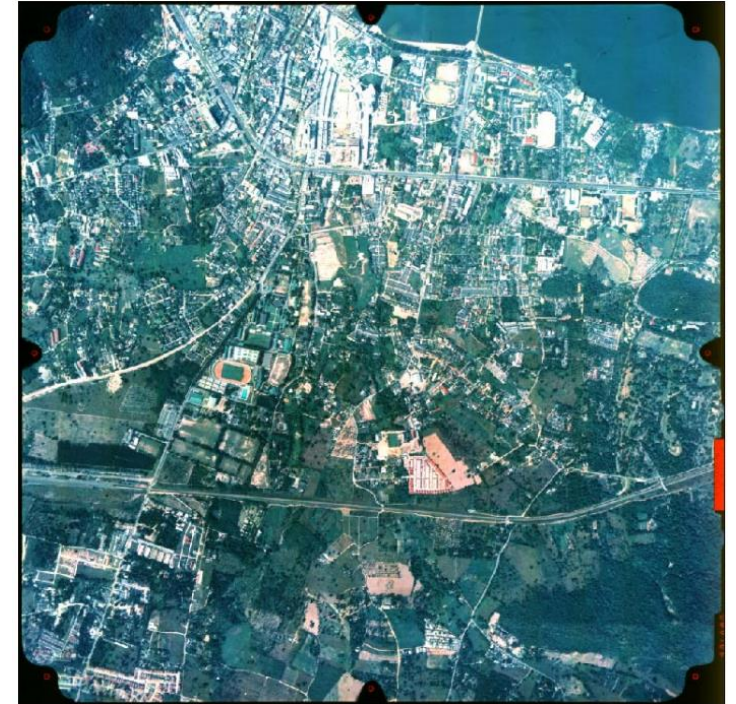


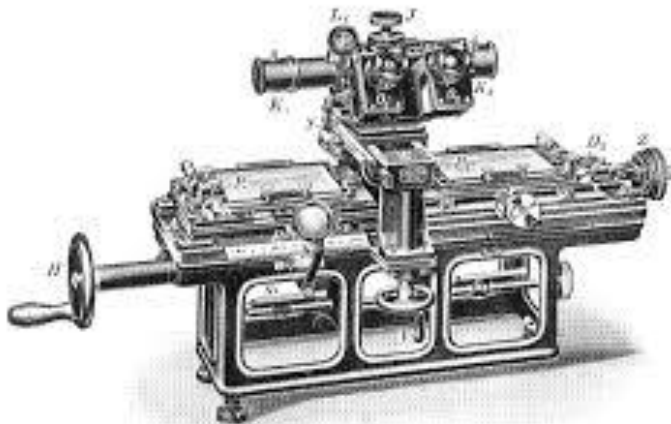
การรังวัดด้วยภาพถ่าย (PHOTOGRAMMETRY)

- สื่อกกลางในการรังวัดคือ ภาพถ่าย
- เป้าหมายคือ “การหาค่าพิกัดของวัตถุ” บนภาพถ่าย
- Airborne Photogrammetry
 - ภาพถ่ายทางอากาศจากฟิล์มขนาด 9 นิ้ว x 9 นิ้ว
 - ติดตั้งกล้องบนเครื่องบินชนิดปีกตรึง (Fixed Wing)
 - Vertical Photogrammetry (+ - 3 degree)
- UAV Photogrammetry and Close Range Photogrammetry
 - Terrestrial Laser Scanner : Surface from motion (เคลื่อนช้าๆ ถ่ายรอบพื้นที่)
 - ข้อมูล Point Cloud (บรรดาจุดบนพื้นดินลอยลอยในอากาศ)



EVOLUTION : 1 ANALOUGE PHOTOGRAMMETRY

- การถ่ายภาพทางอากาศครั้งแรก ติดกล้องบนบอลลูนที่กรุงปารีสของ NADAR (ค.ศ. 1858)
- การสร้างเครื่อง STEREO COMPARATOR : ZEISS (ค.ศ. 1901) เครื่องมือเป็นแบบกลไก เครื่องตัวใหญ่ หมุนสกรูวัดฟิกดภาพ



THE FIRST PHOTOGRAPH
TAKEN FROM A BALLOON
An hitherto unpublished view of
Boston. Wet collodion plate (1861)

EVOLUTION : 2 ANALYTICAL PHOTOGRAMMETRY

- เริ่มนำเครื่องคอมพิวเตอร์มา
ใช้ช่วยประมวลผล ช่วย
คำนวณ ลดความผิดพลาด
- การถ่ายภาพทางอากาศ
ผ่านแผ่นฟิล์มนำมาใส่เครื่อง
เขียนแผนที่เชิงวิเคราะห์
(Analytical Stereo plotter)
ตัวแรกวางขายปี ค.ศ. 1960



EVOLUTION : 3 DIGITAL PHOTGRAMMETRY

- ใช้เครื่องคอมพิวเตอร์มากกว่าเครื่องมือกลไก
- กำเนิดสแกนเนอร์สำหรับภาพถ่ายทางอากาศ (Zeiss and Intragraph : PS-1 Scanner) เมื่อ ค.ศ. 1990 สู่การเป็น Softcopy Photogrammetry สแกนภาพฟิล์มเป็นไฟล์ภาพดิจิทัลละเอียดสูง
- ระบบสำรวจด้วยภาพดิจิทัล (Digital Photogrammetric Workstation)
- กำเนิดกล้องถ่ายภาพทางอากาศดิจิทัล (Digital Modular Camera and Airborne Digital Sensor 40) เมื่อ ค.ศ. 2000 สู่การถ่ายภาพทางอากาศด้วย Digital Camera ความละเอียดสูง



