การประยุกต์ใช้ยูเอวีสำหรับงานโครงข่ายทางหลวง

UAV for Highway Application

รศ.ดร. ไพศาล สันติธรรมนนท์

คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

ศูนย์เชี่ยวชาญการจัดการโครงสร้างพื้นฐาน

นิยาม

- โดรน อากาศยานหรือหรือเรือที่บังคับควบคุมจากระยะไกล หรือ ควบคุมด้วยคอมพิวเตอร์บนพาหนะ
- ยูเอวี (unmanned aerial vehicle : UAV) อากาศยานไร้คน
- ยูเอเอส (unmanned aerial system : UAS) ระบบอากาศยานไร้คน
- ยูแอลเอส (unmanned laser scanning system) ระบบอากาศยานไร้คนติดสแกนเนอร์

การถ่ายภาพทางอากาศเพื่อการรังวัดและทำแผนที่ Photogrammetry

การถ่ายภาพทางอากาศเพื่อทำแผนที่ด้วยโดรน

Survey Grade Drones vs Consumer Grade Drones

Specifically Designed for Mapping	**Designed for Consumer Applications** - Photography, Hobby
Expensive	Less expensive
Not much popular (yet)	Very popular among the community
Need specific knowledge to operate	Simple operation
Equipped with GNSS and IMU	Equipped with GNSS and IMU
Able to perform high accurate 3D mapping	Has great potential to use in mapping

Dual-freq. GNSS PP / RTK

Trimble UX5

senseFly eBee

DJI Phantom 3

DJI Phantom 4

Parrot BeBop

หาก มีกล้องถ่ายภาพคุณภาพเดียวกัน รูปแบบการถ่ายภาพเ
การประเมินผล มีจุดควบคุมภาพเหมือนกัน
 ได้แผนที่ภาพ point cloud รังวัดได้ใกล้เคียงกัน

UAV สำหรับงานแผนที่ให้เลือกมากมาย

1) Multi-Rotor : MR

2) Fixed-Wing : FW

Aeryon

Aibotix

Astec

Cropcam

Microkopter

Pteryx

senseFly

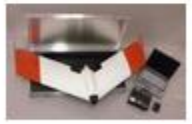
Skycam

Gatewing

Lehmann Aviation

MAVinci

Microdrones



senseFly

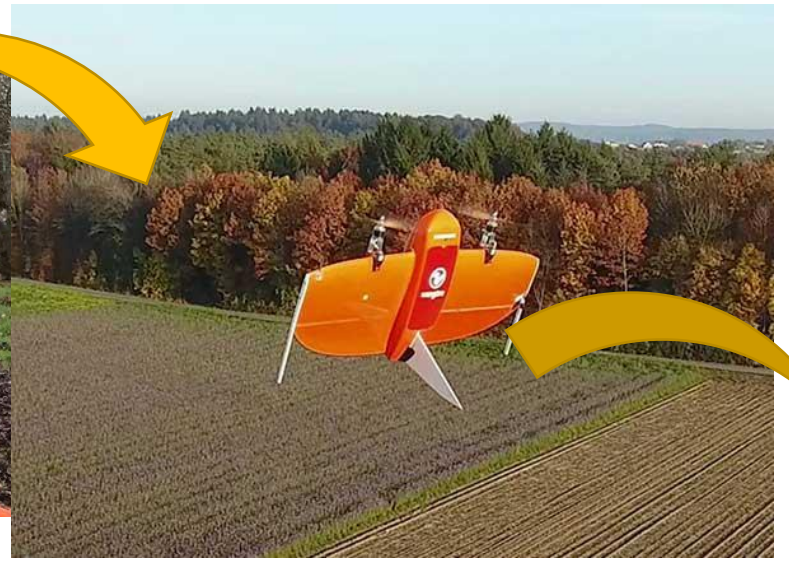
TerraPanLabs

Vision du ciel

Foxtech Nimbus VTOL V2 for Mapping and Survey

VTOL=Vertical Take-off and Landing

Tail-Sitter UAV (Transition)



เซนเซอร์ บันทึกภูมิประเทศ

เซนเซอร์ บันทึกภูมิประเทศ

- กล้องถ่ายภาพสี (RGB)
- ชุดกล้องเฉียง (Oblique Camera)
- กล้องถ่ายภาพมัลติสเปคตรัม Multispectrum Camera
- กล้องถ่ายภาพ คลื่นความร้อน Thermal Camera
- ระบบเลเซอร์สแกน Laser Scanner

Full-frame Mapping Camera Module for UAV

Foxtech Map-02 Mapping Camera

- APS-C Exmor CMOS sensor
- Low Level Trigger
- Only 115g
- Hot Shoe
- 24.3 MP

ประโยชน์ของโดรนติดกล้องเฉียง ถ่ายภาพหลายมุม

ค่าใช้จ่ายไม่ต่างจากกล้องเดี่ยว

- กล้องดิ่งใช้ผลิต True Ortho
- กล้องเฉียงใช้ตรวจสอบอาคาร
  - ประเมินภาษี
  - ควบคุมต่อเติม
  - ปลอดภัยอาคาร

(ก)

(ข)

(ค)

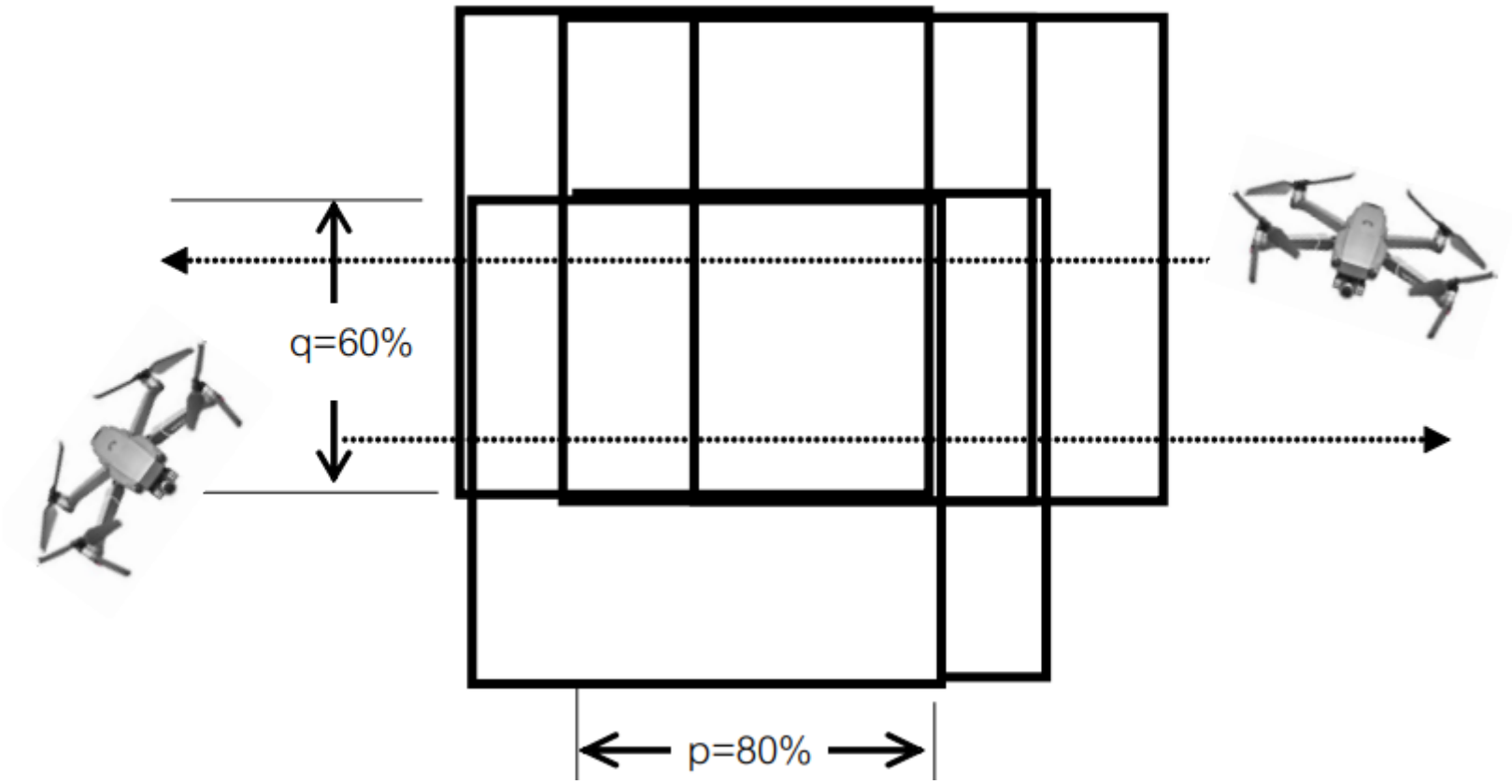
UAV Laser Scanner

Rigle - Velodyn -

ส่วนซ้อนในแนวบิน (overlap : p >80%)

ส่วนซ้อนระหว่างแนวบิน (sidelap : q >=60%)

- U



ส่วนซ้อน: ในแนวบิน p>80% ด้านข้าง q>60%

รูปแบบการบิน “lawn mower”

การประมวลภาพจากโดรน

Lens Distortion (In-situ (on-site) calibration)

ซอฟต์แวร์ประมวลสำหรับยุเอวี

PIX4D

Education and Non-commercial

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

Educational Perpetual licenses		Non-commercial Perpetual licenses	
Professor license 2 devices	1990 USD	Non commercial 2 devices	4990 USD

