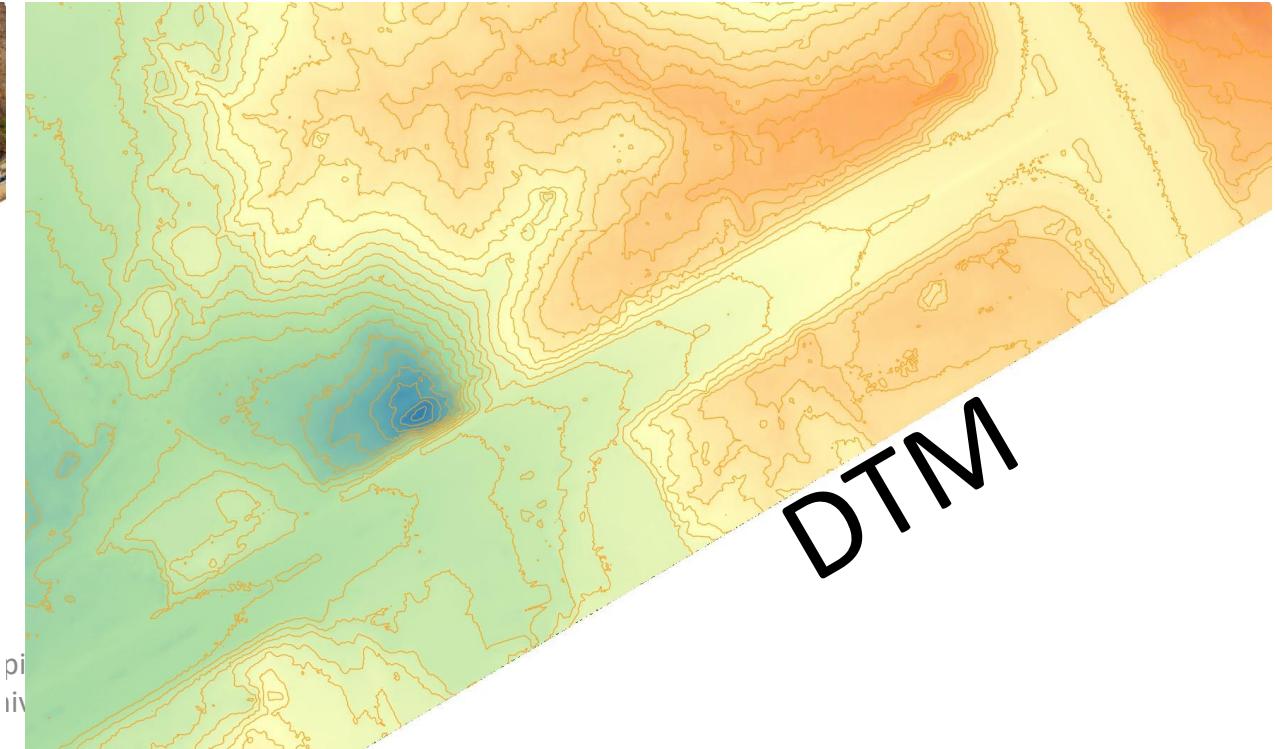
Google

# การเก็บรายละเอียดแผนที่ภูมิประเทศ

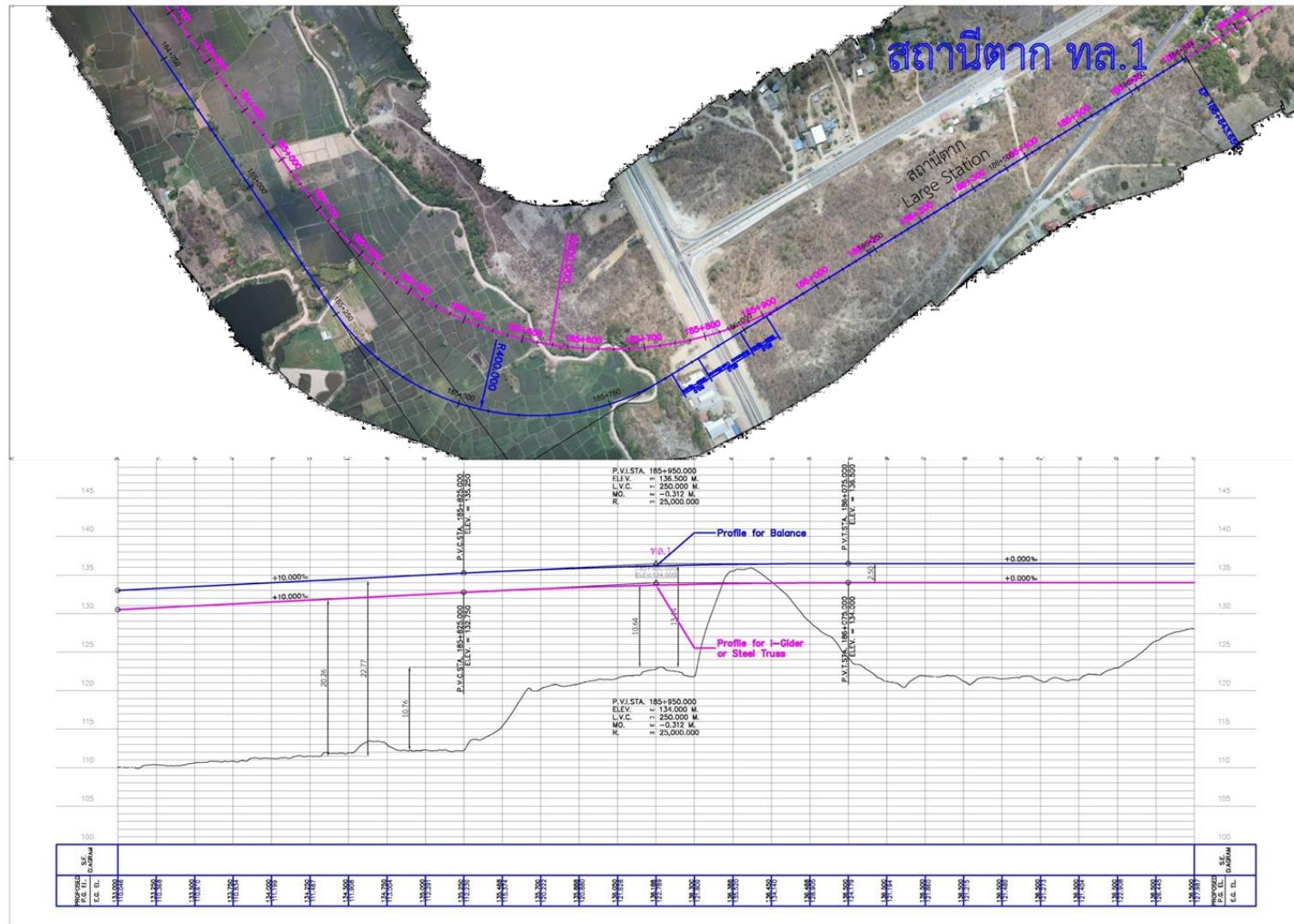
- 1 แผนที่ภาพออร์โธ ortho @5cm top-view
- 2 เส้นชื่นความสูง วัตถุสูง ดูจาก dsm @gsd1m
- 3 เส้นชื่นความสูง ดูจาก dtm @gsd1m--> contour int 1 m
- 4 ภาพยูเอวี ต้นฉบับ เช่น Pix4D Survey / RayCloud / MTP
- 5 ภาพ street view จาก กุเกิลเมพ

# ผลการสำรวจเมื่อนำมาประมวลพร้อมจุดบังคับภาพ (GCP)

- แผนที่ภาพออร์โท ความละเอียดจุลภาพ 5-20 เซนติเมตร
- แบบจำลองระดับพื้นผิวภูมิประเทศ GSD 20 เซนติเมตร
- เส้นขั้นความสูงภูมิประเทศ C.I. @ 50 เซนติเมตร