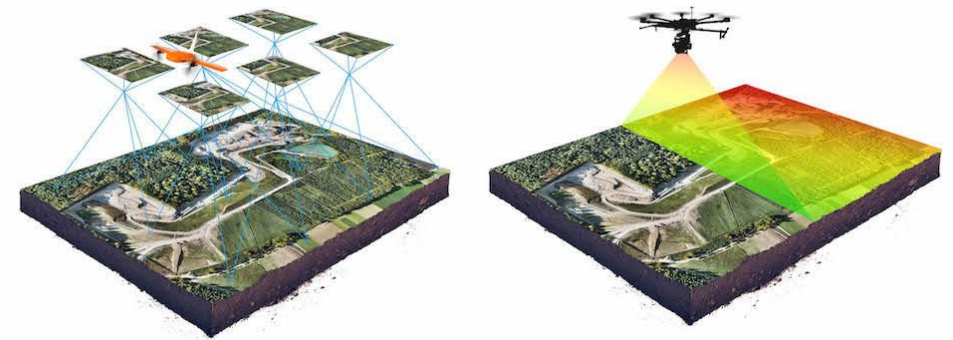
EVOLUTION : 4 UAV PHOTOGRAMMETRY + COMPUTER VISION

- เทคโนโลยีการบินถ่ายภาพ อากาศยานไร้คนขับ Unmanned Aerial Vehicle (UAV) ประกอบซอฟต์แวร์ประมวลผล
อย่าง DroneDeploy, Pix4D Mapper, Agisoft MetaShape
- การถ่ายภาพทางอากาศระยะใกล้ (Close Range Photogrammetry)
สร้างบรรดาข้อมูล Point Cloud เยอะมหาศาล แสดงผลผ่าน POTREE
Multiple view geometry in computer vision อย่างการสร้าง
แบบจำลองจากภาพถ่ายนักท่องเที่ยวน



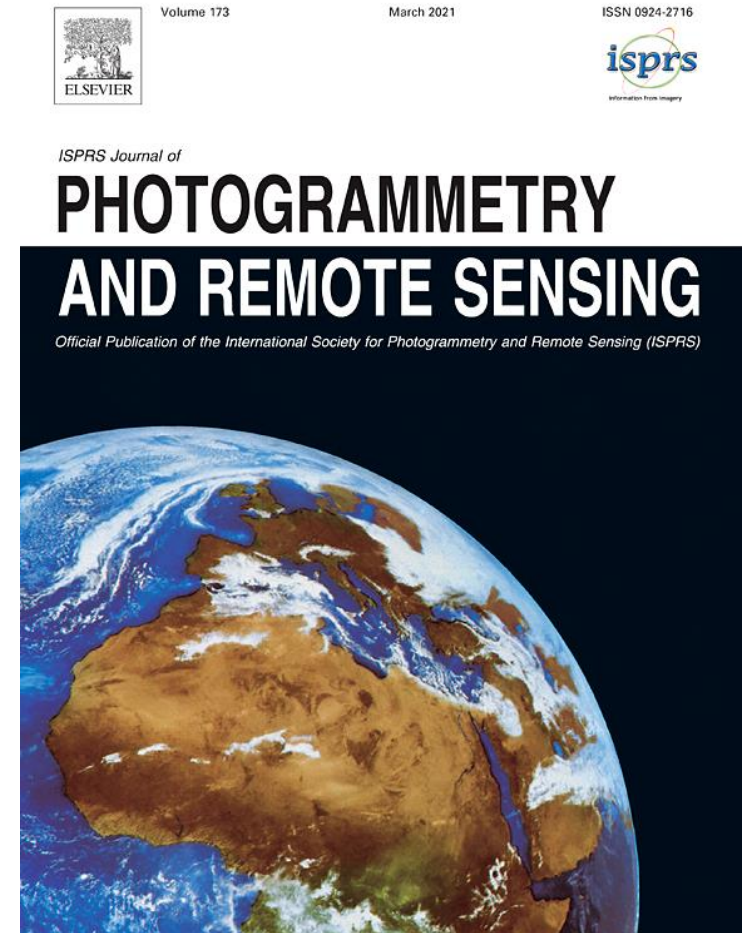
EVOLUTION : 5 UAV + LiDAR/Laser Scanning (UAV + LS)

- ส่งเสริมการทำ 3D Mapping -> Metaverse
- อากาศยานไร้คนขับ (UAV) ทราบพิกัดตนเองจาก GNSS RTK หรือ PPK ลดภาระการทำ GCP



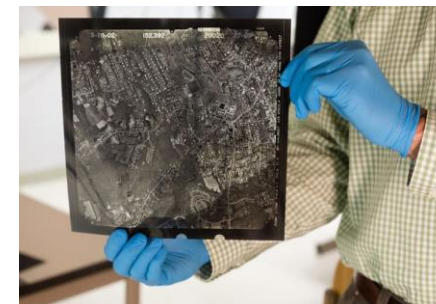
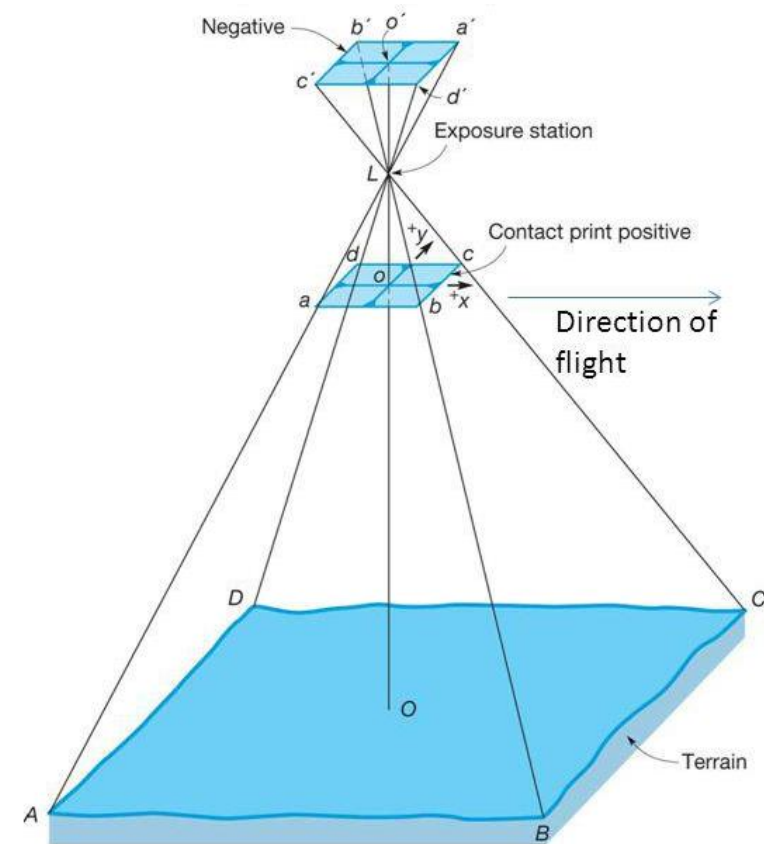
INTERNATIONAL SOCIETY FOR PHOTOGRAMMETRY (ISPRS)