Professional Edition

Stand-alone license

$ 3 499

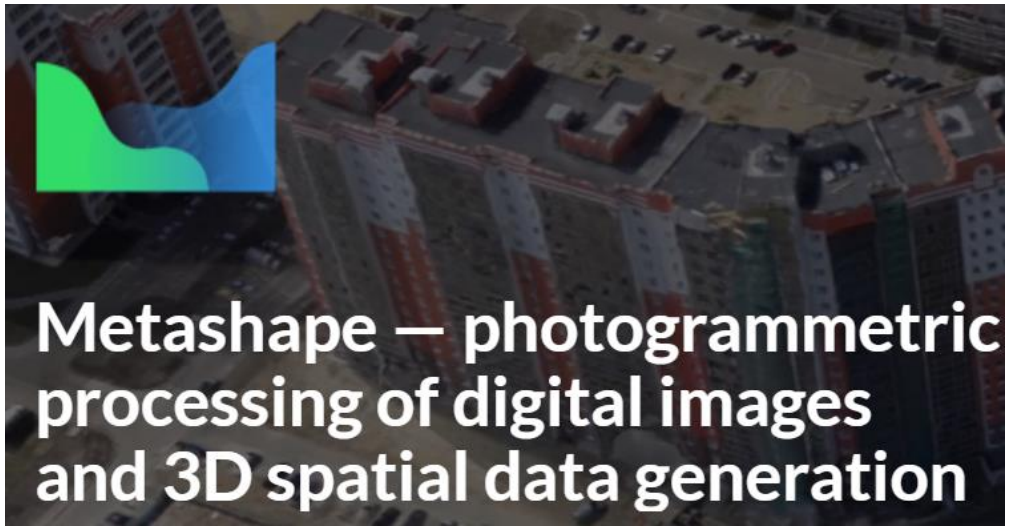
Standard Edition

Stand-alone license

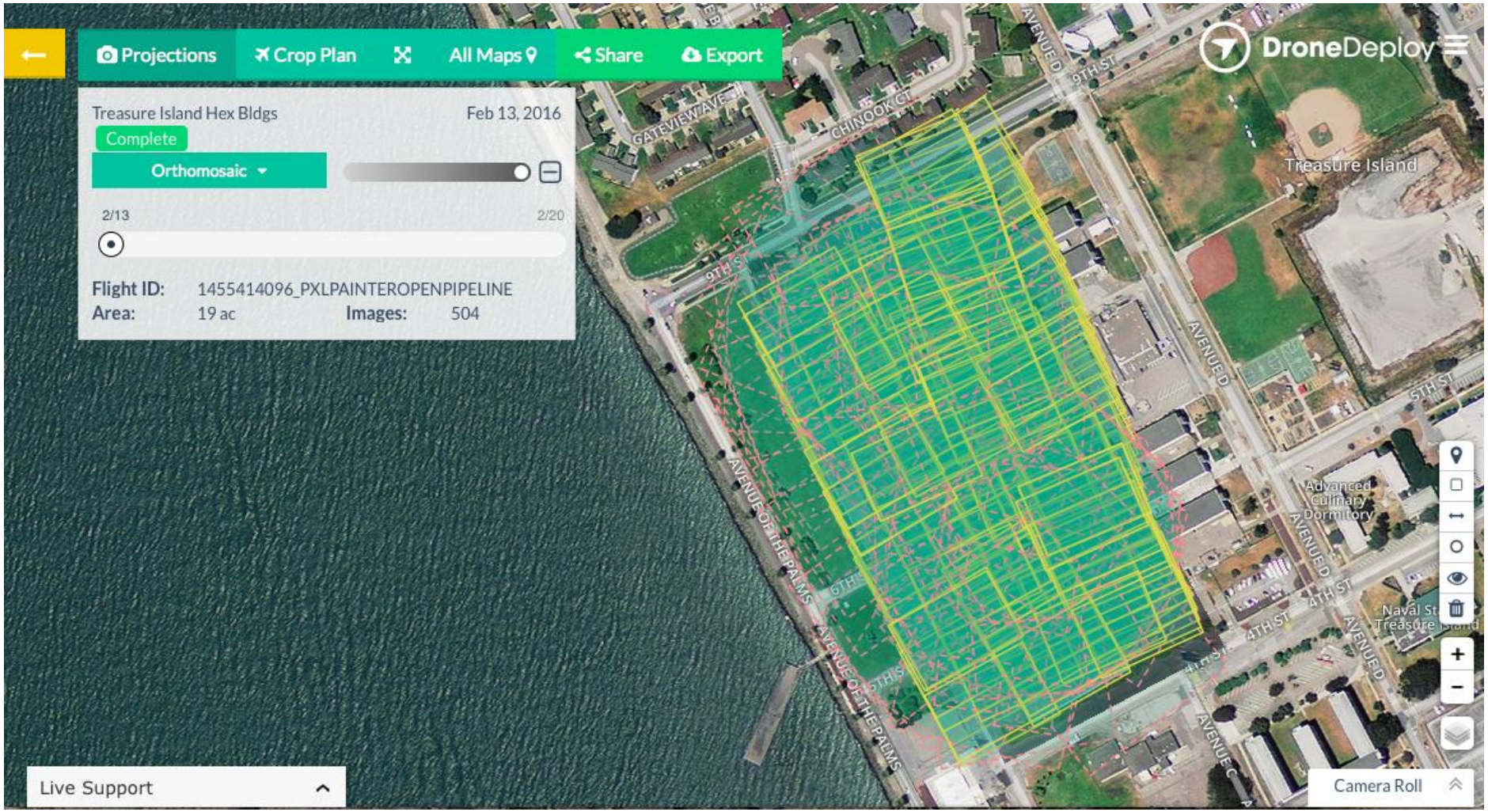
$ 179

PhotoScan

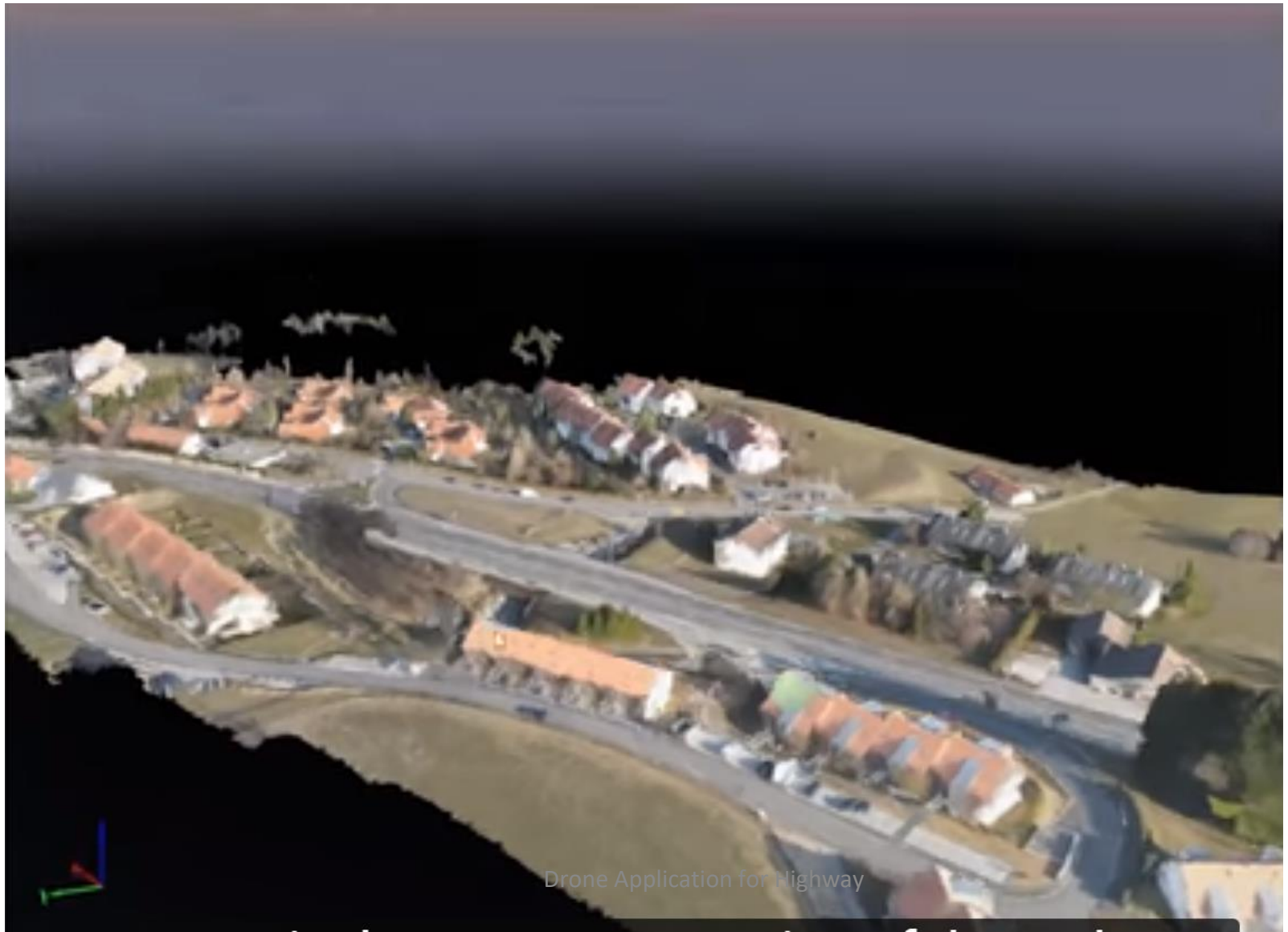
3D Modeling and Mapping



การประมวลผลออนไลน์ DroneDeploy

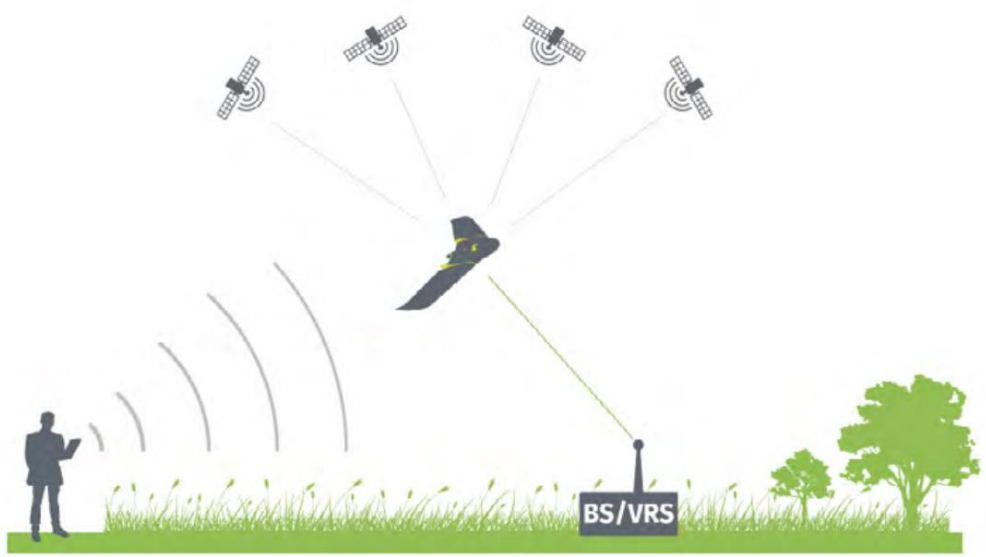


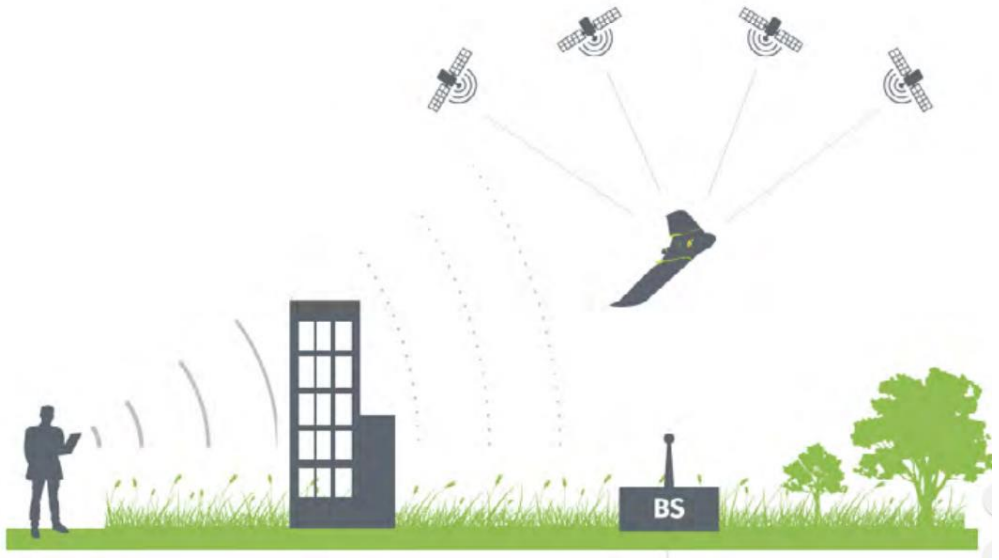
UAV processing output ? 3D Point Cloud



RTK / PPK UAS/UAV

- RTK Real-Time Kinematic
  - ต้องการสื่อสารระหว่าง BaseStation กับ Rover
  - มีการส่งค่าแก้ RTCM 10402.3 / 10410.0 (NTRIP)
- PPK Post-Processed Kinematic
  - นำ raw data จาก base station





การติดตั้งเป้า GCP/CHK

- สำหรับ GSD@5cm

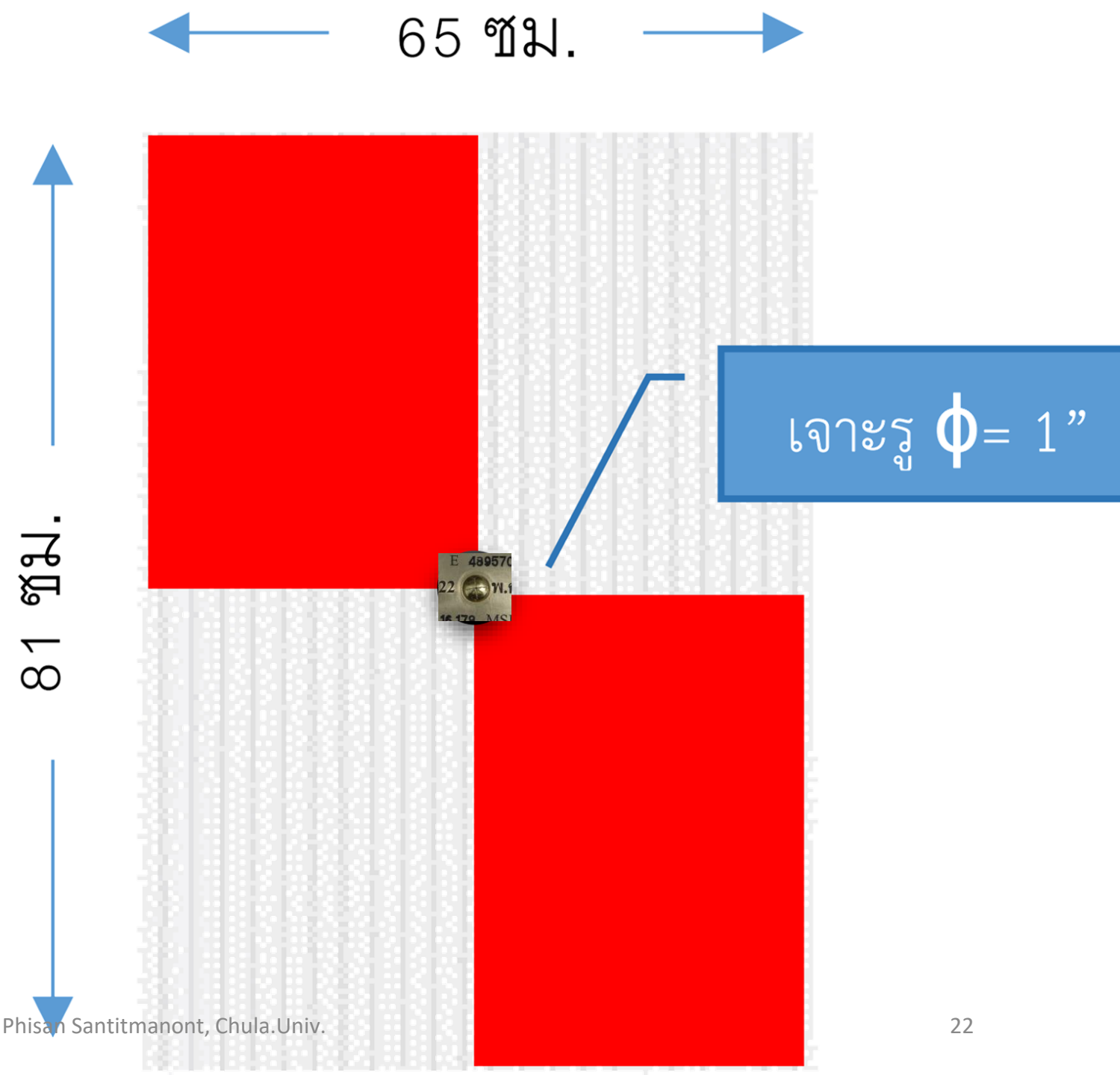
- แผ่นฟีเจอร์บอร์ด

(ไซส์มาตรฐาน)