# การนำไปใช้ในงานออกแบบงานทางต่างๆ



# การใช้งานแผนที่ภาพออร์โท UAV ร่วมกับ Google StreetView



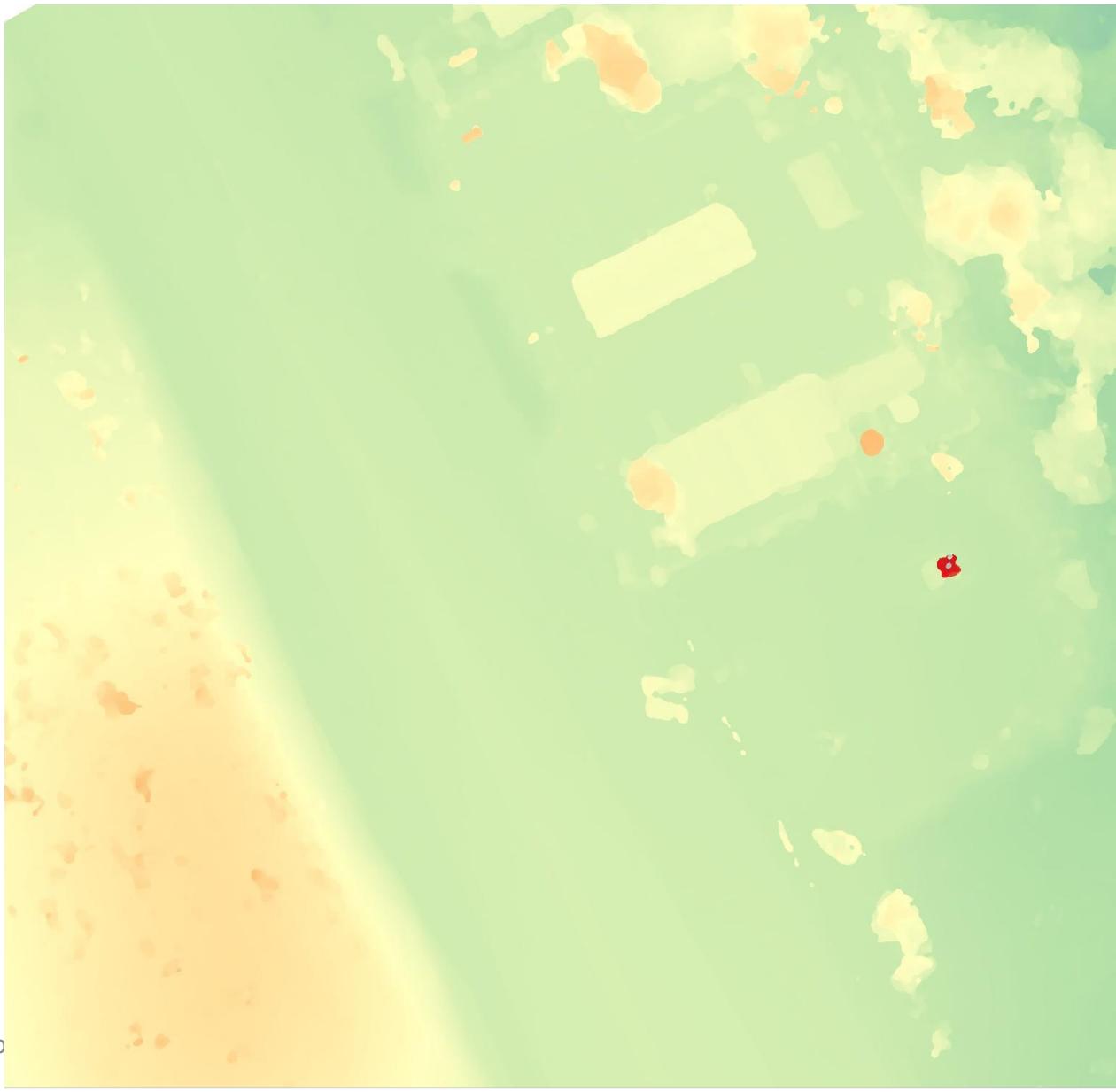
titmanont, Chula.Univ.