- การรวมตัวเป็นสมาคมภาพถ่ายทางอากาศ การรับรู้ระยะไกลและวิทยาการภูมิสารสนเทศ
- วัตถุประสงค์เพื่อการประสานงานรังวัดด้วยภาพ การจัดประชุมวิชาการ วิพากษ์วิจารณ์งานสิ่งพิมพ์ ดีพิมพ์ แลกเปลี่ยนบทความวิชาการ ผ่าน IAPRS
- TECHNICAL COMMISSION ภารกิจ
 1. SENSOR SYSTEM
 2. PHOTOGRAMMETRY
 3. REMOTE SENSING
 4. SPATIAL INFORMATION SCIENCE
 5. EDUCATION AND OUTREACH



GEOMETRY OF THE PHOTO

- ตำแหน่งเลนส์ต่อนภาพเรียกจุดเปิดถ่าย (Exposure Station)
- เริ่มต้นจะได้ภาพบันทึกลงแผ่นฟิล์มในรูปแบบ NEGATIVE FILM ยากแก่การใช้งาน
- นำไปอัดทำสำเนา CONTACT PRINT บน TRANSPARENT POSITIVE FILM เพื่อความละเอียดสูง นำไปใช้งานง่าย หรือทำลงบน กระดาษโบรไมด์ ใช้งานในชั้นเบื้องต้น
- ต่อมานำเข้าสแกนเนอร์สำหรับงานรังวัด ภาพถ่ายทางอากาศได้ดิจิทัลไฟล์

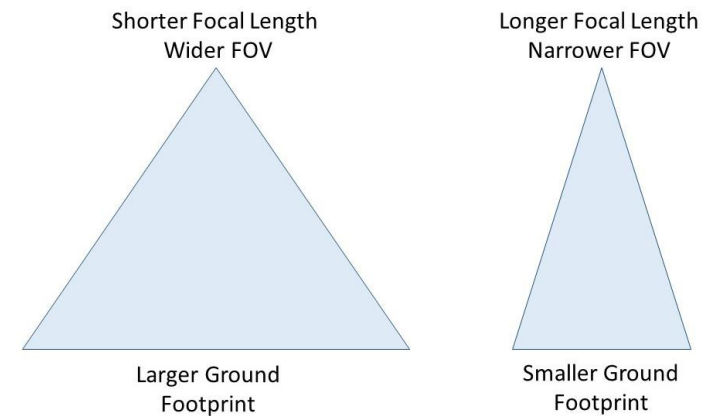
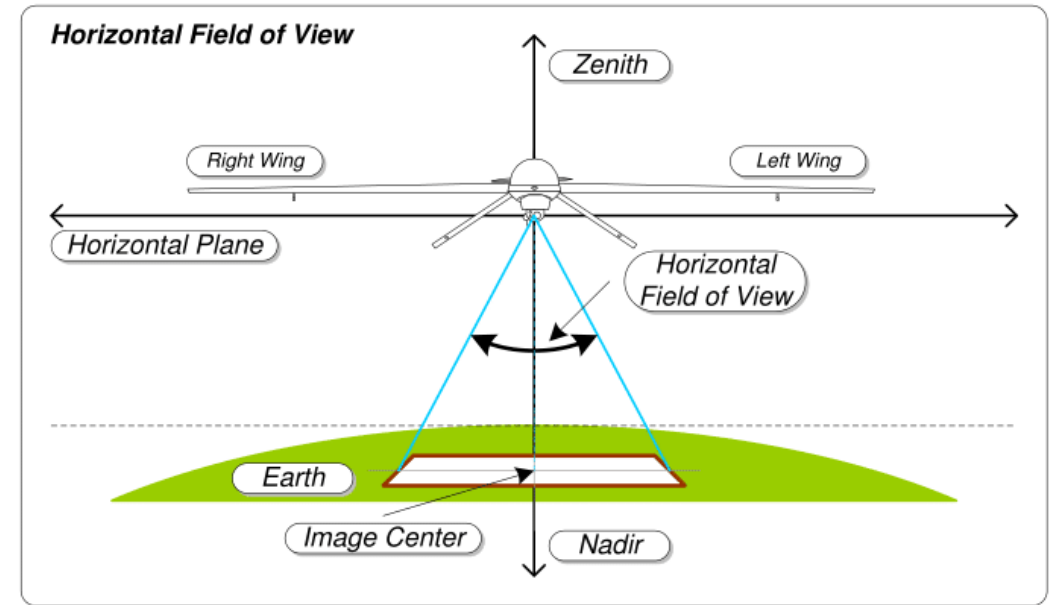


FIELD OF VIEW (FOV)