- ใช้การรังวัด RTK (rover → base << 5 กม)

$$\sigma_{hor} = \pm 2\ cm$$
$$\sigma_{ver} = \pm 5\ cm$$

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

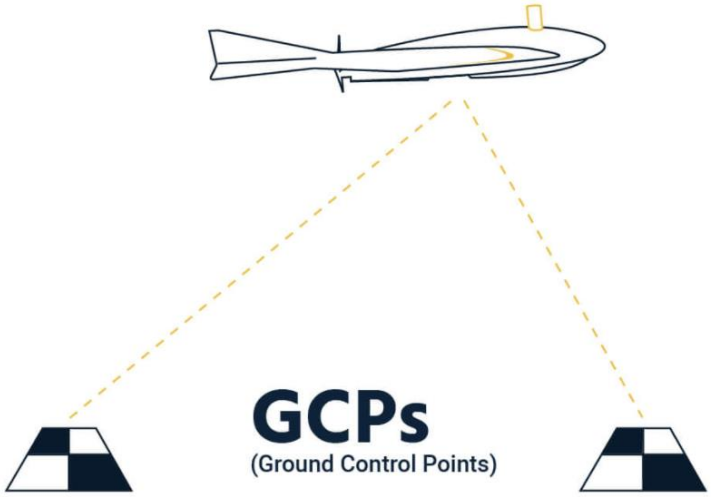


รูปแบบการใช้งาน GNSS กับยูเอวี

C/A

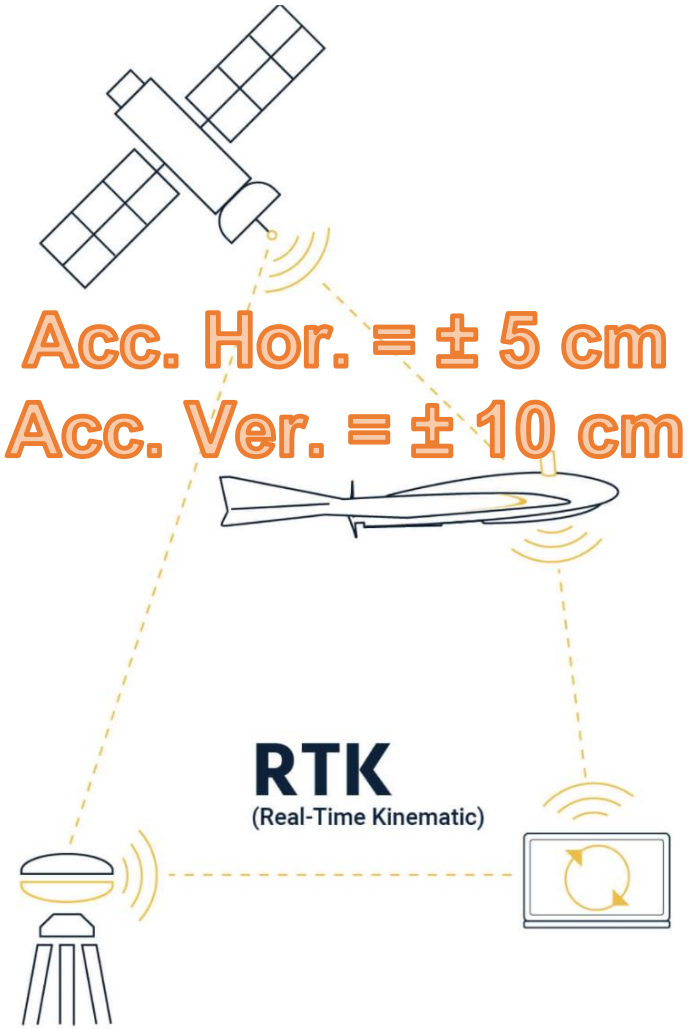
Acc. Hor. = ±10 m

Acc. Ver. = ± 50 m



Acc. Hor. = ± 5 cm

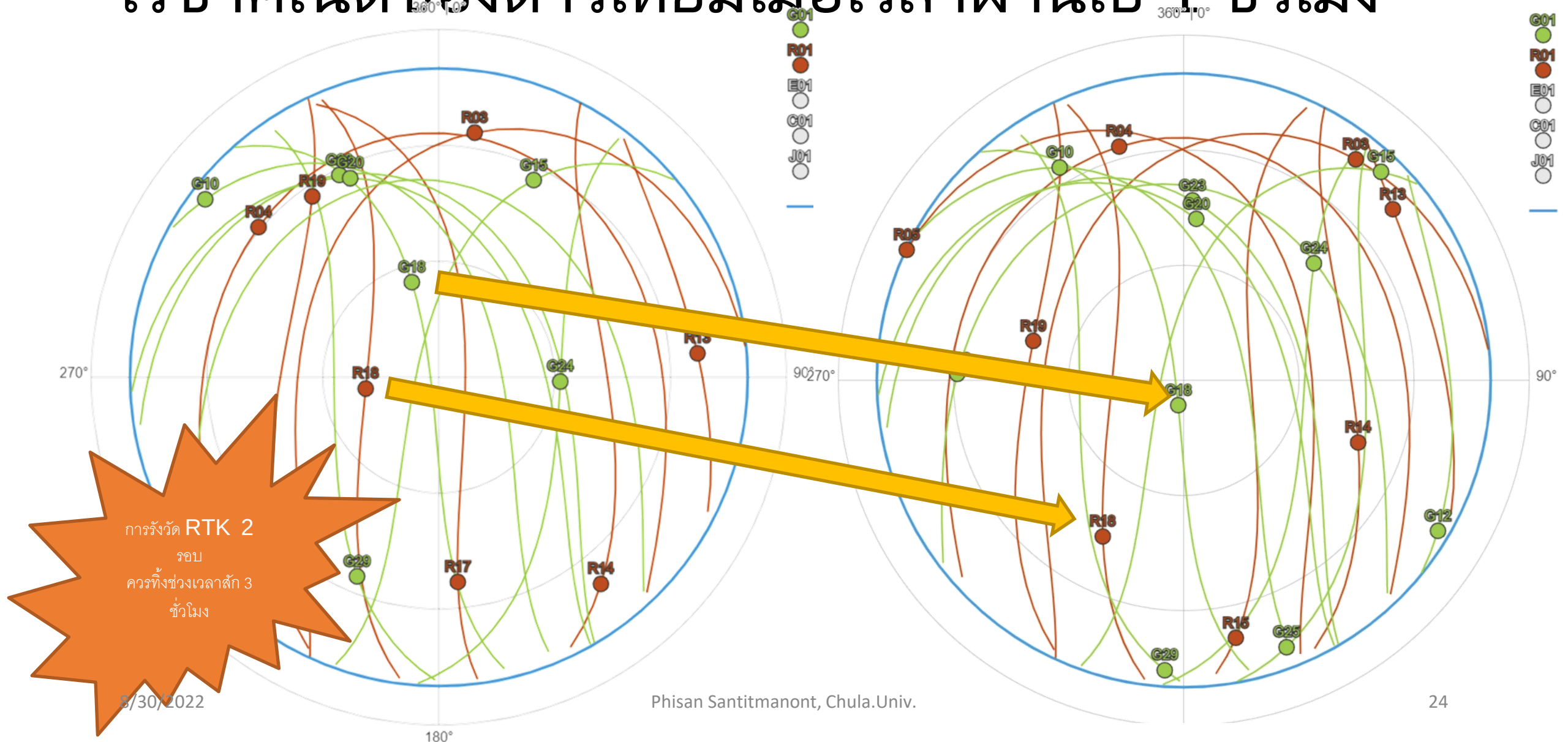
Acc. Ver. = ± 10 cm



Acc. Hor. = ±2 cm

Acc. Ver. = ±5 cm

เรขาคณิตของดาวเทียมเมื่อเวลาผ่านไป 1 ชั่วโมง



การรังวัด RTK 2 รอบ ควรทิ้งช่วงเวลาสัก 3 ชั่วโมง

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

โครงการ .....

ชื่อบล็อกภาพ : ..... 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							
2							

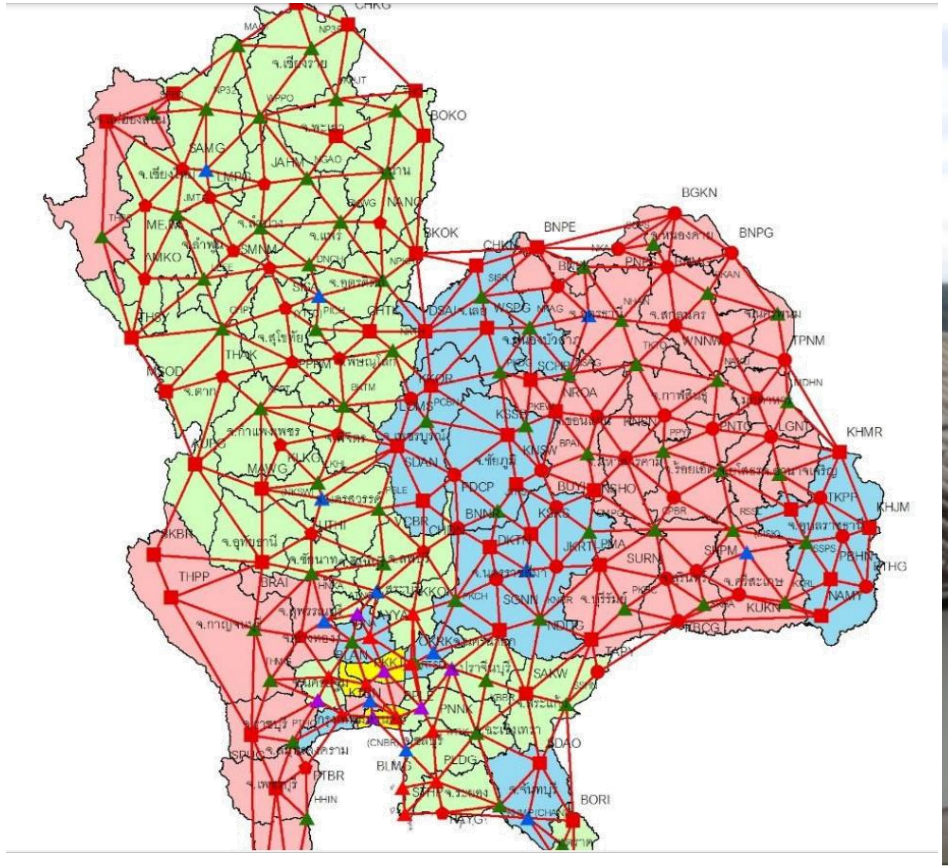
การสำรวจรังวัดทำแผนที่จำเป็นต้องมี Ground Control Point (GCP)

(ก)

(ข)

ศูนย์ข้อมูลค่าอ้างอิงพิกัดแบบต่อเนื่องแห่งชาติ

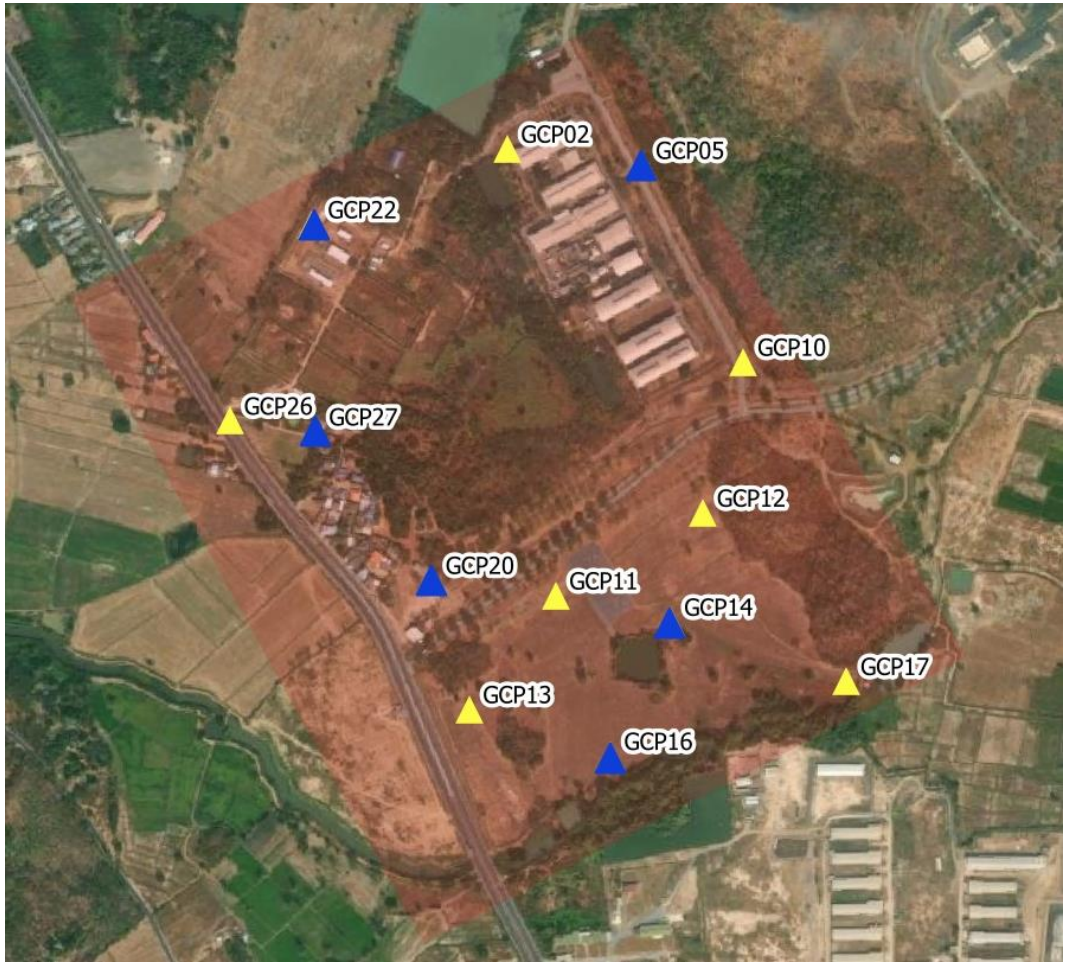
(National CORS Data Center)