Google

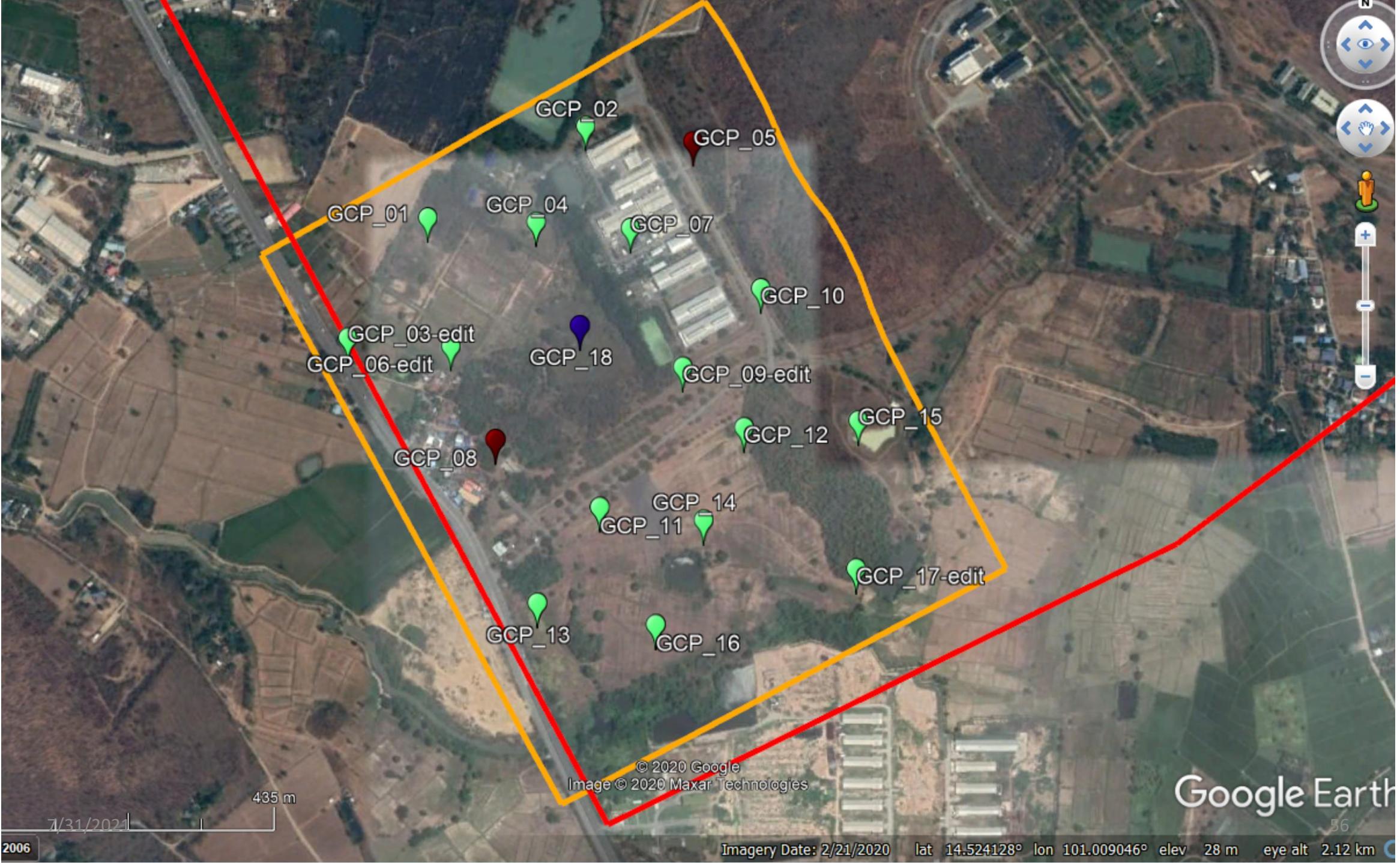
53



mano



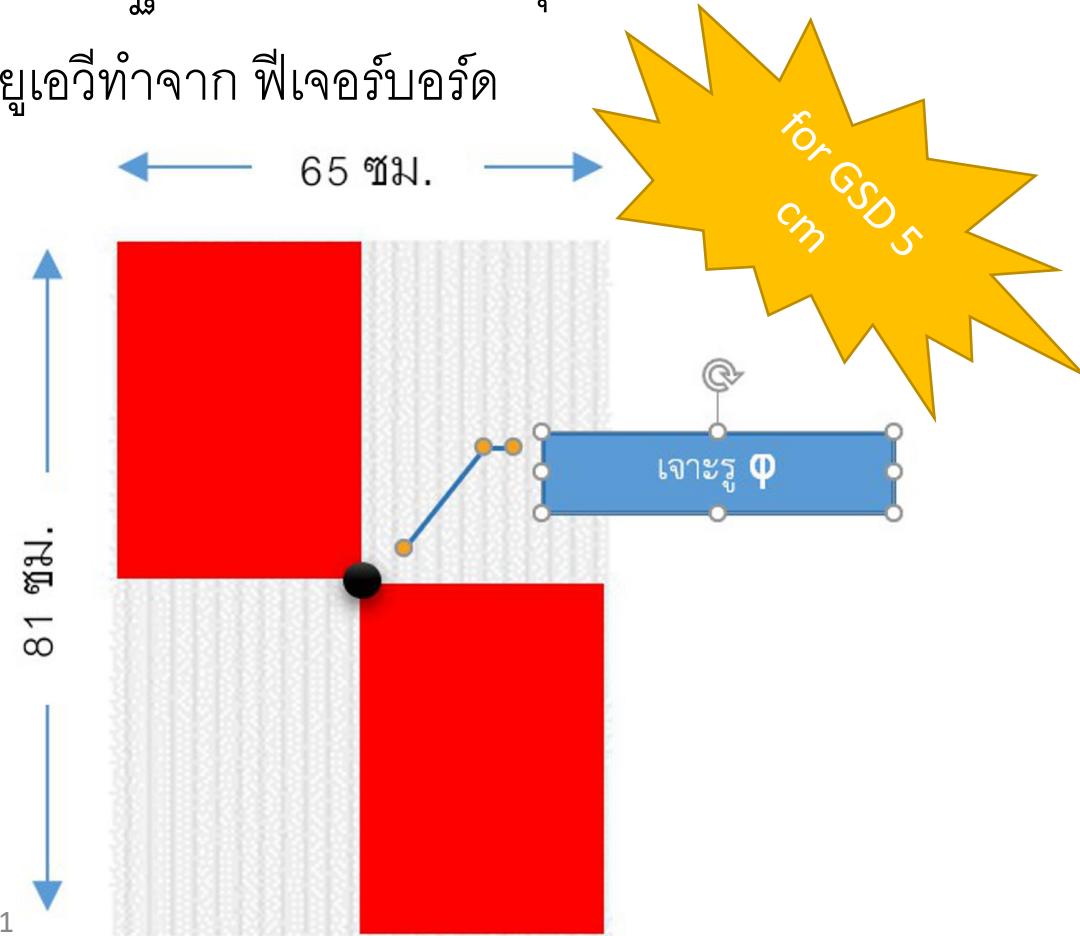
# Game Changer



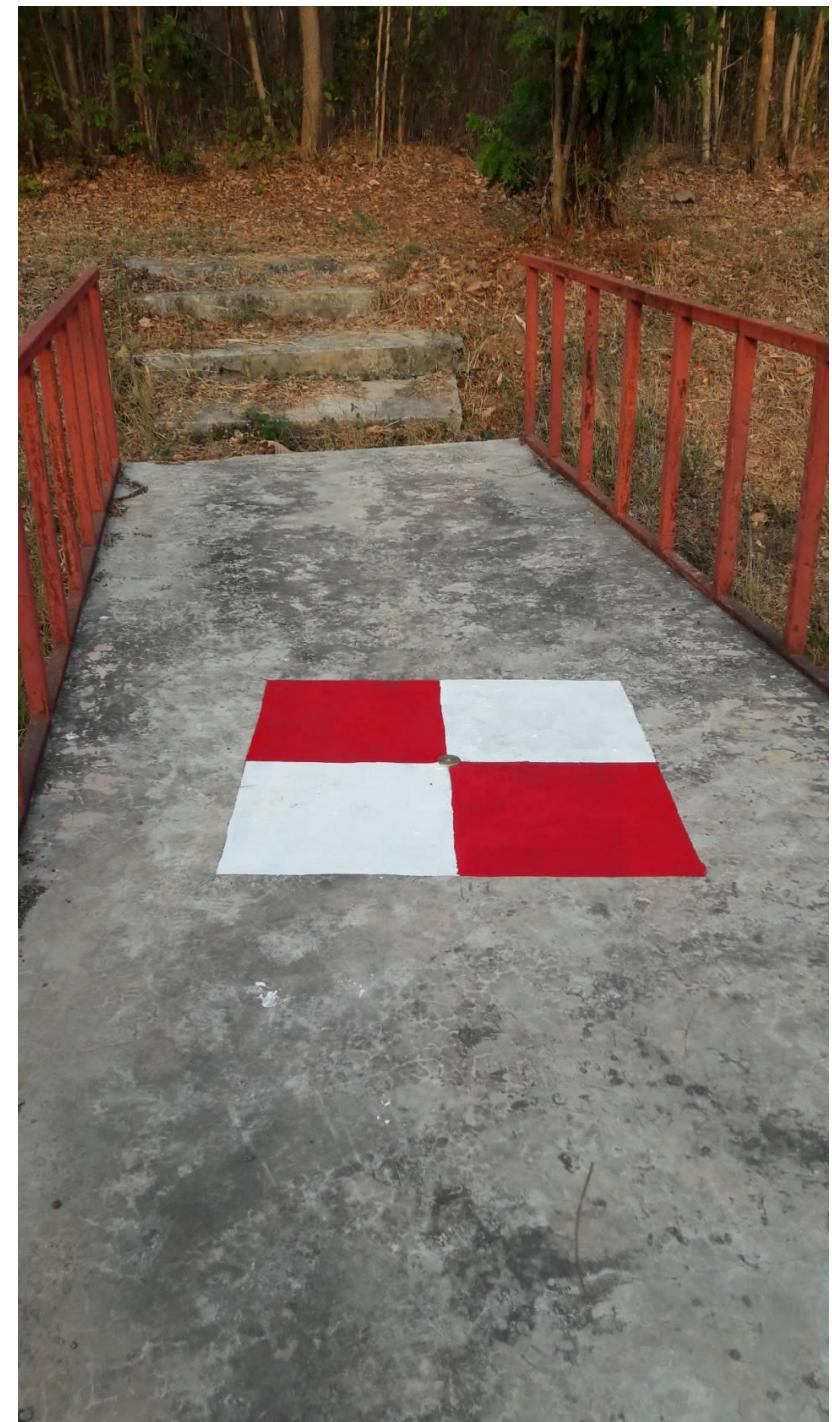
© 2020 Google  
Image © 2020 Maxar Technologies