- มุมแห่งการมองเห็น ขึ้นกับขนาดของภาพถ่ายและความยาวโฟกัสของเลนส์ ดังสมการ

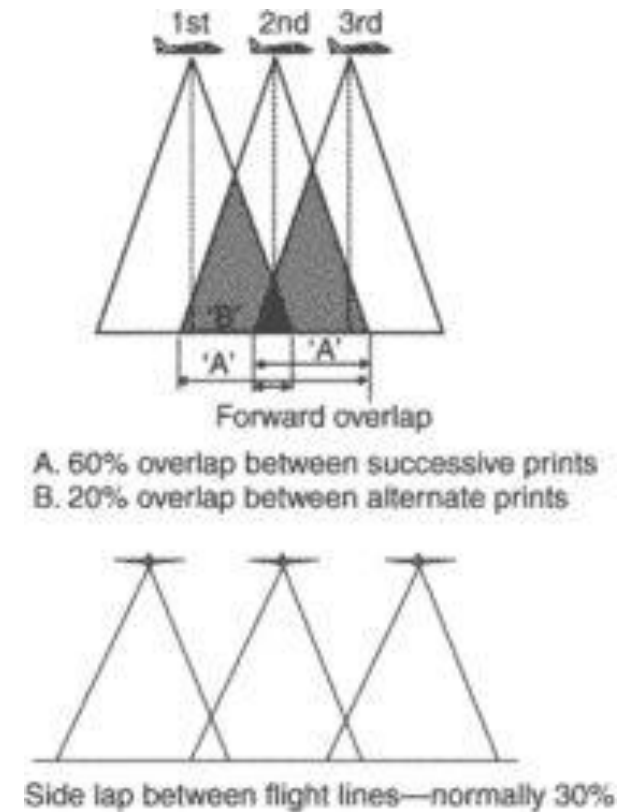
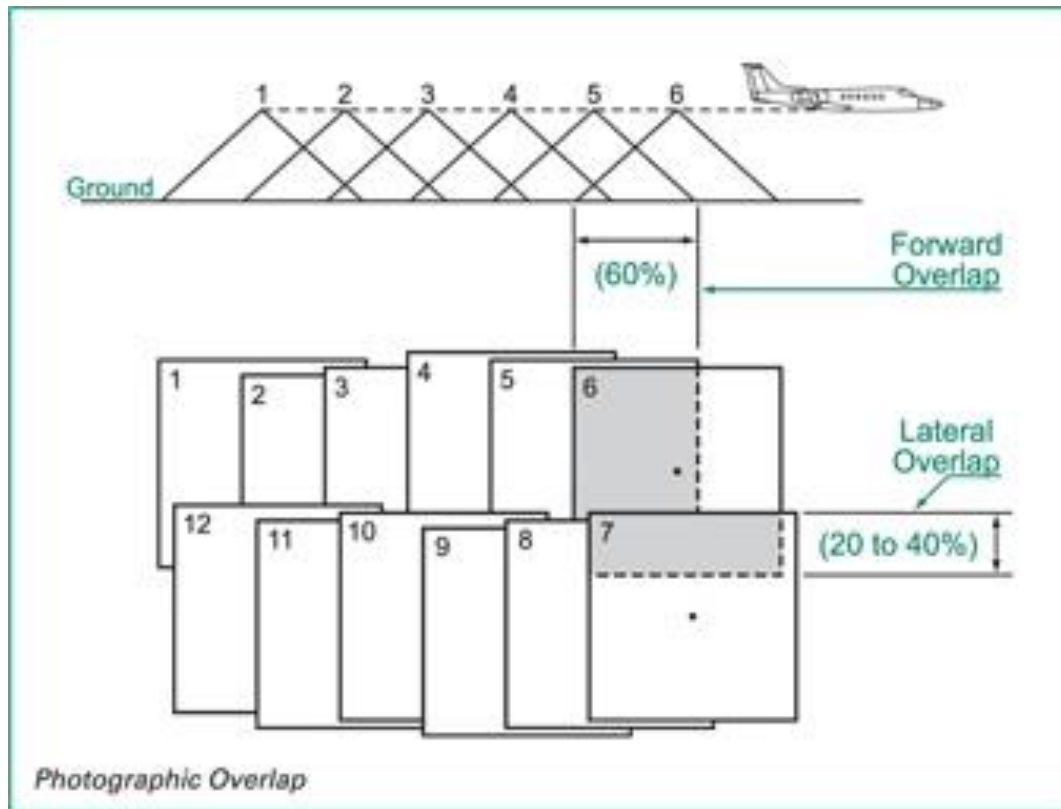
$$FOV = 2\arctan\left(\frac{d}{2f}\right)$$

- การจำแนกมุมแห่งการมองเห็น
 - น้อยกว่า 75 องศา : NORMAL ANGLE
 - 75 – 100 องศา : WIDE ANGLE
 - มากกว่า 100 องศา : SUPERWIDE ANGLE



การบินถ่ายภาพทางอากาศ : Airborne Photogrammetry

- การออกแบบส่วนซ้อนด้านหน้า (Overlap) 60% และส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelap) 25 – 30%



การบินถ่ายภาพทางอากาศ

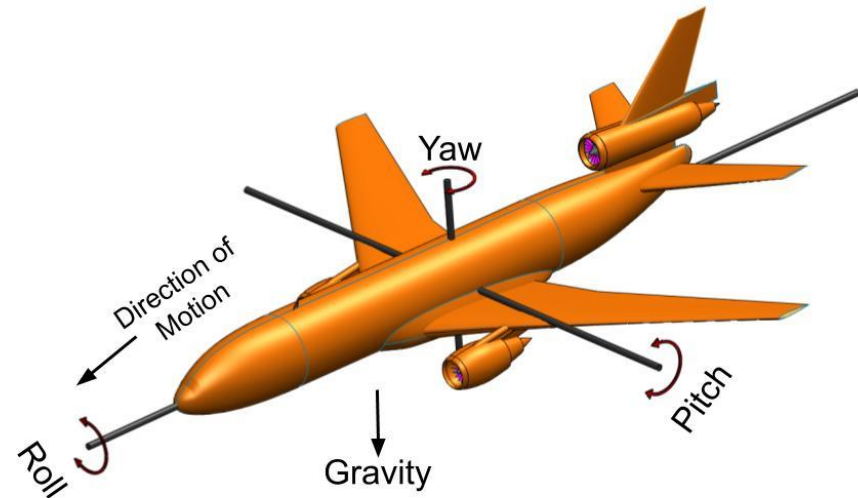
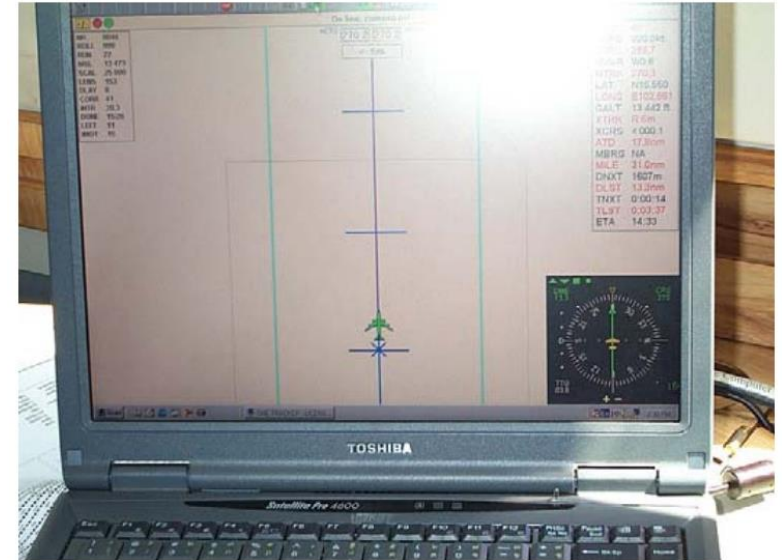
- การติดตามตำแหน่งของเลนส์เพื่อการกดถ่ายภาพสมัยก่อนต้องใช้ ต้นหนถ่ายภาพ ปัจจุบันใช้ระบบกำหนดตำแหน่งบนพื้นโลกและคอมพิวเตอร์
- การวางตัวของเครื่องบินต้องเหมาะสมแก่การถ่ายภาพทางอากาศ มุมหันเหรับแรงลม (YAW) มุมเอียงตามแนวลำตัว (PITCH) และมุมเอียงขวางลำตัว (ROLL)