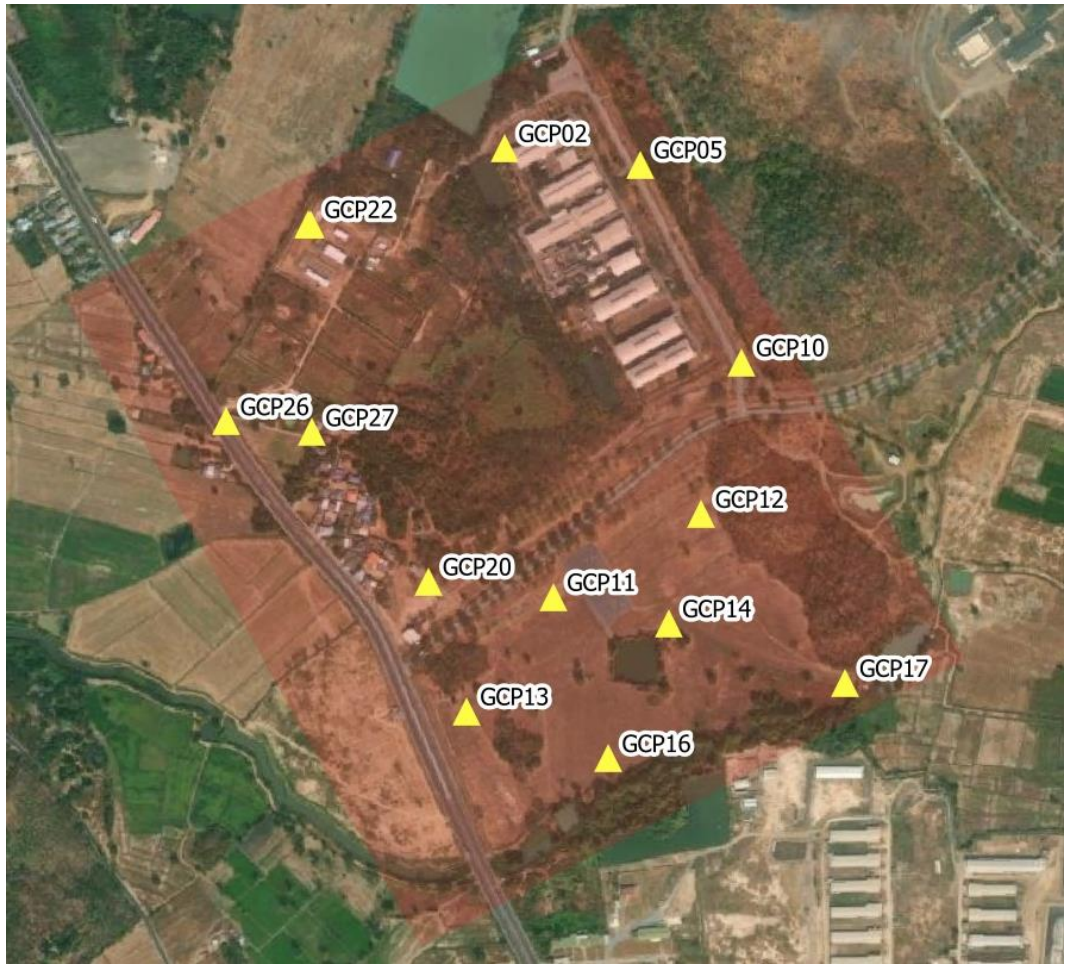


ประมาณการเบื้องต้น ความละเอียดถูกต้องที่อาจคาดหวังได้ สำหรับการทำแผนที่ด้วยภาพจากโดรน พื้นที่ประมาณ 1 ตร.กม.

- บล็อกของภาพถ่ายยูเอวี ที่มีพิกัดจีพีเอสกำกับ ±10 เมตร
  - บนแผนที่ภาพออร์โท ความละเอียดถูกต้องทางราบ ± 3 เมตร
- บล็อกของภาพถ่ายยูเอวี ที่มีพิกัดจีพีเอสกำกับ ±5 เซนติเมตร (GNSS-RTK)
  - บนแผนที่ ความละเอียดถูกต้องทางราบ ± 5 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับขนาด GSD ด้วย)
  - ควรมี GCP กำกับอย่างน้อย 2 จุด
- บล็อกของภาพถ่ายยูเอวี ที่มี GCP รังวัดด้วย GNSS-RTK ±2/5 เซนติเมตร จำนวน 5 จุดหรือมากกว่า
  - บนแผนที่ ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง ±2 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับขนาด GSD ด้วย)
- บล็อกของภาพถ่ายยูเอวี ที่มี GCP รังวัดด้วย GNSS-RTK ±2/5 เซนติเมตร จำนวน 10 จุดหรือมากกว่า
  - บนแผนที่ ความละเอียดถูกต้องทางตำแหน่ง ±2 เซนติเมตร (ขึ้นอยู่กับขนาด GSD ด้วย)
  - สามารถประเมิณ QC/QA ด้วยแนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศ 2 ขั้นตอน

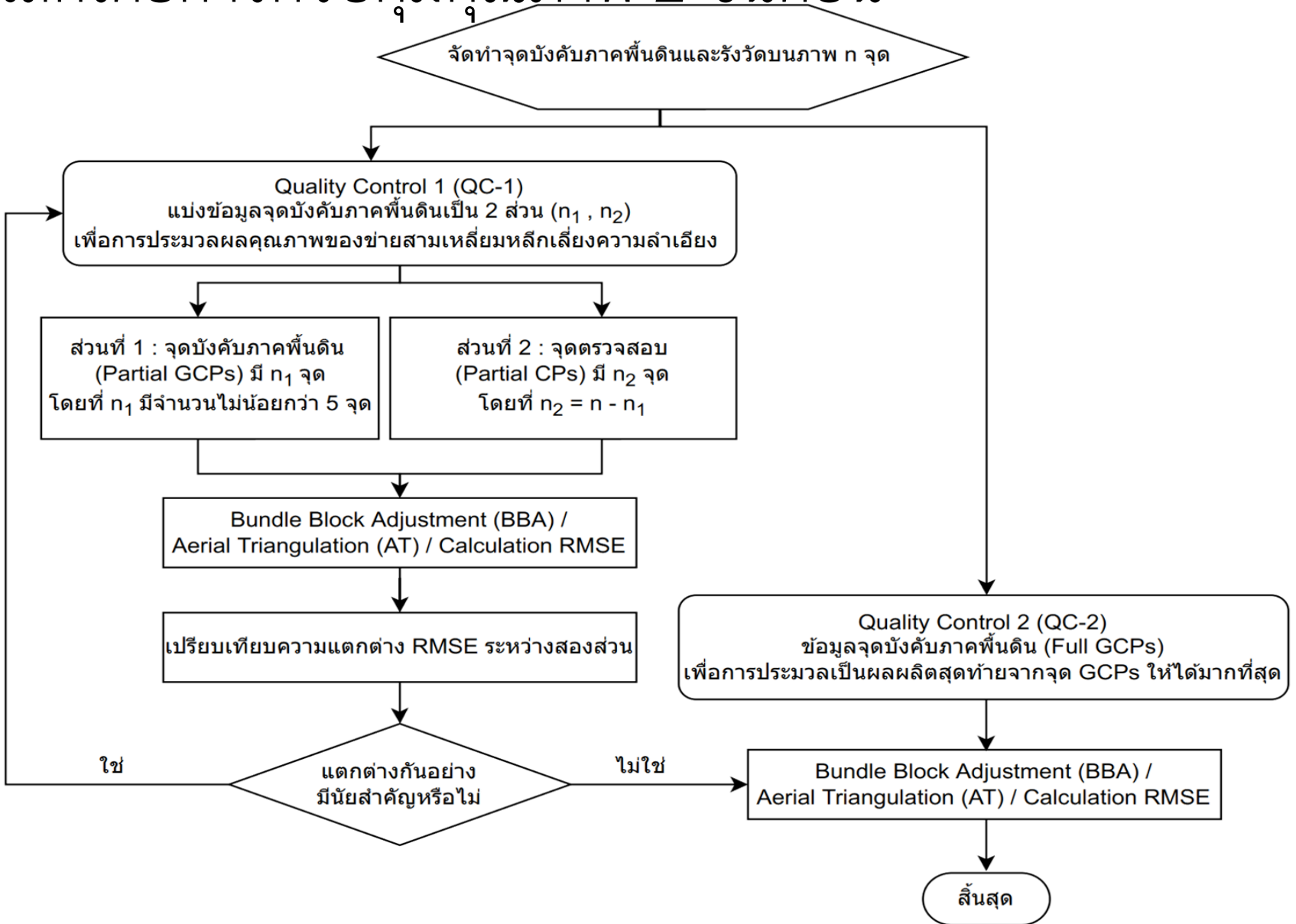
สำหรับพื้นที่ประมาณ 1 ตร.กม. ควรมี GCP 5 ถึง 10 จุด





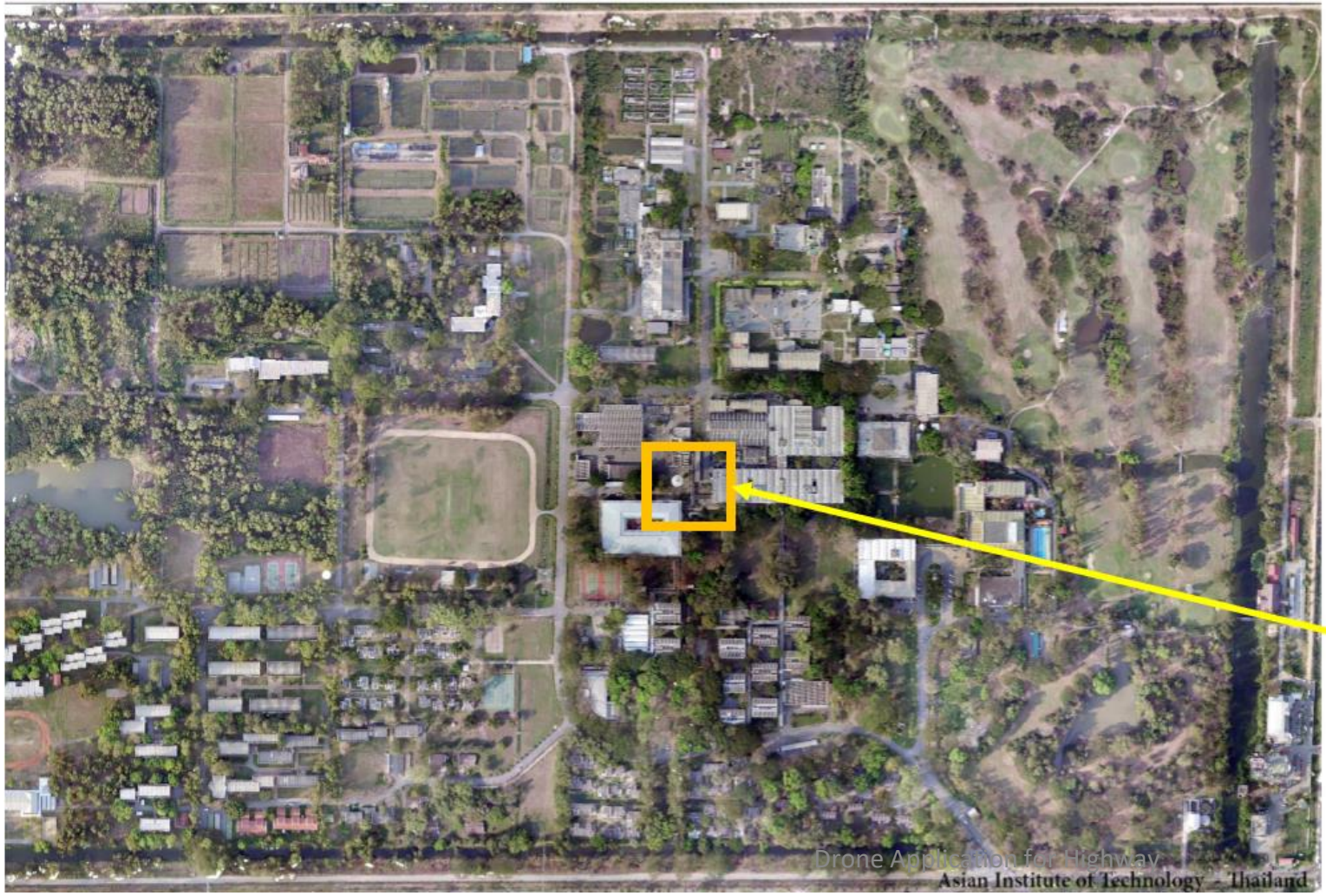
แนวทางปฏิบัติที่เป็นเลิศโดยการควบคุมคุณภาพ 2 ขั้นตอน

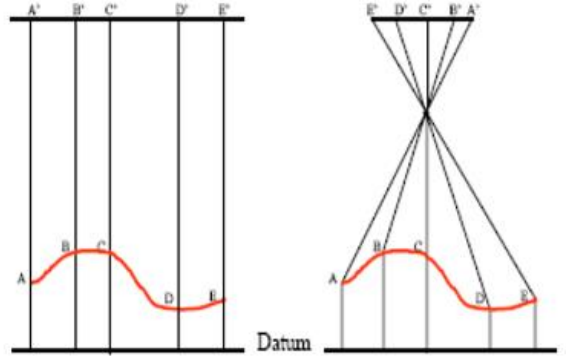
- GCP ขั้นต่ำสุด 5 จุด
- โดยทั่วไปควรมีสัก 10 จุด