# หมุดควบคุม พื้นดิน/ภาพถ่าย

- หมุดมาตรฐานผังถาวร 18 หมุด
- เป้ายูเอวีทำจาก ฟีเจอร์บอร์ด

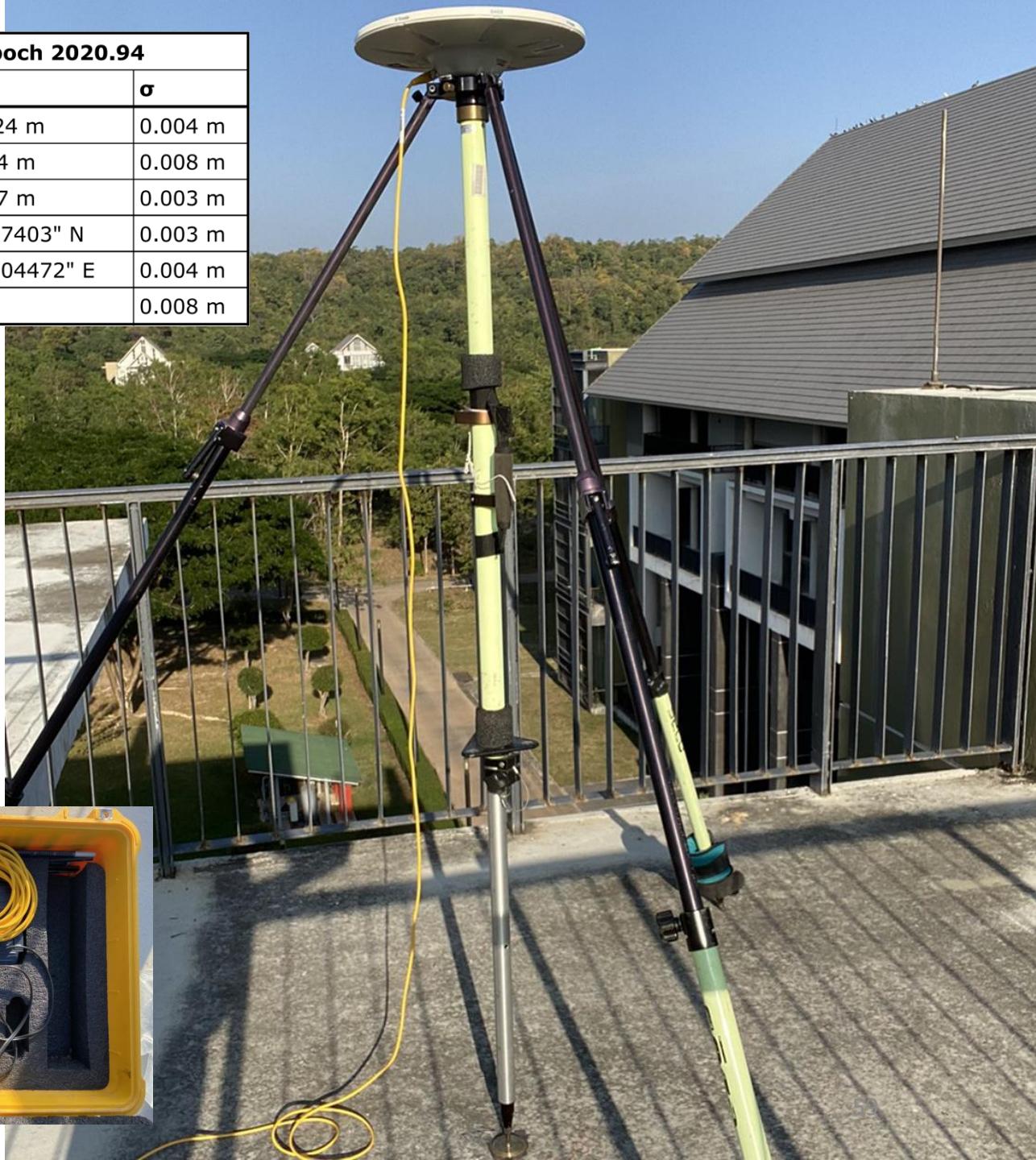


ເປົ້າບັນກັບກາພ ຈົນດ ດາວຣ ຄວາມຄູກຕ້ອງສູງ ...



7/31/2021

ITRF2014 at Epoch 2020.94		
Coordinate	Value	$\sigma$
X	-1180897.924 m	0.004 m
Y	6061691.634 m	0.008 m
Z	1589129.437 m	0.003 m
Latitude	14° 31' 24.77403" N	0.003 m
Longitude	101° 01' 26.04472" E	0.004 m
El. Height	27.089 m	0.008 m



50

# GNSS Disrupting ... Multi-freq GNSS Receiver ( Rcv 200k → 20k )      ( Ant. 40k → 4k )



# มาตรฐานขั้นต่ำทำแผนที่ภูมิประเทศ



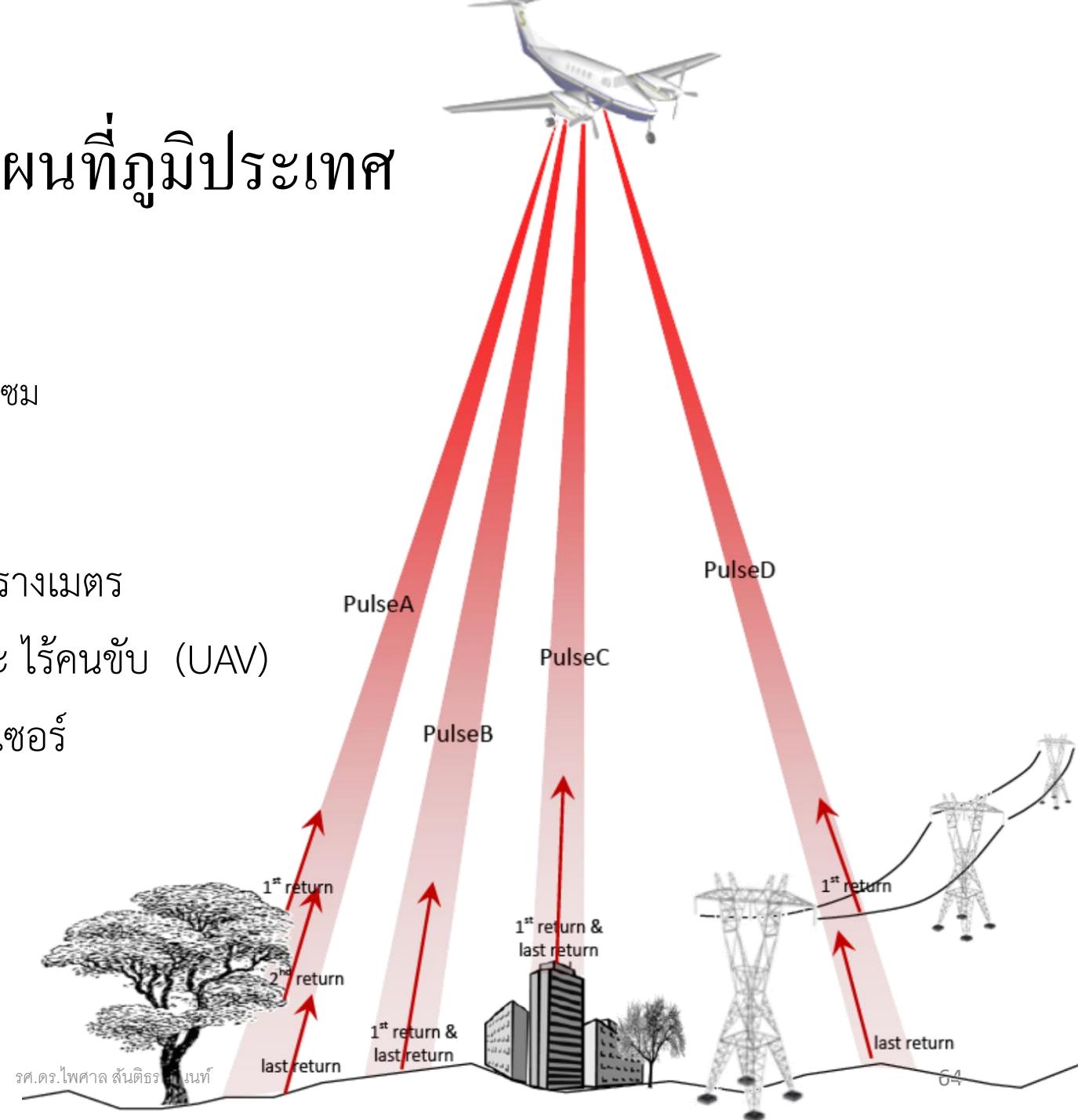
# UAV Laser Scanning ( ULS )