a) Z/I Imaging RMK TOP Aerial
Survey System by Z/I Imaging Inc.



b) RC 30 Aerial Film Camera by
Leica Geosystems Inc.



การบินถ่ายภาพทางอากาศ

- มาตราส่วนกับการนำไปใช้ประโยชน์กับงานแผนที่
 - 1:6000 สำหรับงานที่ดินและวิศวกรรม
 - 1:15000 สำหรับงานผังเมือง
 - 1:25000 สำหรับงานของกระทรวงเกษตรและสหกรณ์
 - 1:50000 สำหรับงานกรมแผนที่ทหาร

$$S = \frac{f}{H-h}$$

S = Scale

f = focal length of the camera

H = flying height above sea level

h = average elevation of the terrain above sea level

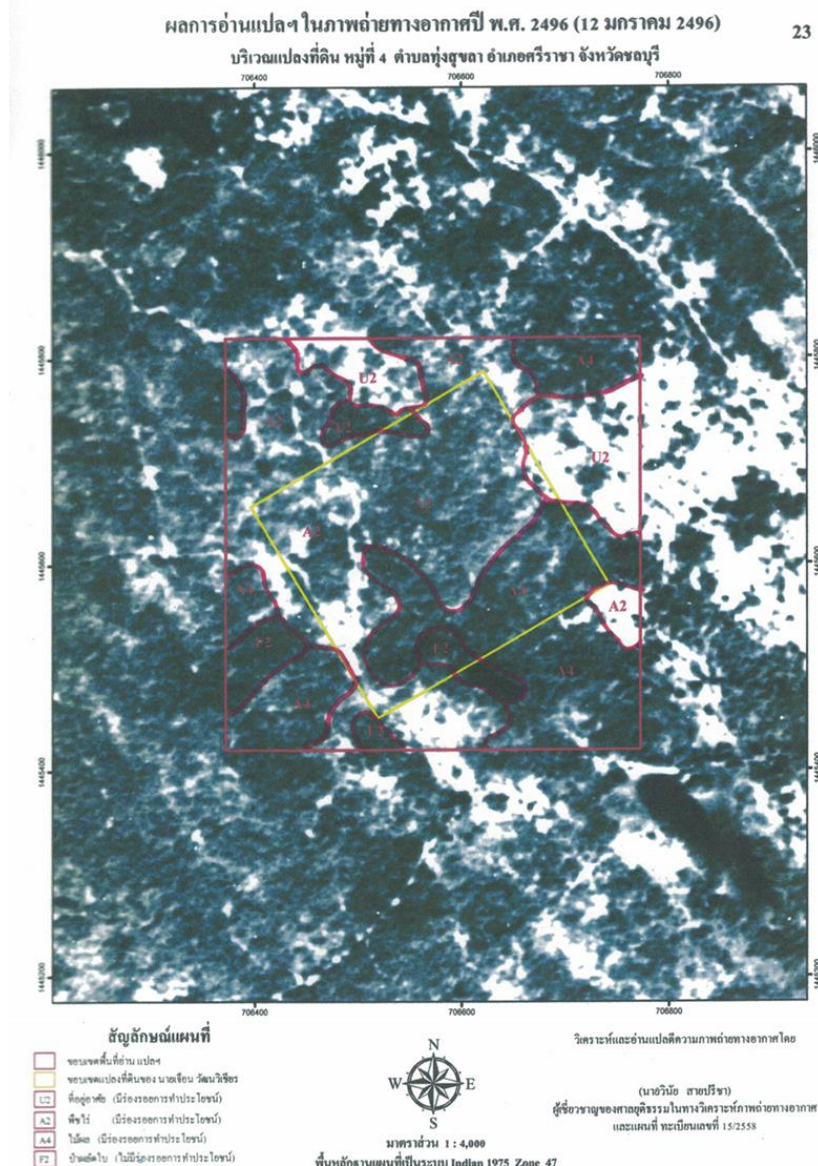
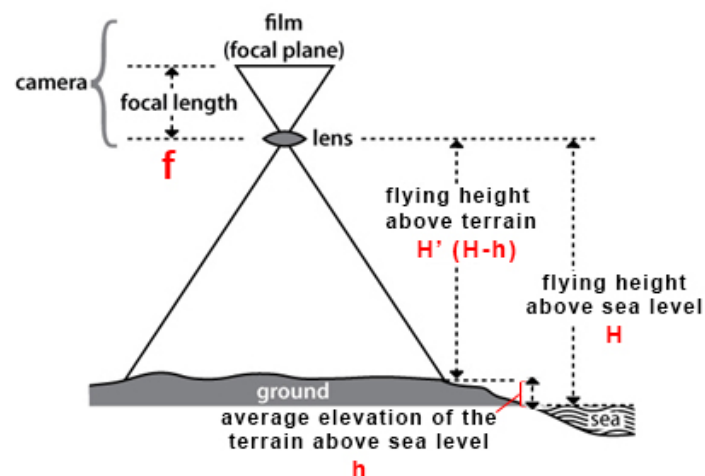
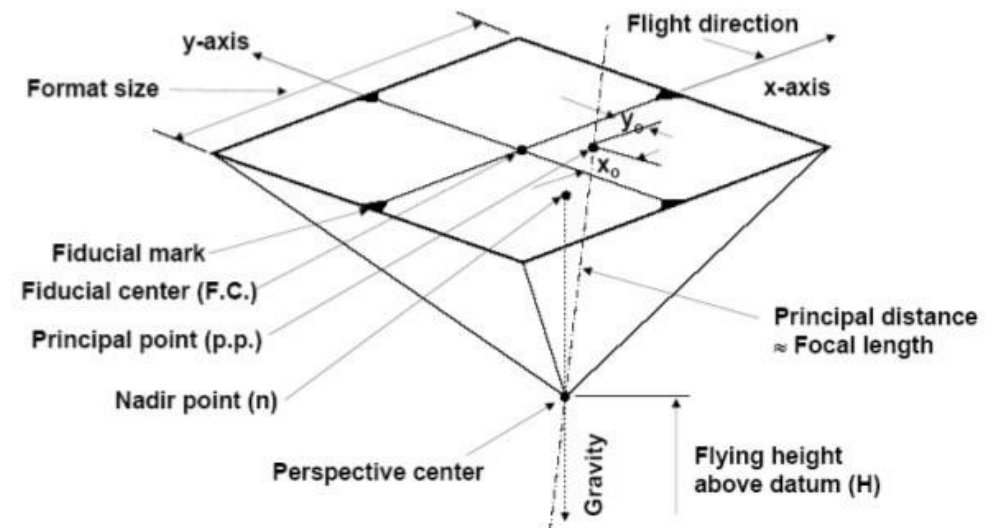