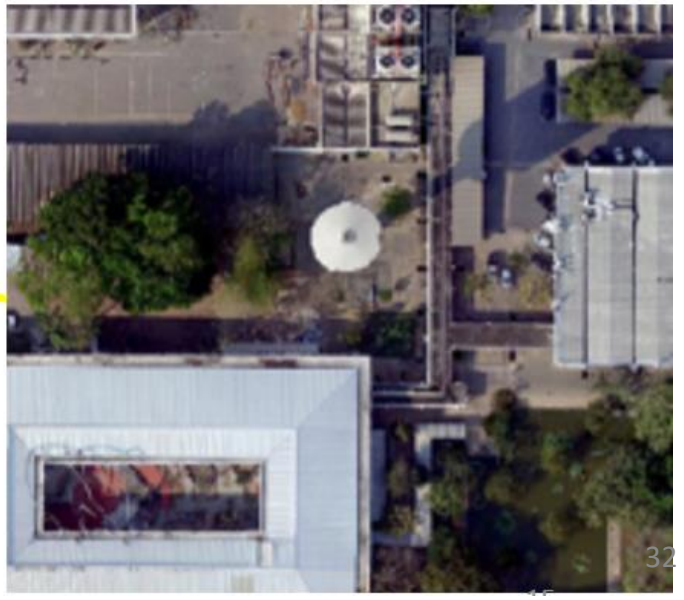


ผลผลิตจากการประมวลผลภาพโดรน

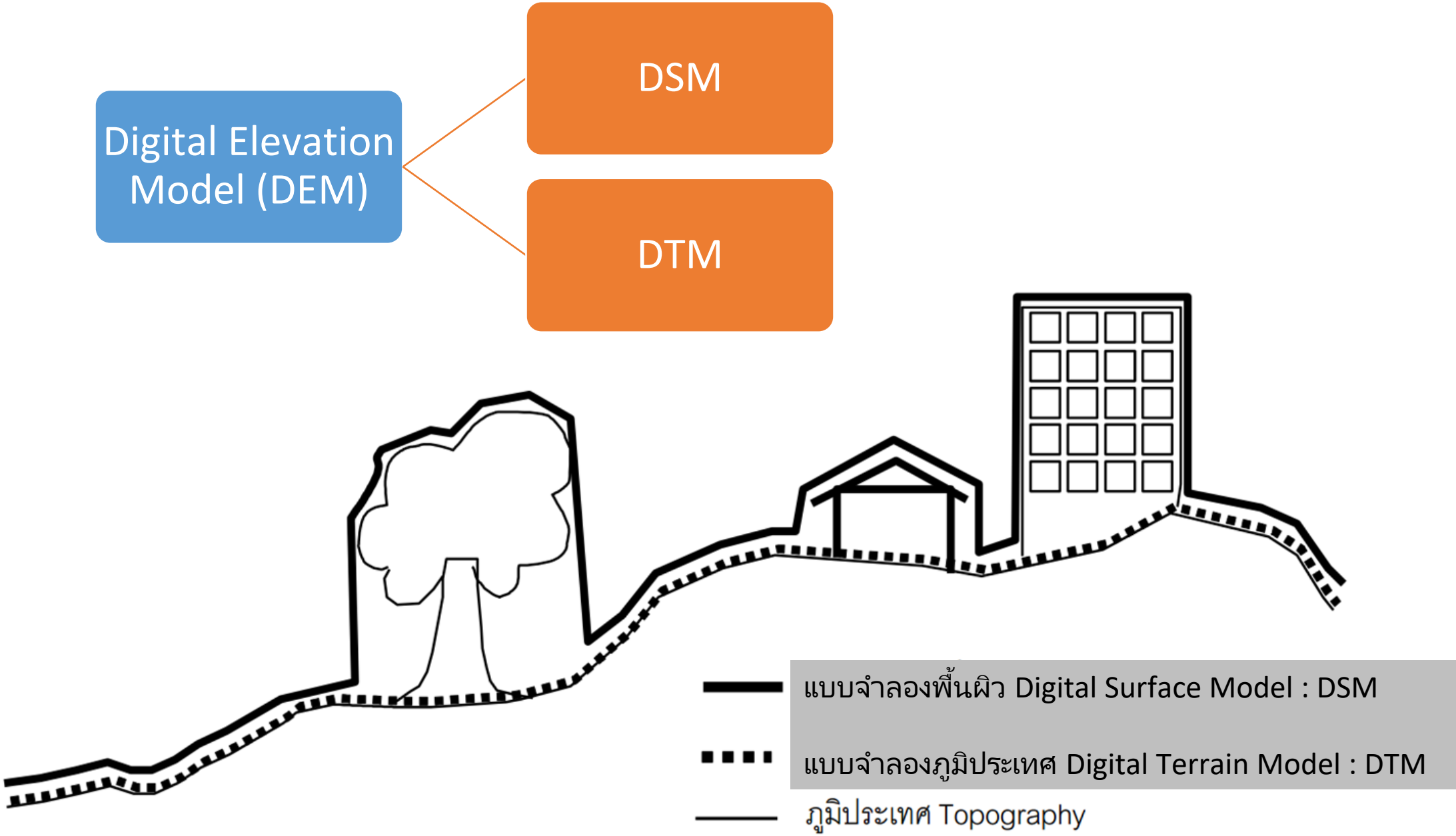
Orthorectification







แผนที่ภาพออร์โท



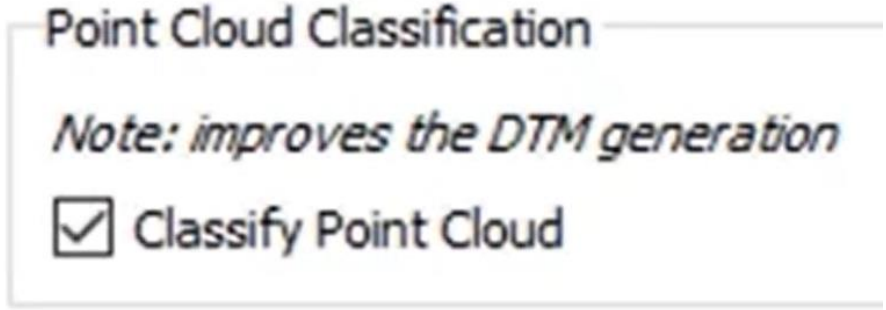
รูปที่ 4.2 แบบจำลองระดับและแบบจำลองพื้นผิว

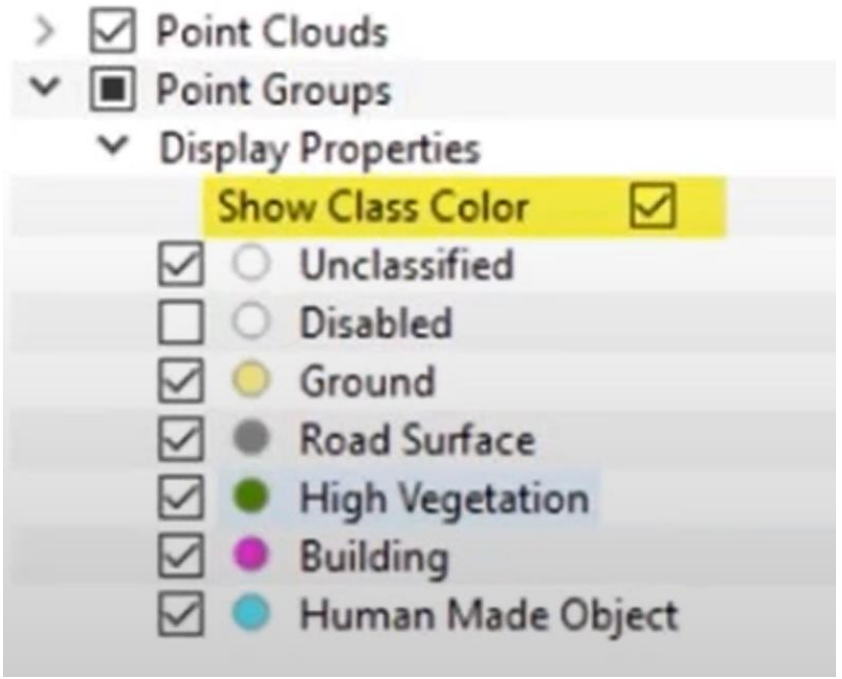
แนวทาง : จำแนกพ็อยคลาวด์เสียก่อน

Point Cloud DSM

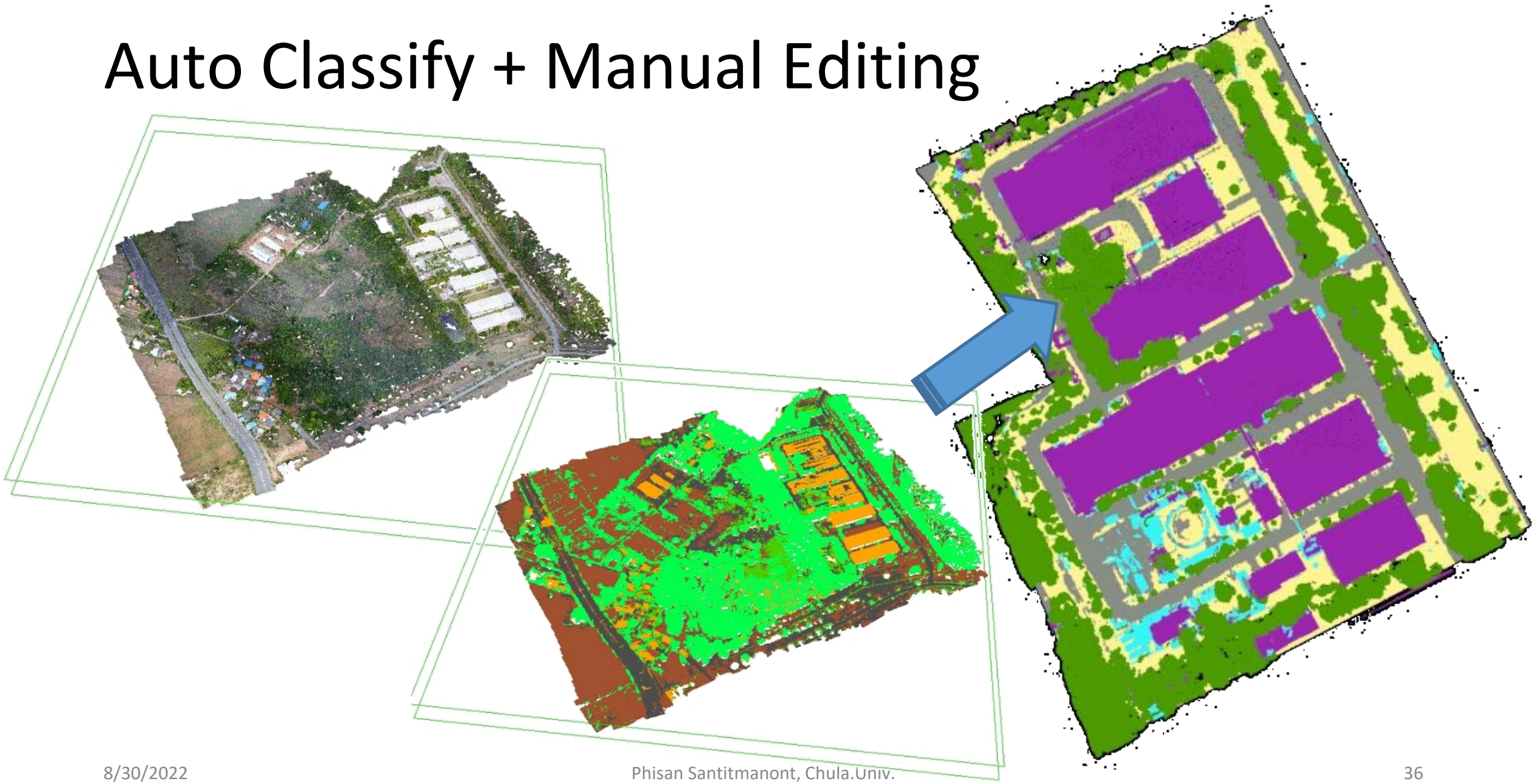
Classified ‘GROUND’