2021 New Normal  
For Surveying

Unmanned Aerial Vehicle Laser Scanning

# การสำรวจด้วย ไลดาร์สำหรับแผนที่ภูมิประเทศ

- เป็นสำรวจด้วยวิธีตรง
  - ค่าพิกัด GNSS-PPK ทางราบ  $\pm 5\text{ซม}$  ทางดิ่ง  $\pm 10\text{ซม}$
  - มุมเอียงลำแสงเลเซอร์  $\pm 1/100^\circ \dots \pm 1/100^\circ$
  - ระยะทาง  $\pm 10\text{มม.}$
- ให้ความหนาแน่นจุดระดับ 10 – 300 จุดต่อ ตารางเมตร
- ใช้อากาศยานมีคนขับ manned Aircraft และ ไร้คนขับ (UAV)
- มี GNSS + IMU ให้ค่าพิกัดและความเอียงเซนเซอร์
- ความละเอียดถูกต้องทางดิ่ง  $+/- 15 \text{ ซม}$
- มีความสามารถ multiple-returns
- สามารถจำแนก ground / non-ground ได้ดี



# การสำรวจภูมิประเทศด้วยไลดาร์ ในประเทศไทย

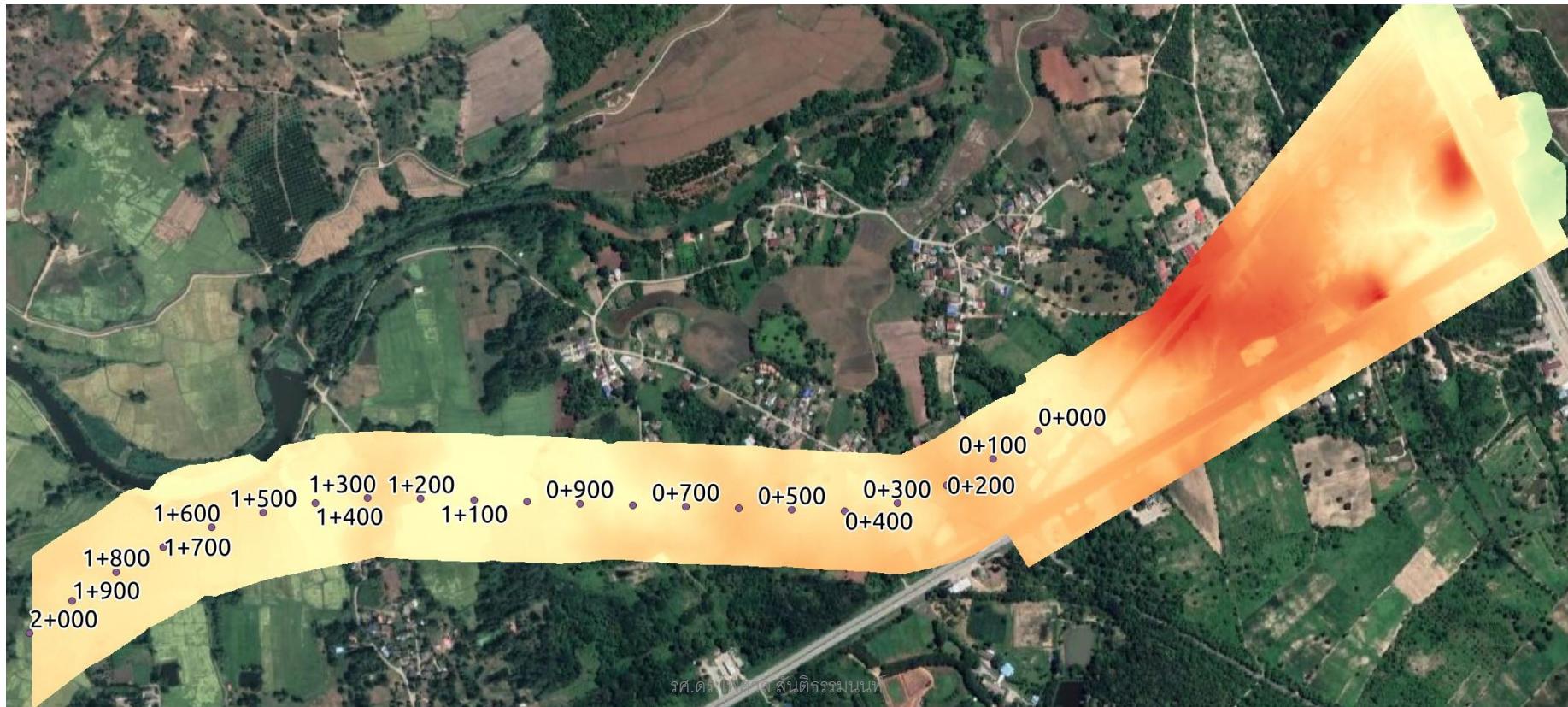


# การสำรวจภูมิประเทศด้วยไลดาร์ ในประเทศไทย ( 2021 ....game changing ...)



# ยุคทองในการทำแผนที่ด้วย UAV-P and UAV-LS

- การทำแผนที่เพื่องานออกแบบและก่อสร้าง ทดแทนงานสำรวจปกติได้มากถึง 70%
- ความเร็วในการสำรวจ 10 กม ต่อวัน เปรียบเทียบกับวิธีปกติ วันละ 300 เมตร