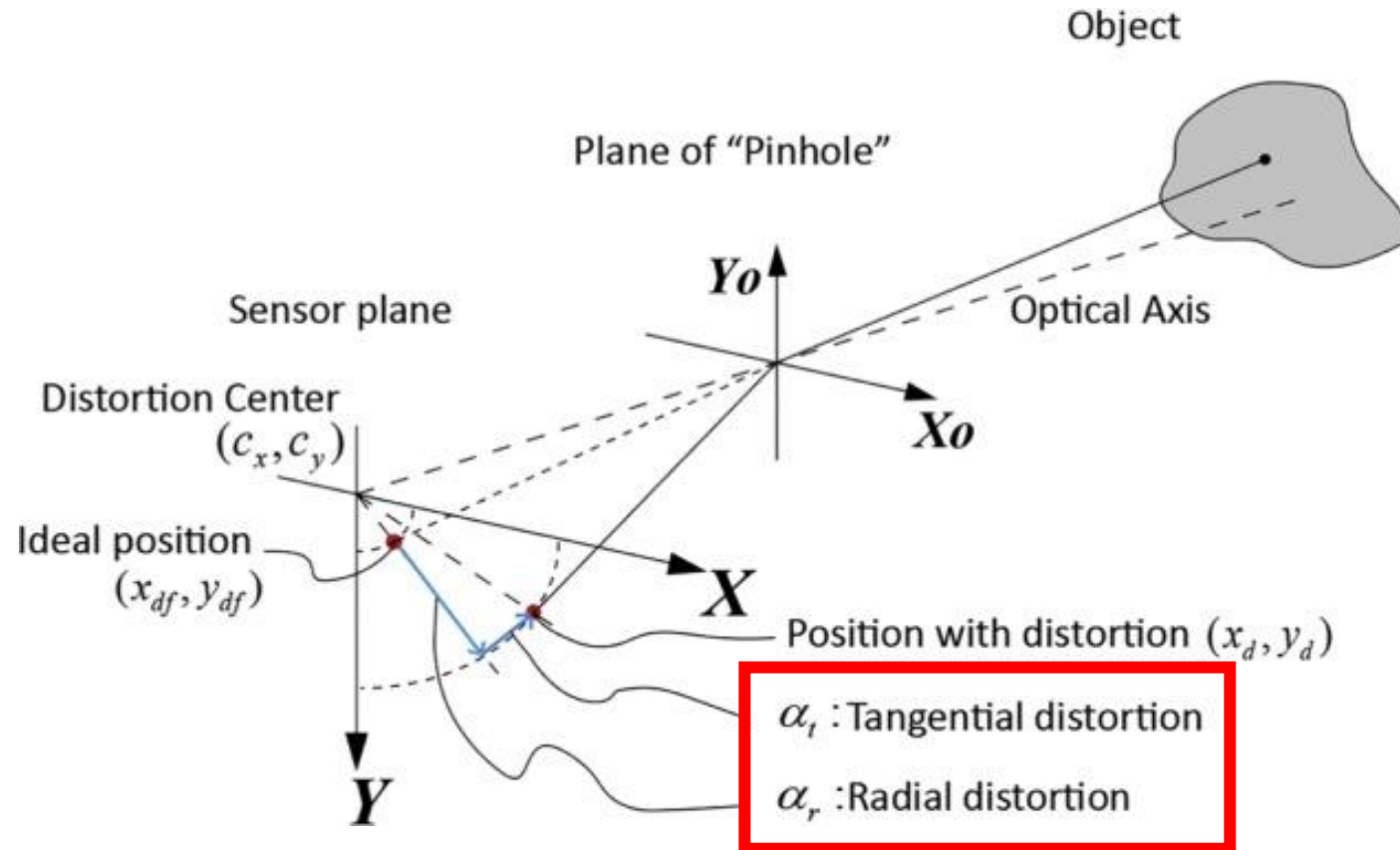
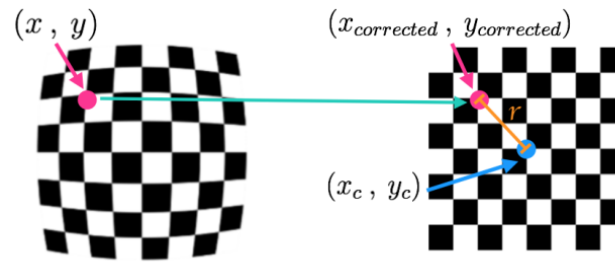
PHOTO COORDINATE