Interpolate to DTM



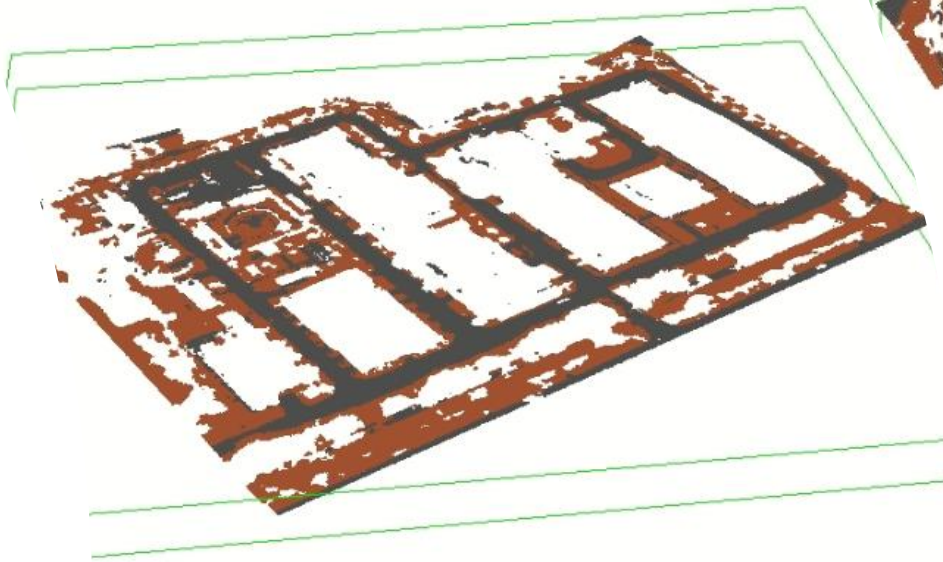


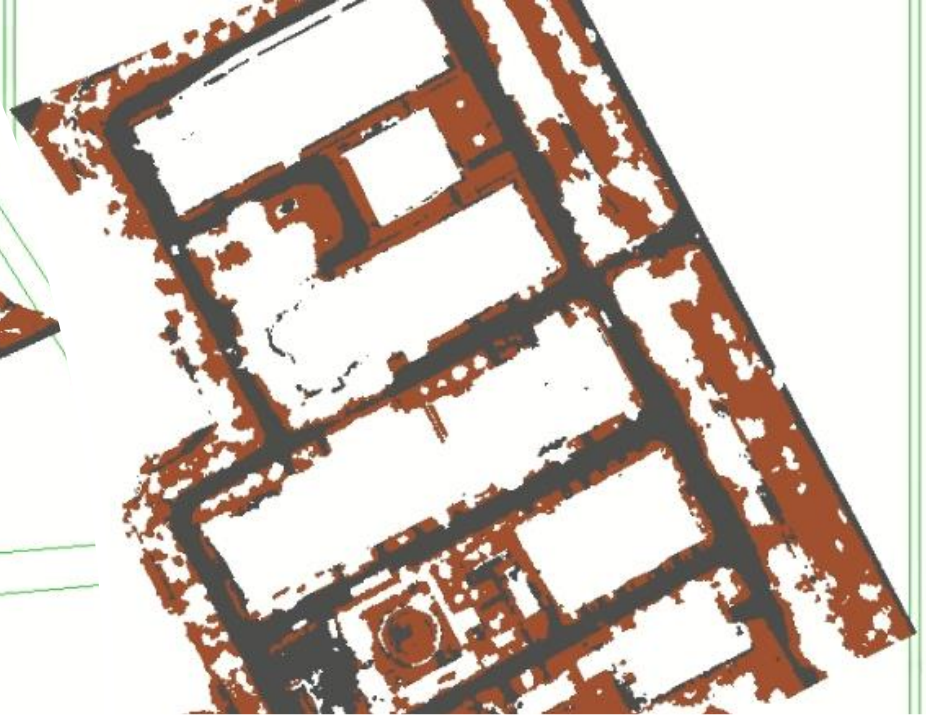
Auto Classify + Manual Editing



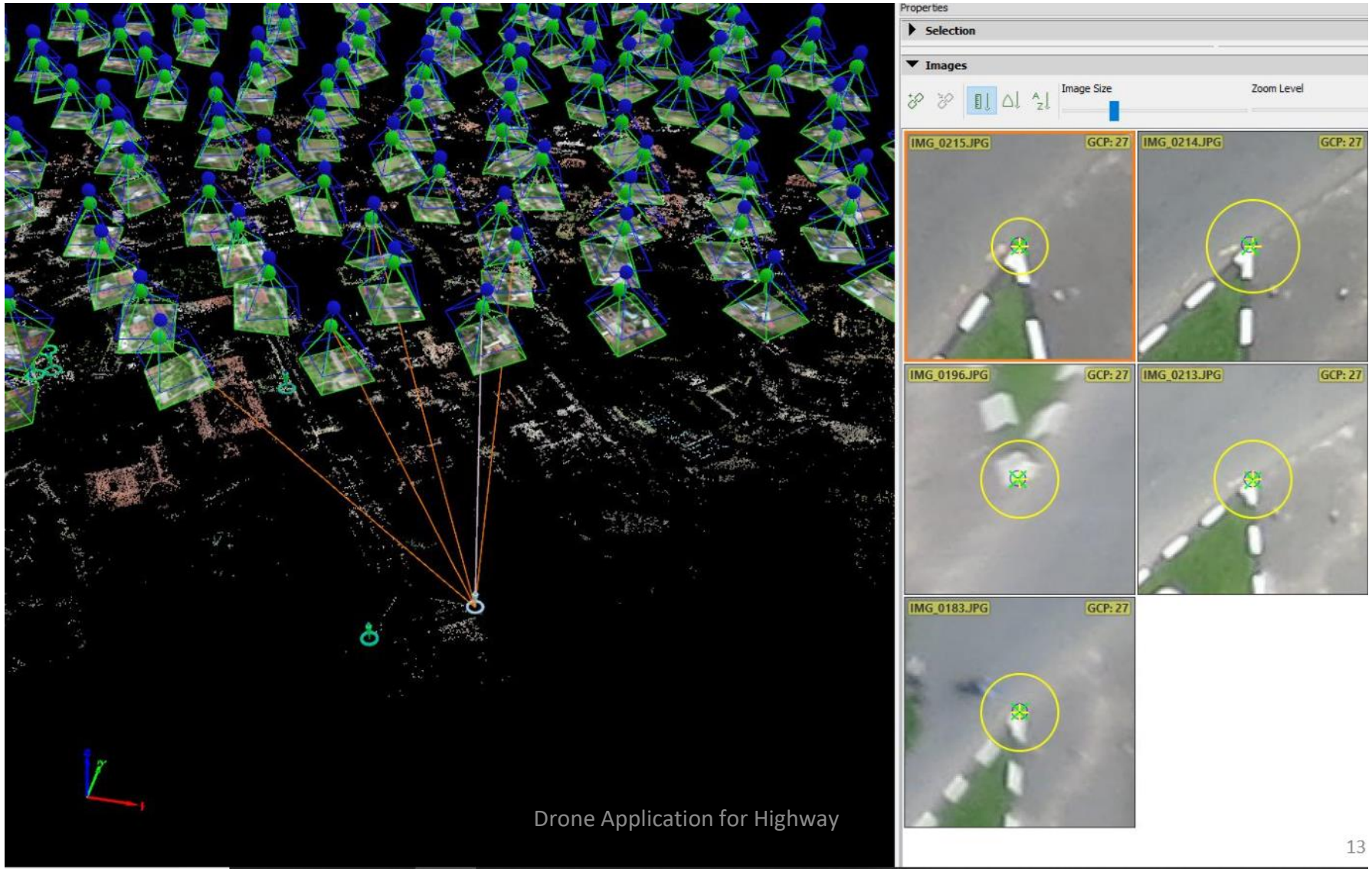
DTM from point-cloud ???

- From ground point (2-brown)
- From road surface (11-grey)





Multi-View Geometry (Pix4D-RayCloud)