ราคาอุปกรณ์ รูปแบบวิธีการทำงาน ลดลงมาก ทำงานสุดๆ ขึ้นมาก

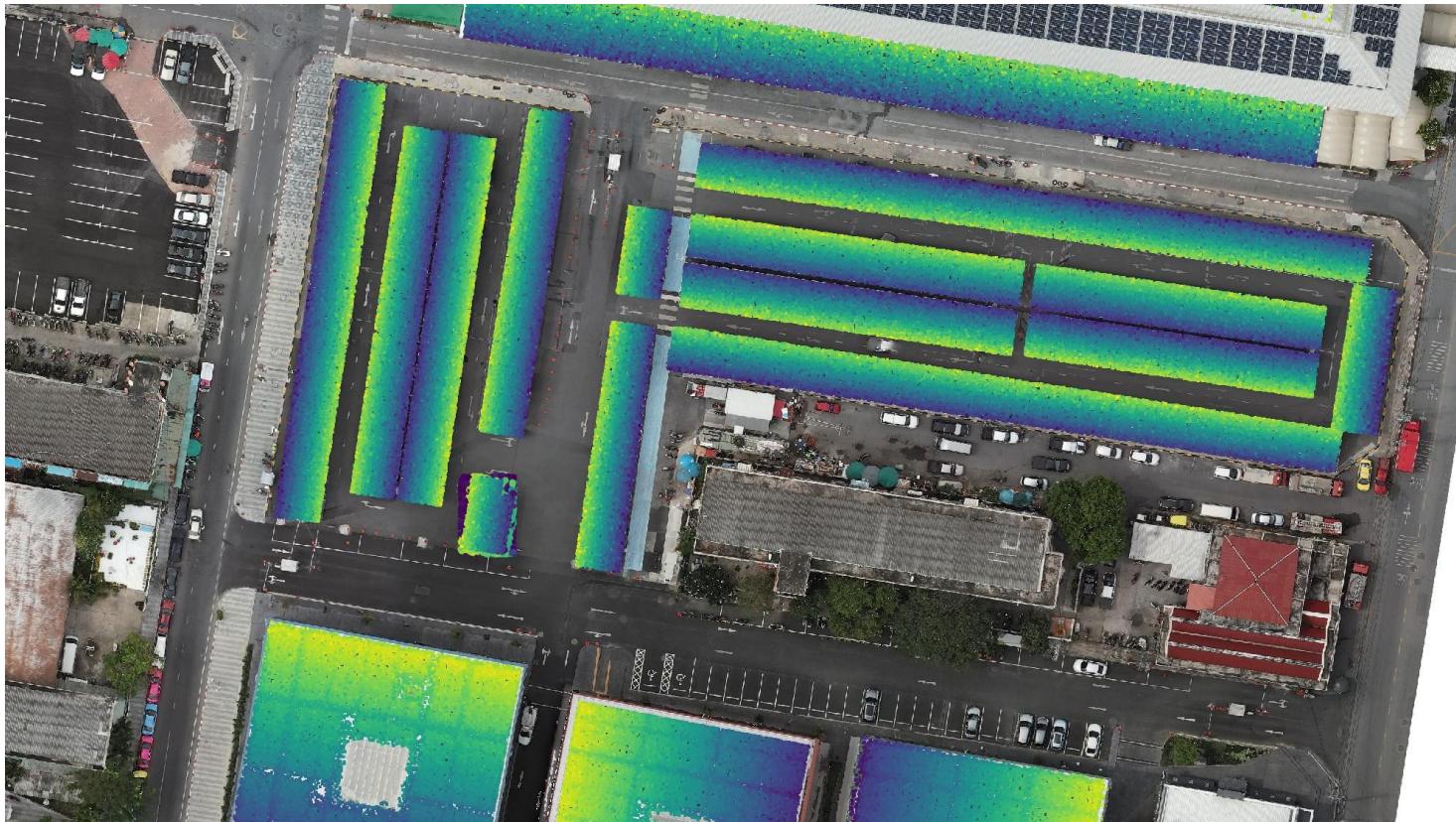


# ราคาก่อสร้างใกล้เคียงกับกล้องโทรทัศน์สเตชั่น

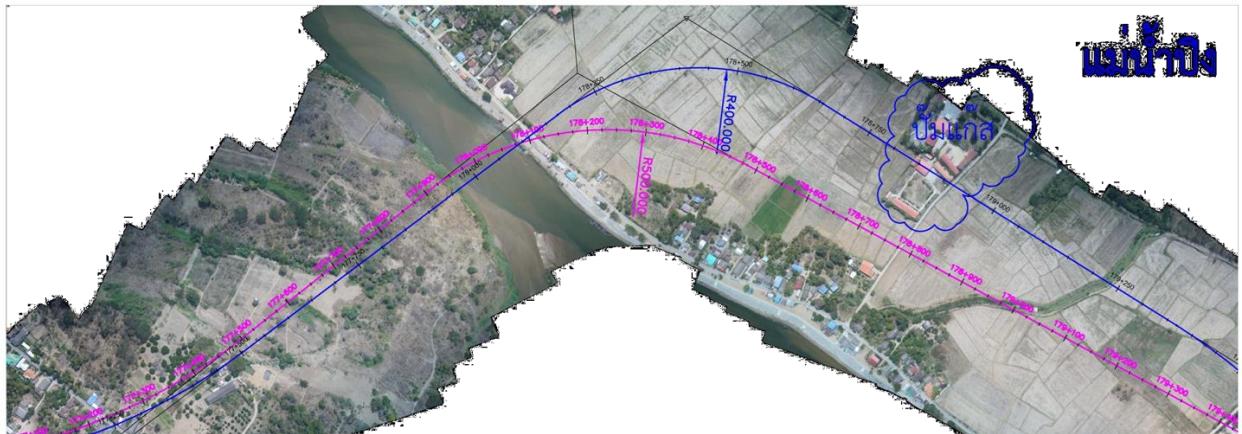
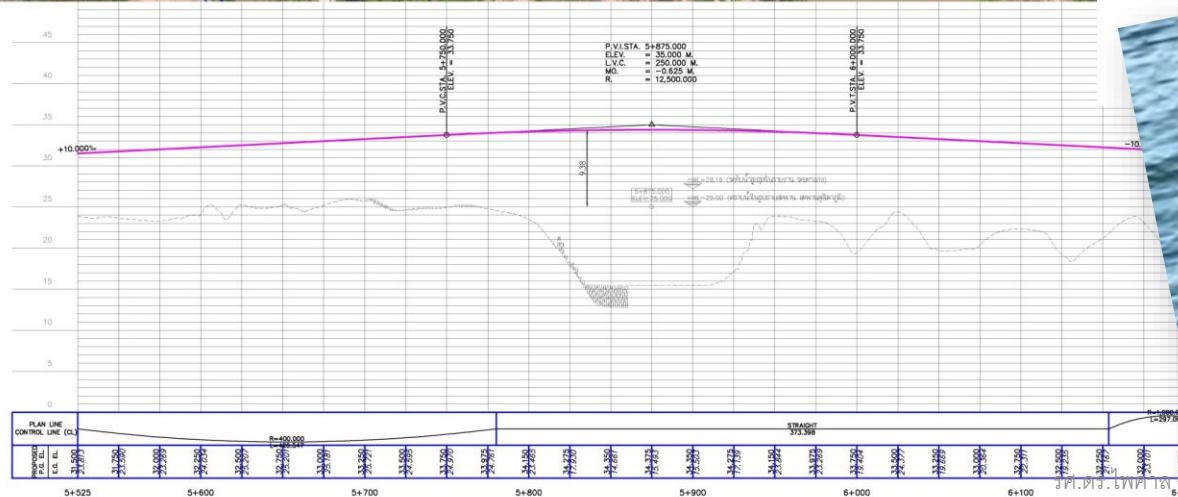


# ยุคทองในการตรวจสอบสิ่งปลูกสร้างด้วย UAV-P and UAV-LS

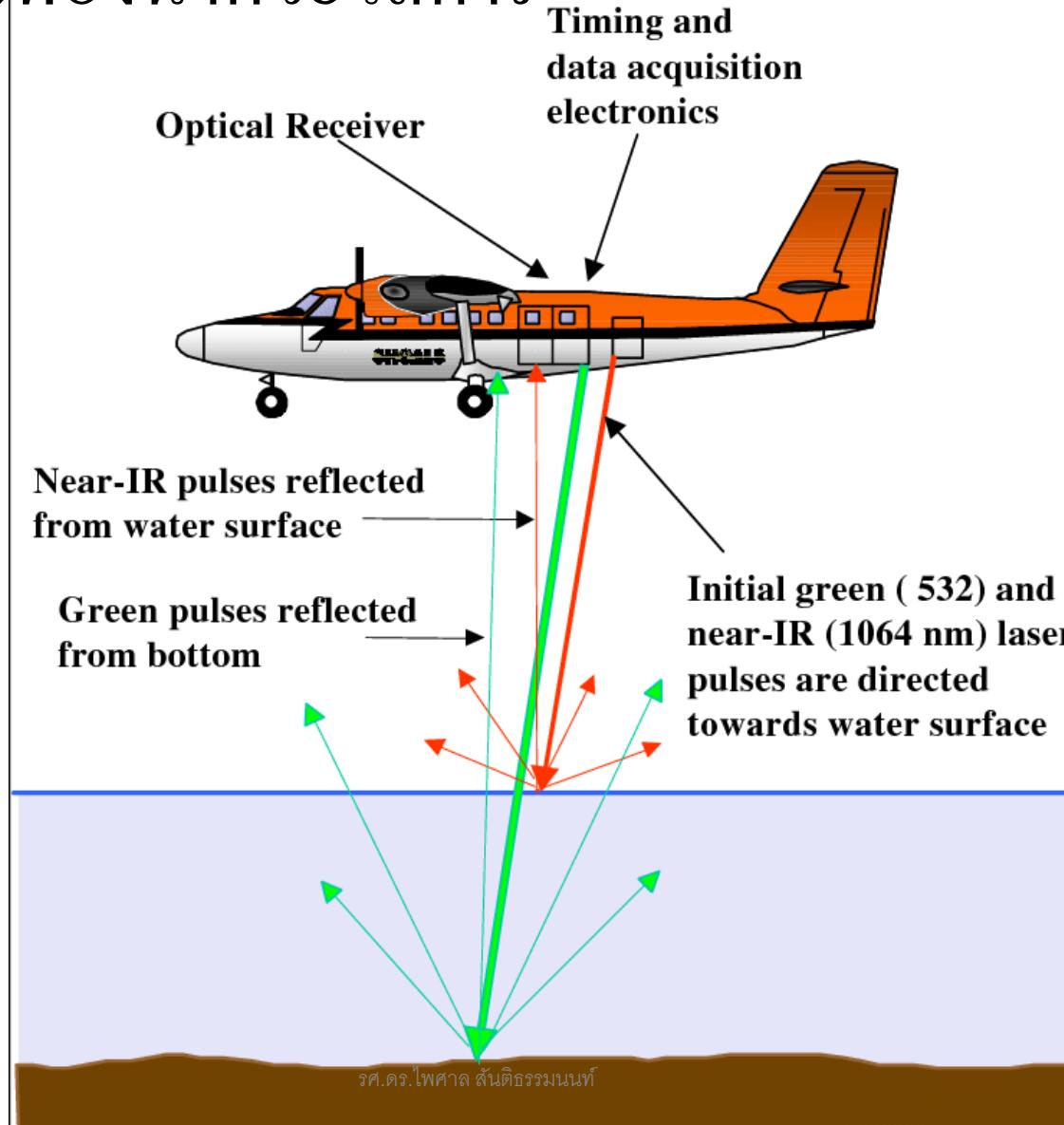
- การตรวจสอบแผงโซล่าเซลล์บนหลังคา “ระดับเมือง”