- จุดमुखยสำคัญ (PRINCIPAL POINT) จุดศูนย์กลางเลนส์ตั้งฉากระนาบภาพถ่าย ไม่เห็นในภาพ เปิดใบวัดสอบ (Calibration Sheet)
- จุดดัชนี (FIDUCIAL MARK) เครื่องหมายอ้างอิงที่ขอบภาพ 8 จุด ซึ่งจุดศูนย์กลางดัชนี (FIDUCIAL CENTER) มาจากการลากเส้นที่เชื่อมจุดดัชนีที่ตรงข้ามกัน ไม่จำเป็นต้องเป็นจุดเดียวกับจุดमुखยสำคัญ
- เริ่มวัดพิกัดภาพด้วยเครื่องมือ พิกัดที่ได้จะเป็นพิกัดเครื่องมือต้องแปลงเป็นพิกัดภาพถ่ายก่อน (อาจต้องตรวจแก้ความบิดเบี้ยวของเลนส์)

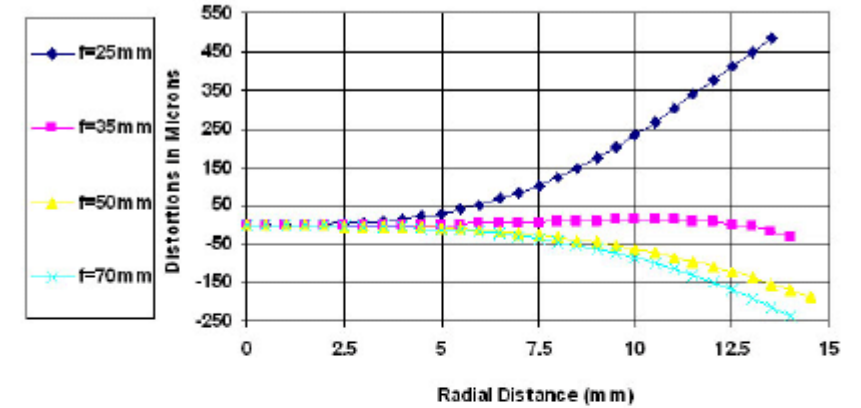
Elements of a Vertical Photograph



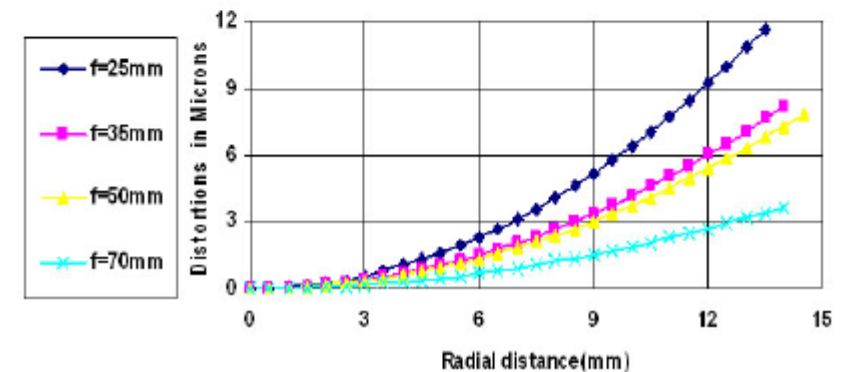
LEN DISTORTION



Variation of Radial Lens Distortions
Nikon D100



Variations of Decenteric lens distortions
Nikon D100





United States Department of the Interior

U.S. GEOLOGICAL SURVEY
Reston, Virginia 20192

REPORT OF CALIBRATION of Aerial Mapping Camera

June 16, 2005

These measurements were made on Agfa glass plates, 0.19 inch thick, with spectroscopic emulsion type APX Panchromatic, developed in D-19 at 68° F for 3 minutes with continuous agitation. These photographic plates were exposed on a multicollimator camera calibrator using a white light source rated at approximately 5200K.

I. Calibrated Focal Length: 153.068 mm

II. Lens Distortion

Field angle:	7.5°	15°	22.7°	30°	35°	40°
Symmetric radial (um)	1	2	2	2	0	-2
Decentering (um)	0	0	0	1	1	2

Symmetric radial distortion parameters	Decentering distortion parameters	Calibrated principal point
$K_0 = -0.4894 \times 10^{-4}$	$P_1 = -0.7900 \times 10^{-7}$	$x_p = -0.003 \text{ mm}$
$K_1 = 0.4278 \times 10^{-8}$	$P_2 = -0.9158 \times 10^{-7}$	$y_p = 0.009 \text{ mm}$
$K_2 = -0.2968 \times 10^{-13}$	$P_3 = 0.0000$	
$K_3 = 0.0000$	$P_4 = 0.0000$	
$K_4 = 0.0000$		

The values and parameters for Calibrated Focal Length (CFL), Symmetric Radial Distortion (K_0, K_1, K_2, K_3, K_4), Decentering Distortion (P_1, P_2, P_3, P_4), and Calibrated Principal Point [point of symmetry] (x_p, y_p) were determined through a least-squares Simultaneous Multiframe Analytical Calibration (SMAC) adjustment. The x and y-coordinate measurements utilized in the adjustment of the above parameters have a standard deviation (σ) of ± 3 microns.

* Equipped with Forward Motion Compensation

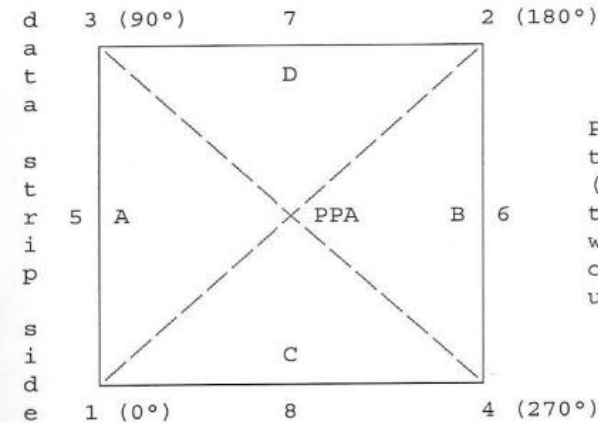
(1 of 4)

Camera type: Wild RC30*
Lens type: Wild Universal Aviogon A4-F
Nominal focal length: 153 mm

Camera serial no.: 5070
Lens serial no.: 13116
Maximum aperture: f/4
Test aperture: f/4



VII. Principal Points and Fiducial Coordinates



Positions of all points are referenced to the principal point of autocollimation (PPA) as origin. The diagram indicates the orientation of the reference points when the camera is viewed from the back, or a contact positive with the emulsion up. The data strip is to the left.