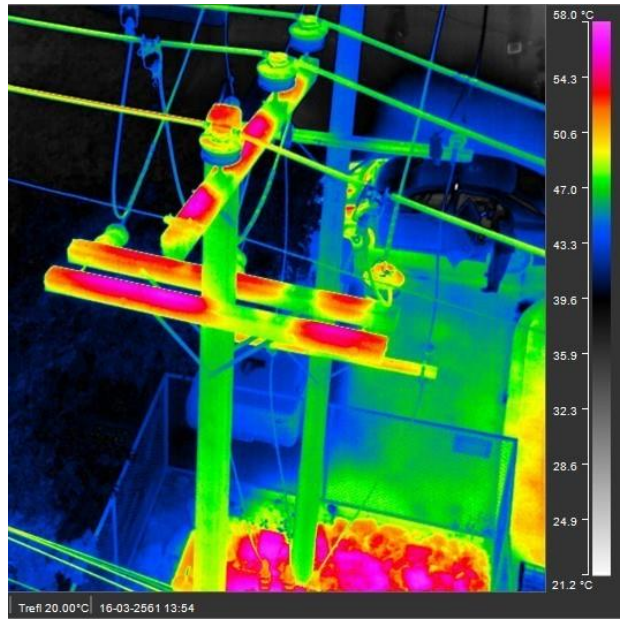


Building Inspection

Construction Management

Risk & Disaster Management

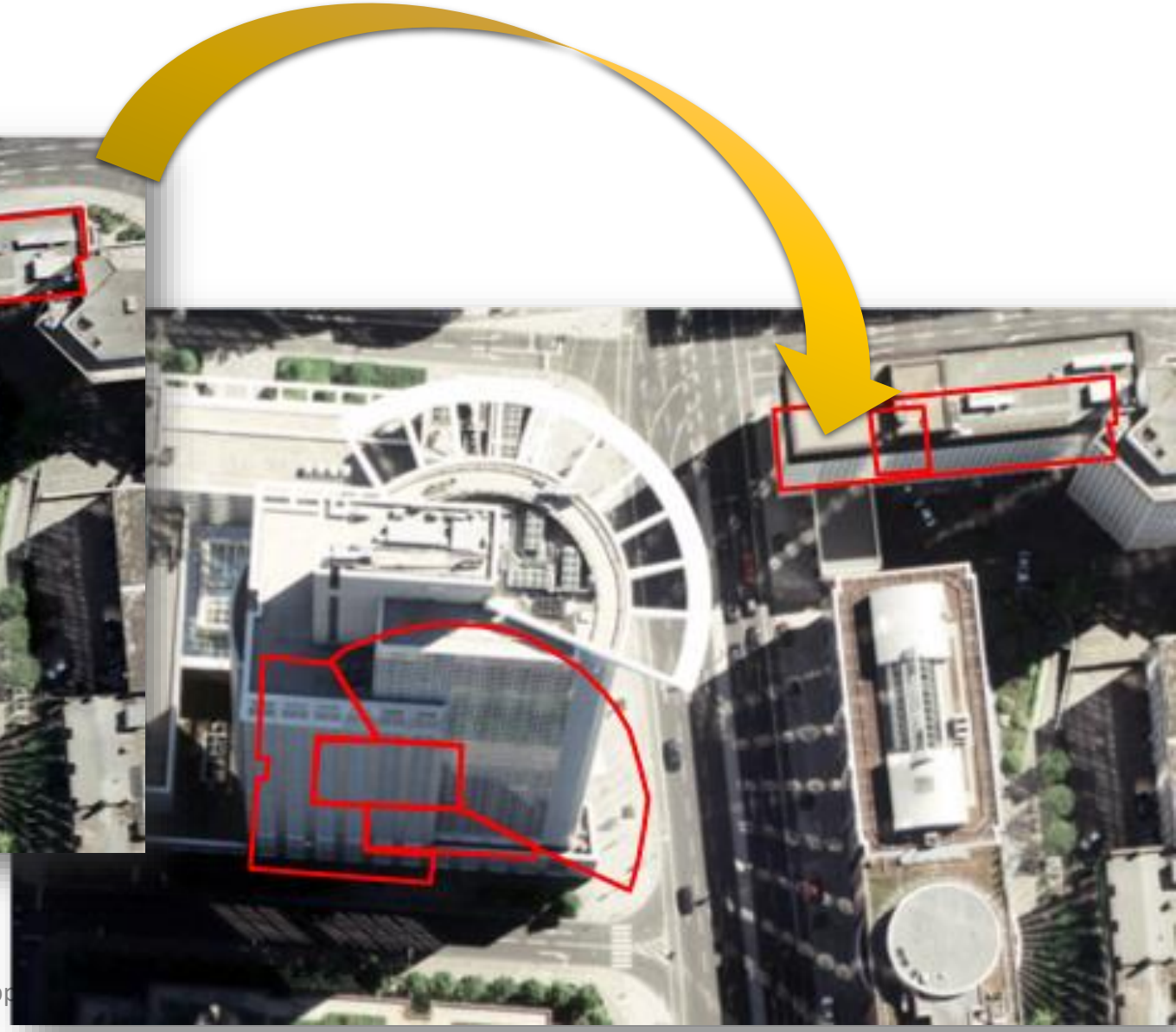
การประยุกต์ใช้โดรนในการจัดการเมือง



การประยุกต์ใช้งาน

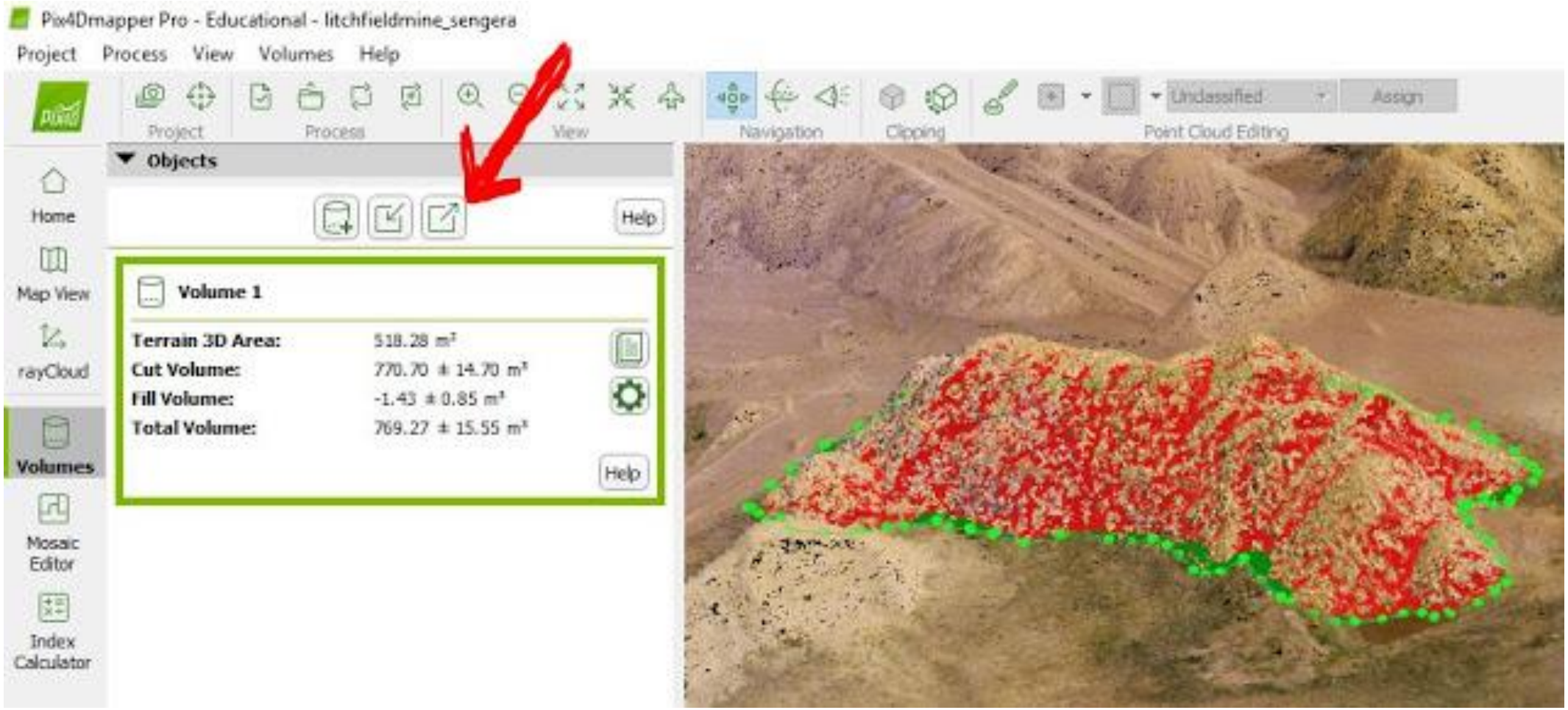
Ground & True Orthorectification

Roof-Line VS Foot-print

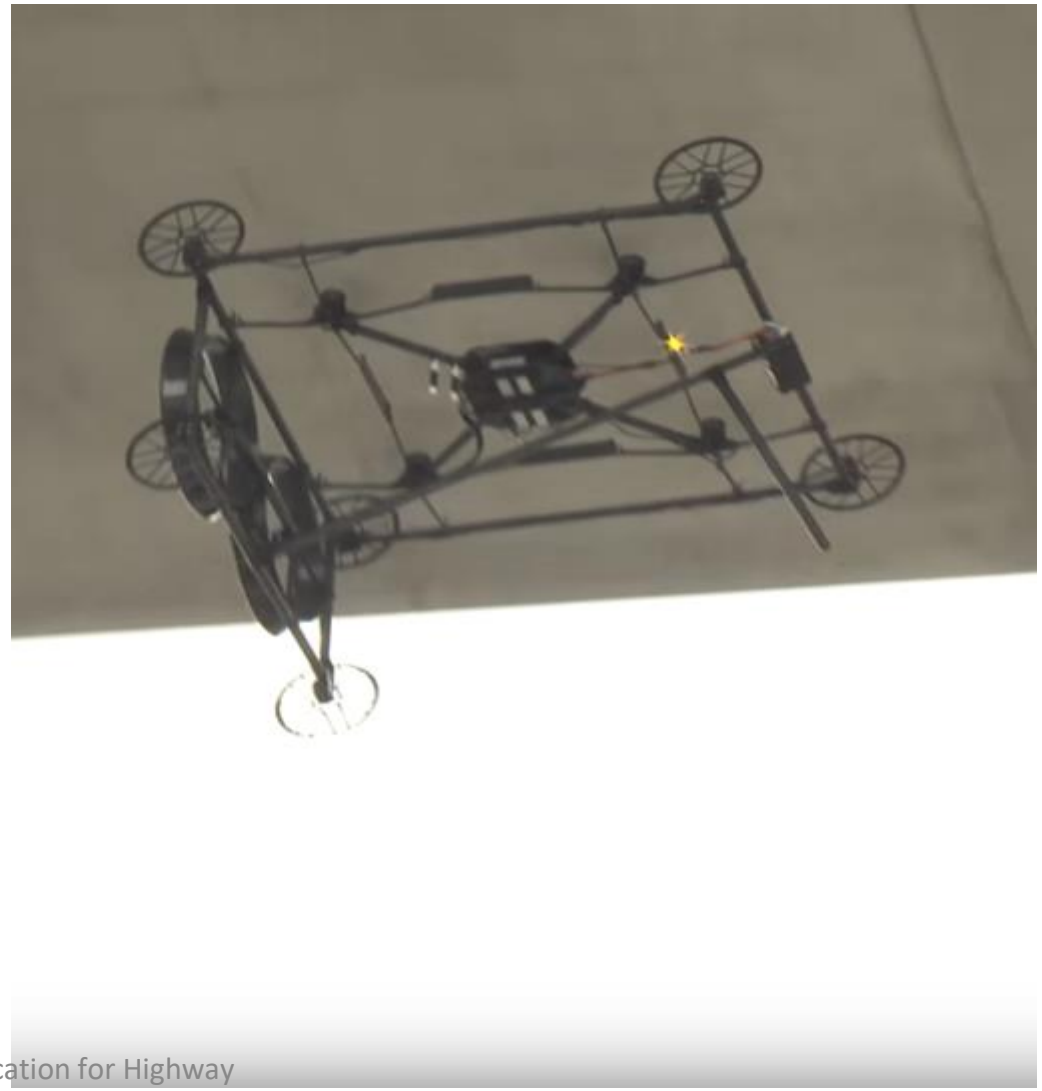


121.28 TOP
118.43 TOP
119.5 TOP
118.97 TOP
122.2 TOP
117.76 TOP
113.5 TOP
123.35 TOP
120.16 TOP
117.0 TOP
110.03 TOP
119.15 TOP
104.98 TOP
122.0 TOP
119.5 TOP
101.993 m
123.0 top
116.7 TOP
102.0 TOP
113.65 TOP
124.04 TOP
119.5 TOP
105.42 TOP
120.0 TOP
102.95 TOP
101.0 TOP
101.25 TOP
104.91 TOP
99.21 TOP
101.0 TOP
103.85 TOP
103.25 TOP
101.2 TOP
100.1 TOP
101.30 TOP
103.34 TOP
98.5 TOP
101.5 TOP
107.2 TOP
102.5 DRAIN
100.07 TOP
101.0 TOP
101.45 TOP
98.94 TOP
101.16 TOP
100.5 TOP
103.2 TOP
99.21 TOP
102.18 TOP
98.4 TOP
99.74 TOP
95.5 TOP OF SLOPE
95.5 TOP OF SLOPE
100.98 TOP
99.22 TOP
99.95 TOP
95.5 TOP OF SLOPE
95.5 TOP OF SLOPE
98.5 TOP
97.55 TOP
97.05 TOP
89.5 BOTTOM OF SLOPE
99.5 TOP
99.29 TOP
95.5 TOP OF SLOPE
100.2 TOP
97.02 TOP
95.5 TOP OF SLOPE
204.995 m
95.5 TOP OF SLOPE
95.5 TOP OF SLOPE
95.5 TOP OF SLOPE
95.5 TOP OF SLOPE

Volume of Stockpile



Self-Propelling Surface-Clinging Drone



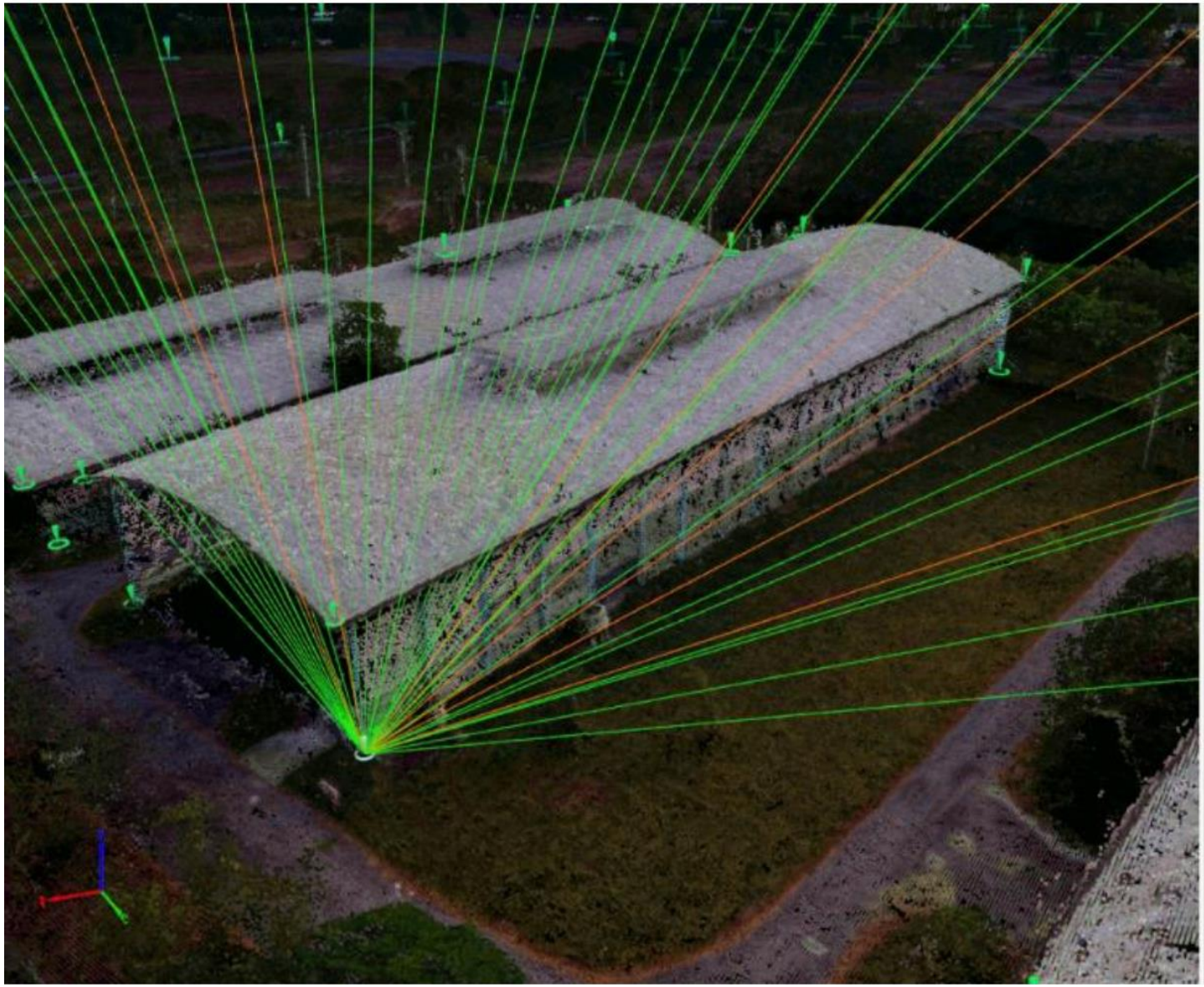
โดรนบินตรวจสอบติดงานก่อสร้างและความปลอดภัย

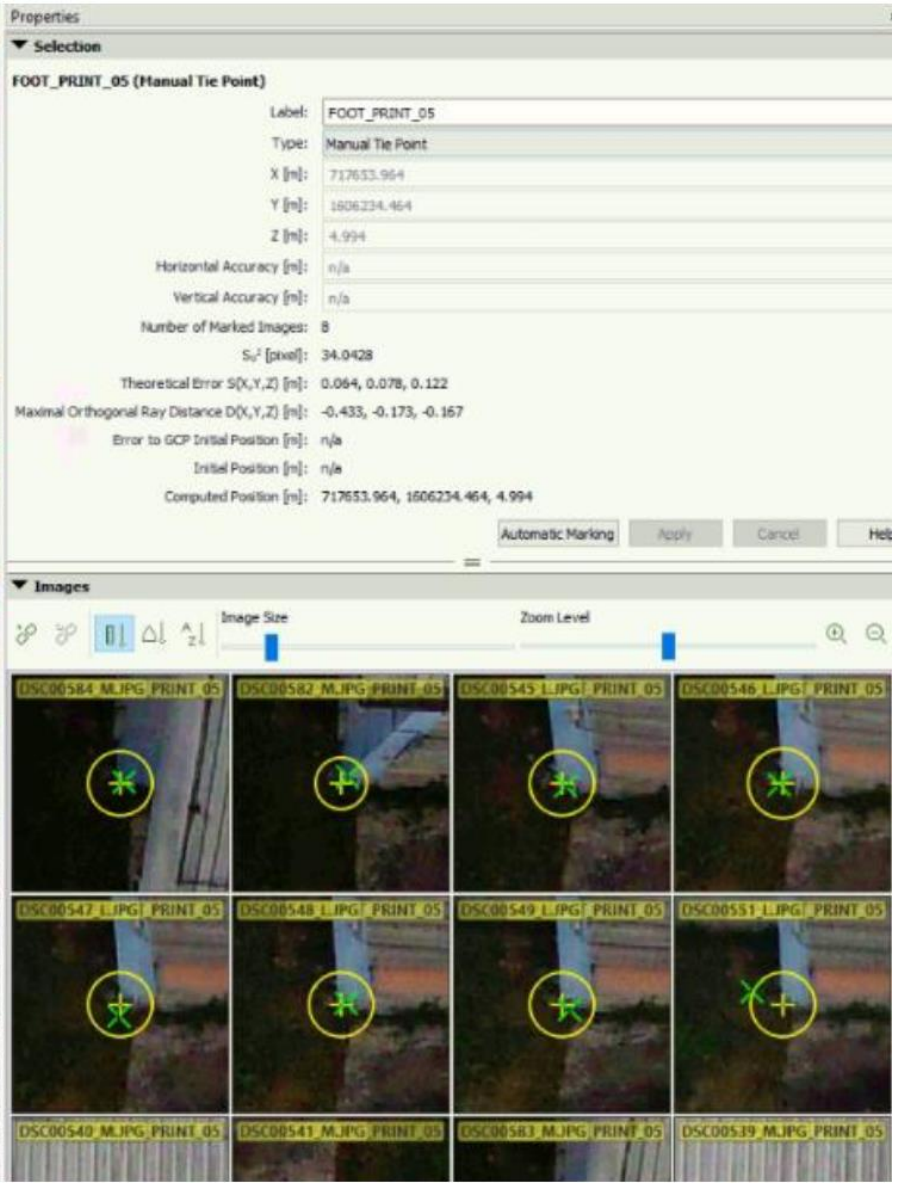
ภัยพิบัติและอุบัติภัย บนทางหลวง

ภัยพิบัติและอุบัติภัย บนทางหลวง

กรณีมีตึก สิ่งปลูกสร้าง เปลี่ยนแปลง สามารถใช้ภาพจากโดรนสร้าง Point-Cloud และรังวัดพิกัด 3D ได้