# การสำรวจความลึกลำนาด ด้วย USV



# การสำรวจความลึกห้องน้ำด้วยไอลดาร์



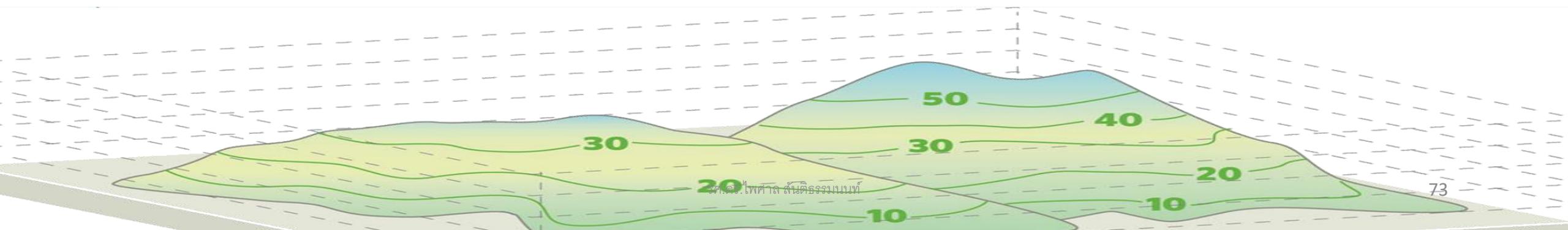
# การบินโดรนเพื่อการสำรวจทำแผนที่ → CAAT

- Manned Aircraft 500-1,000 m AGL



- Unmanned Aerial Vehicle 90-200 m AGL

Cloud and ATC  
++ Permission ++



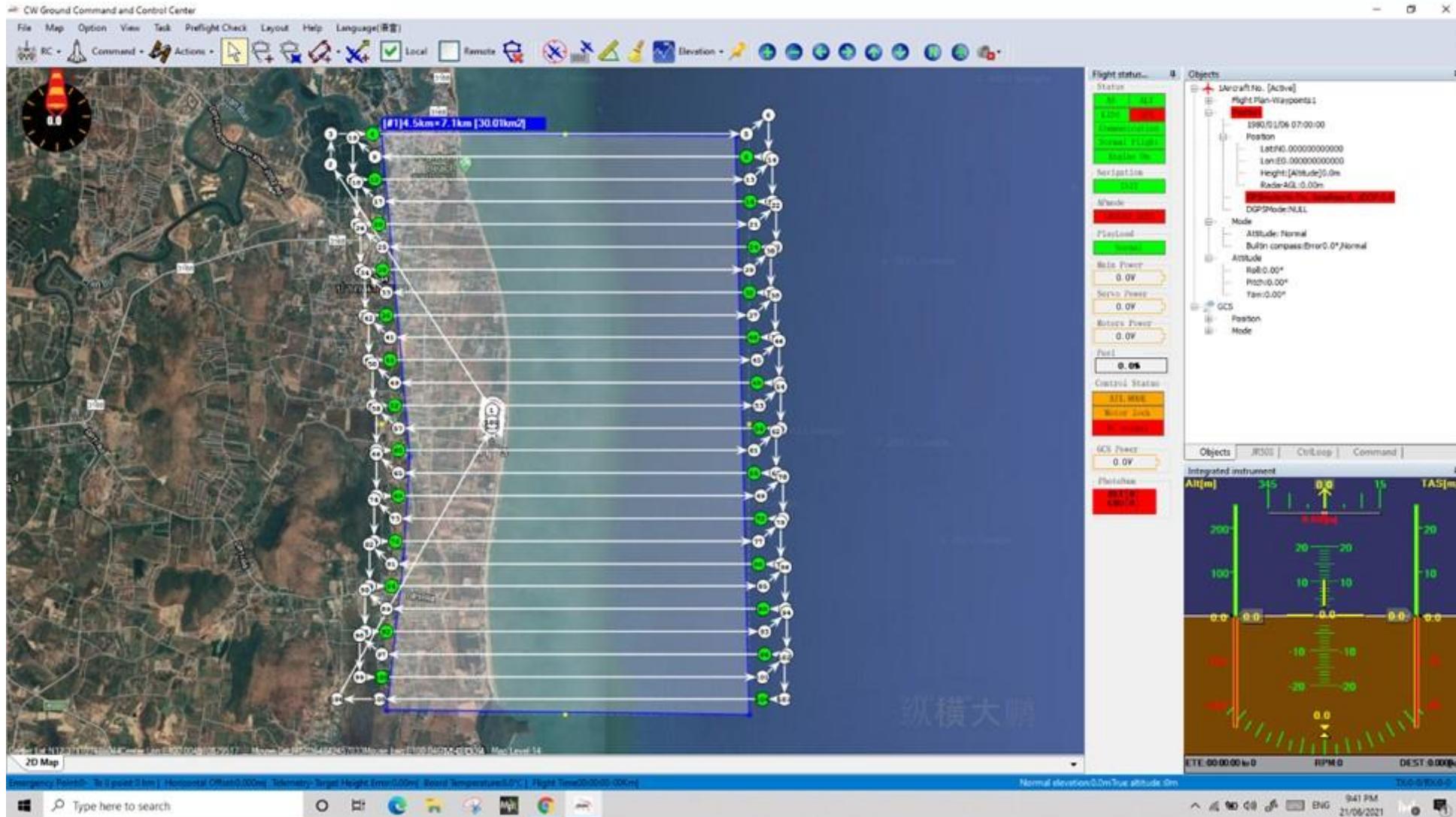
# High-performance UAV

- JoUAV CW-40 / CW-100
- Hybrid VTOL Gasoline+Electric
- Cruise speed 80-100 km/h