การรังวัดจากภาพกล้องเฉียง จะช่วยมุมมองด้านข้าง กำแพง เสาไฟ ได้



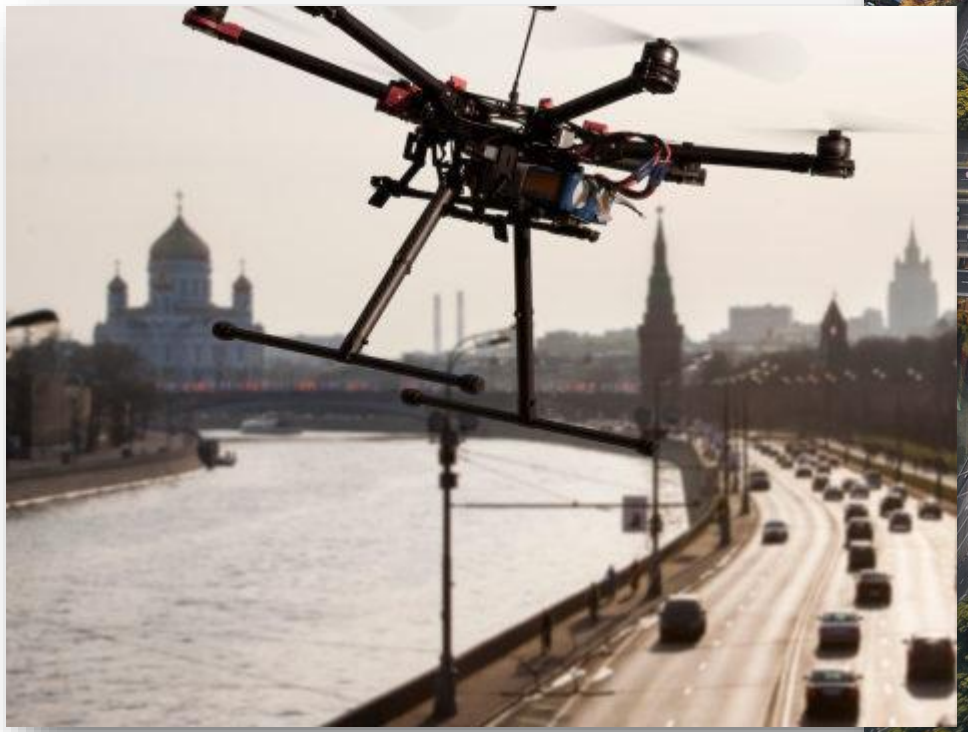


ไฟป่า และ หมอควัน

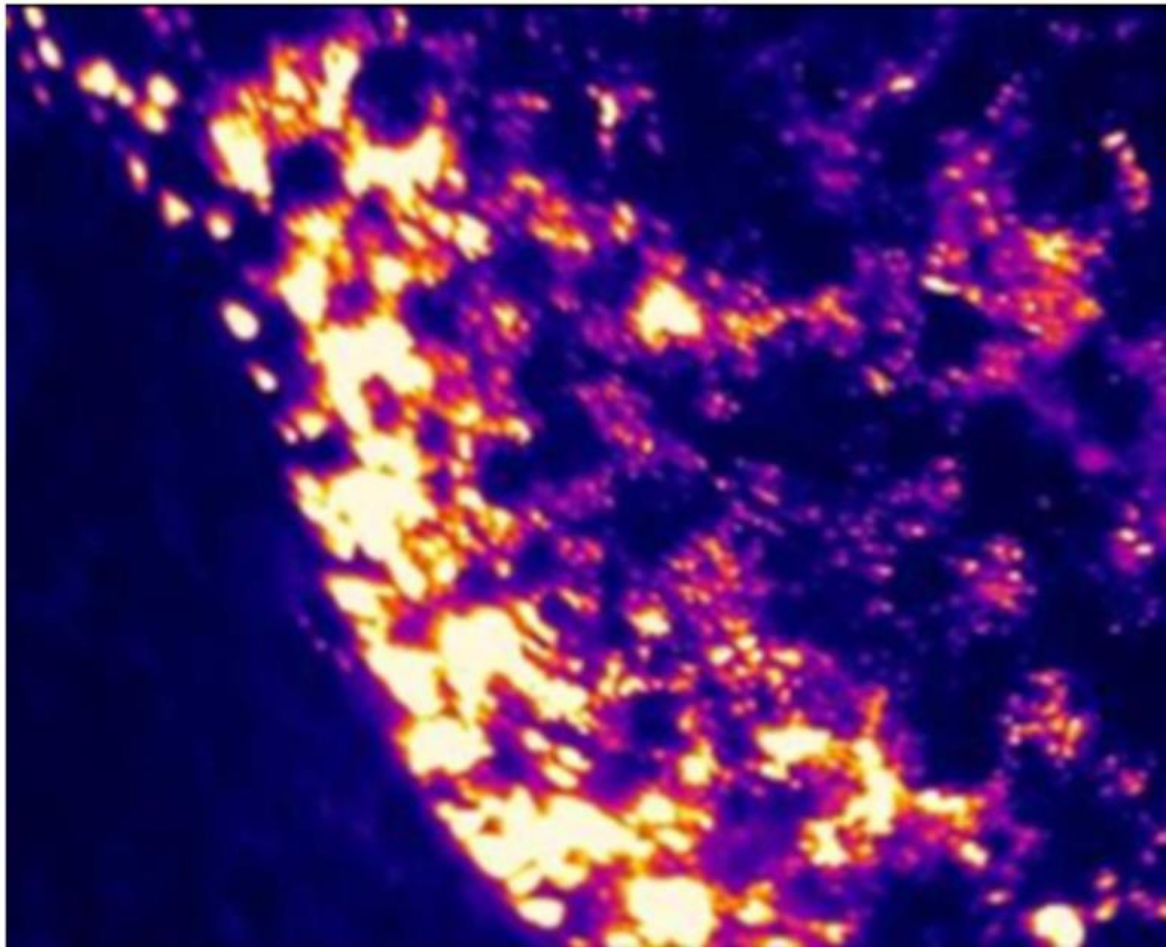
สัตว์ป่าเร่อน ข้ามถนนทางหลวง

โดรน ดูสภาพการจราจร

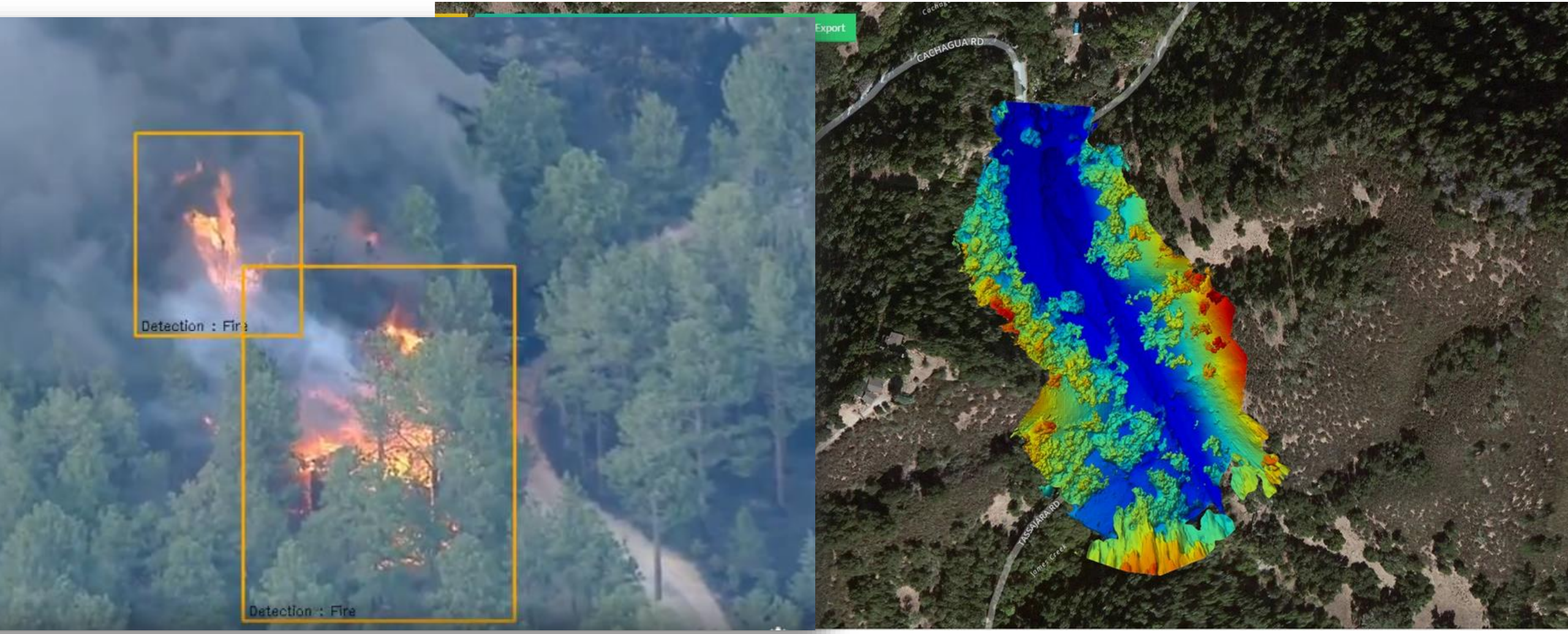
- ทำเป็นครั้งคราว โดย สทล.
- จ้างเหมาะครั้งๆ ตร.กม. ละ 2000 บาท



โดรนดูสภาพไฟป่า



การตรวจจับไฟมี 2 รูปแบบ ก) กล้องตรวจการณ์ ข) กล้องดิ่ง



การบินโดรน เฉพาะกิจ เดือนละ 1 ครั้ง 1 เหตุการณ์

การบินโดรน เฉพาะกิจ เดือนละ 1 ครั้ง 1 เหตุการณ์

ระเบียบข้อบังคับ

กฎหมายน่ารู้เกี่ยวกับการใช้ DRONE

1 ไม่ต้องขึ้นทะเบียน

- น้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม
ไม่ติดกล้องใช้สำหรับงานอดิเรก

2 ต้องขึ้นทะเบียน

- ติดตั้งกล้องต้องขึ้นทะเบียนในทุกกรณี
- ไม่มีกล้องแต่มีน้ำหนักระหว่าง 2-25 กก.

กรณีน้ำหนักตั้งแต่ 25 กก.ขึ้นไป

- ต้องได้รับอนุญาตจาก
รัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคม
ลงนามในใบขึ้นทะเบียน

ระยะห่างระหว่างทำการบินของ DRONE

ห้ามบังคับอากาศยานเข้าใกล้อากาศยานซึ่งมีนักบิน

ห้ามทำการบินโดยมีระยะห่างในแนวราบ
กับบุคคล ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้าง
หรืออาคาร น้อยกว่าสามสิบเมตร

ห้ามทำการบินเข้าไปในบริเวณเขตห้าม
รวมทั้ง สถานที่ราชการ หน่วยงานของรัฐ
โรงพยาบาล เว้นแต่จะได้รับอนุญาต

ห้ามทำการบินภายในระยะเก้ากิโลเมตร (ห้าไมล์ทะเล)
จากสนามบินหรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยาน
เว้นแต่ได้รับอนุญาต

ห้ามใช้ความสูงเกิน
90 Meter

นังคับหรือปล่อยอากาศยานต้องสามารถมองเห็น
ได้ตลอดเวลาที่ทำการบินและห้ามทำการบังคับ
โดยอาศัยชุดกล้องบนอากาศยานหรืออุปกรณ์อื่น
ที่มีลักษณะใกล้เคียง

CAAT

การขึ้นทะเบียนผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานซึ่งไม่มีนักบิน

ประเภทอากาศยานที่ควบคุมการบินจากภายนอก (Drone)

CAAT
สำนักงานการบินพลเรือนแห่งประเทศไทย
The Civil Aviation Authority of Thailand

บิน โดรน (Drone) อย่างไรให้ถูกกฎหมาย

1. โดรนที่ไม่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพและน้ำหนักไม่เกิน 2 กิโลกรัม**ไม่ต้องขึ้นทะเบียน**
   โดรนที่ไม่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพแต่มีน้ำหนักเกิน 2 กิโลกรัม**ต้องขึ้นทะเบียน**

ห้ามบังคับอากาศยานโดรนเข้าใกล้อากาศยานซึ่งมีนักบิน

ห้ามทำการบินโดยมีระยะห่างในแนวราบกับบุคคล ยานพาหนะ สิ่งก่อสร้าง หรืออาคาร น้อยกว่า 30 เมตร

2. โดรนที่ติดตั้งกล้องบันทึกภาพ**ต้องขึ้นทะเบียนทุกกรณี**

ห้ามทำการบินเข้าไปในบริเวณเขตห้าม รวมทั้ง สถานที่ราชการ หน่วยงานของรัฐ โรงพยาบาล เว้นแต่จะได้รับอนุญาต

การบังคับหรือปล่อยอากาศยานโดรนต้องสามารถมองเห็นได้ตลอดเวลาที่ทำการบินและห้ามทำการบังคับโดยอาศัยชุดกล้องบนอากาศยานหรืออุปกรณ์อื่นที่มีลักษณะใกล้เคียง

ห้ามใช้ความสูงเกิน 90 เมตร

3. โดรนที่มีน้ำหนักเกินกว่า 25 กิโลกรัมขึ้นไป
   (ต้องได้รับอนุญาตเป็นหนังสือจาก รัฐมนตรีว่าการกระทรวงคมนาคม)

ห้ามทำการบินภายในระยะ 9 กิโลเมตร (5 ไมล์ทะเล) จากสนามบินหรือที่ขึ้นลงชั่วคราวของอากาศยาน เว้นแต่ได้รับอนุญาต

ผู้ใดกระทำการอย่างใดอย่างหนึ่งต้องระวางโทษจำคุกไม่เกินหนึ่งปีหรือปรับไม่เกิน 40,000 บาท หรือทั้งจำทั้งปรับ

หน่วยงานสังกัดราชการทหาร ราชการตำรวจ ราชการศุลกากร กระทรวงเกษตรและสหกรณ์ กระทรวงทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม ไม่ต้องดำเนินการขึ้นทะเบียนผู้บังคับหรือปล่อยอากาศยานประเภทที่ควบคุมการบินจากภายนอก (Drone) เนื่องจาก ได้มีการกำหนดให้หน่วยงานดังกล่าวข้างต้นไม่อยู่ภายใต้บังคับพระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ 2497 ตามมาตรา 5 ยกเว้นกฎกระทรวงกำหนดราชการอื่นที่ไม่อยู่ภายใต้บังคับพระราชบัญญัติการเดินอากาศ พ.ศ 2497

Drone Application for Highway

ระบบความคุมจราจรทางอากาศสำหรับยูเอวี