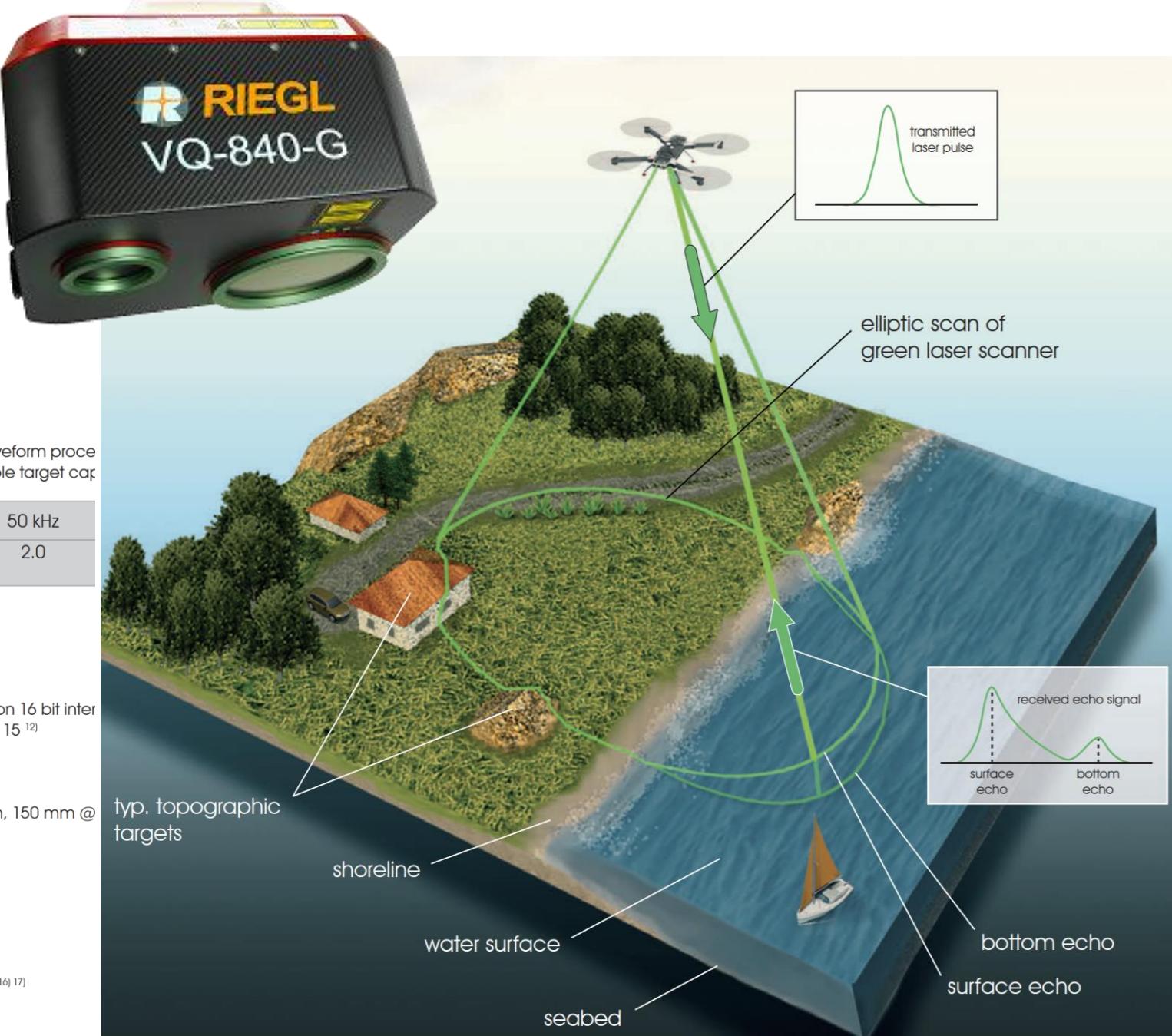
Hardware	
Wingspan	4610mm
Fuselage length	2305mm
Height	797mm
Max. takeoff weight	45kg
Battery	5 x 6S 8000mAh LiPo
Fuel tank volume	11L
Radio frequency	Telemetry Radio Link: 902-928MHz Live Video Transmission Link: 1410-1470Mhz
Carrying case size	Fuselage: 1700mm(L)*700mm(W)*350mm(H) Wings: 1700mm(L)*700mm(W)*450mm(H)
Flight Performance	
Payload Capability	≤10kg
Cruise airspeed	80km/h-120 km/h
Max airspeed	150km/h
Flight endurance	8h with 6kg of payload (1000m ASML, 18°C, 82.8km/h)
Max. Takeoff altitude	3500m(Gasoline version)/3000m(Heavy oil version)
Max. Flight ceiling	6000m(Gasoline version)/5000m(Heavy oil version)
Wind Resistance	VTOL: Level 6 (10.8-13.8 m/s) Cruising: Level 7 (13.9-17.2m/s)
Water Proof	Sustainable flight under light rain (<10mm/24h) ≤30 mins under medium rain (<25mm/24h)
Temperature	Operating environment Temp.: -20°C-55°C Storage environment Temp.: -30°C-60°C
Vertical Positioning Accuracy	3cm
Horizontal Positioning Accuracy	1cm+1ppm
Direction Finder	Double differential GPS direction finding and backup

# Mission Plan : JoUAV CW-30 2.5 Hr@session Area 35 ตร.กม. Covered coast-line 10 km



# UAV Bathymetry Laser Scanning ( Bathymetry ULS )

# VQ-840-G



## Range Measurement Performance

### Measuring Principle

echo signal digitization, online waveform processing, time-of-flight measurement, multiple target capability

Laser Pulse Repetition Rate PRR <sup>5)</sup>	200 kHz	100 kHz	50 kHz
Max. Water Depth Penetration in Secchi Depths <sup>6) 7)</sup> (Flight altitude 75m above water level)	1.7	1.8	2.0

### Minimum Range

### Accuracy<sup>9) 11)</sup>

### Precision<sup>10) 11)</sup>

### Laser Pulse Repetition Rate

### Max. Effective Measurement Rate<sup>5)</sup>

### Echo Signal Intensity

### Number of Targets per Pulse

### Laser Wavelength

### Laser Beam Divergence

### Receiver Field of View

### Laser Beam Footprint (Gaussian Beam Definition)

20 m  
20 mm  
15 mm  
50 kHz to 200 kHz  
up to 200 000 meas./sec  
for each echo signal, high-resolution 16 bit internal  
online waveform processing: up to 15<sup>12)</sup>  
532 nm, green  
selectable, 1 up to 6 mrad<sup>13)</sup>  
selectable, 3 up to 18 mrad  
50 mm @ 50 m, 100 mm @ 100 m, 150 mm @

## Scanner Performance

### Scanning Mechanism / Scan Pattern

rotating scan mirror

### Scan Pattern

elliptic

$\pm 20^\circ = 40^\circ$

10 - 100 lines/sec (lps)<sup>15)</sup>

$0.018^\circ \leq \Delta \theta \leq 0.72^\circ$  (for PRR 50 kHz)<sup>16) 17)</sup>

0.001° (3.6 arcsec)

### Off Nadir Scan Angle Range

### Scan Speed (selectable)

### Angular Step Width $\Delta \theta$ (selectable)

### between consecutive laser shots

### Angle Measurement Resolution

# Astralite : 2-in-1 LiDAR Solution

## Topographic + Bathymetric Mapping

System Specifications	
Weight	5 kg
Dimensions	27 cm x 23 cm x 19 cm
Power Supply	Internal Li-ion Battery - 1-hour lifetime
Data Interface	USB Flash Drive
Data Volume	1 GB / 10 Minutes
Laser Class	Class 3R Laser Product according to IEC 60825-1:2014
Nominal Ocular Hazard Distance (NOHD)	5.5m (Eye Safe at >5.5m from output aperture)

LiDAR Performance	
Accuracy	1 cm
Precision	0.5 cm
Laser Wavelength	532 nm
Typical Altitude	20m - Bathy; 40m - Topo
Depth Penetration	>1.5 Secchi Depth
Pulse Repetition Rate	20 kHz (design option)
Laser Beam Footprint	33 cm at 30 m (11 mrad divergence)

Scanner Performance	
Scan Pattern	Linear cross-track
Scan Angle Range	± 15° = 30°
Scan Rate	70 Hz (design option)

IMU Performance (with Dual GPS Antennas and PPK)	
Position Accuracy	2 cm
Roll / Pitch	0.05°
Heading	0.2°



MANTAS  
Coral Reef Se

# ขอบคุณครับ