Indicated principal point, corner fiducials
Indicated principal point, midside fiducials
Principal point of autocollimation (PPA)
Calibrated principal point (pt. of sym.) x_p, y_p

X coordinate	Y coordinate
0.006 mm	0.006 mm
0.000	0.004
0.0	0.0
-0.003	0.009

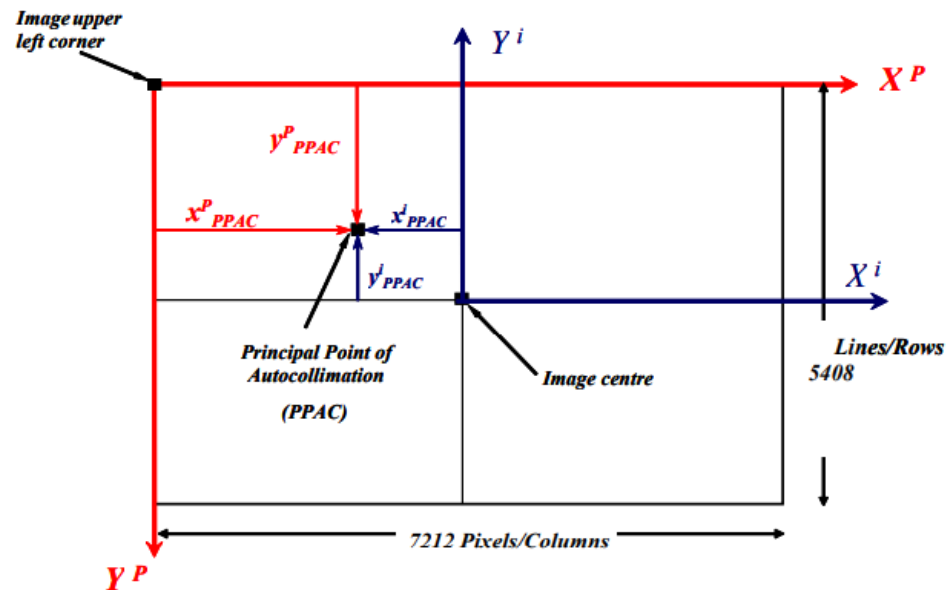
Fiducial Marks

1	-105.991 mm	-105.997 mm
2	106.000	106.007
3	-105.985	106.006
4	105.998	-105.997
5	-109.994	0.004
6	109.999	0.004
7	-0.001	110.005
8	0.001	-110.008

Table 2: Camera Calibrated Parameters of DSS 439 SN1002 - 60mm lens - VIS

Parameter	Value	Accuracy
f (mm)	59.840	0.009 mm
x_{PPAC}^P (pixels) ⁺	3616.46	0.4 pixels
y_{PPAC}^P (pixels) ⁺	2723.55	0.4 pixels
x_{PPAC}^I (mm) ⁺⁺	0.071	0.0036 mm
y_{PPAC}^I (mm) ⁺⁺	-0.133	0.0036 mm

- ⁺ x_{PPAC}^P and y_{PPAC}^P are the offsets of the principal point of Autocollimation measured from image upper left corner, (image size 7212 pixels x 5408 lines) see Figure 1
- ⁺⁺ x_{PPAC}^I and y_{PPAC}^I are measured from image centre (pixel size = 6.8 microns) see Figure 1



Remarks

- X^I and Y^I : Image Coordinate Frame- **Right Handed System**
- X^P and Y^P : Pixel/Monitor Coordinate Frame- **Left Handed System**

Figure 1: An Example of The Principal Point Offsets in a generic DSS Digital Image



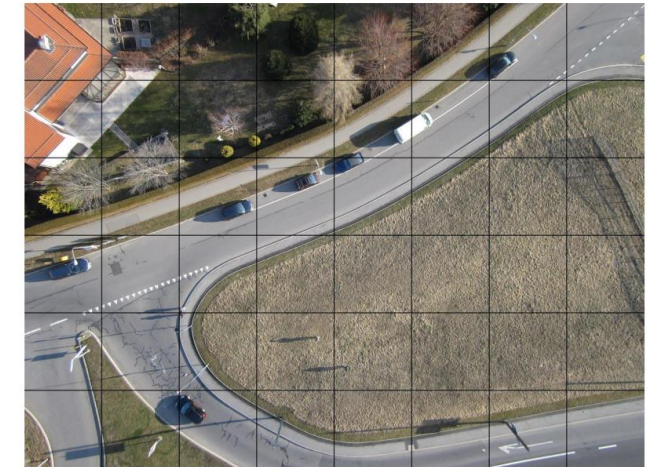
Table 3 Radial Lens Distortion Table of DSS 439 SN1002 – 60mm lens - VIS

Radial Distance (mm)	Radial Distortion (Pixel)	Radial Distortion (microns)
1.00	-0.00	-0.022
2.00	-0.03	-0.175
3.00	-0.09	-0.591
4.00	-0.21	-1.397
5.00	-0.40	-2.720
6.00	-0.69	-4.680
7.00	-1.09	-7.396
8.00	-1.61	-10.979
9.00	-2.28	-15.534
10.00	-3.11	-21.158
11.00	-4.11	-27.941
12.00	-5.29	-35.963
13.00	-6.66	-45.295
14.00	-8.24	-55.999
15.00	-10.02	-68.124
16.00	-12.02	-81.708
17.00	-14.23	-96.779
18.00	-16.67	-113.352
19.00	-19.33	-131.427
20.00	-22.21	-150.996
21.00	-25.30	-172.036
22.00	-28.60	-194.509
23.00	-32.11	-218.368
24.00	-35.82	-243.552
25.00	-39.70	-269.987
26.00	-43.76	-297.588
27.00	-47.98	-326.258
28.00	-52.34	-355.892
29.00	-56.82	-386.370
30.00	-61.41	-417.569
31.00	-66.08	-449.354

Table 4: Calibrated Lens Distortion Coefficients - SN1002

Coefficient	Value
K1	-1.0153726e-009
K2	+1.7334080e-017
K3	-9.8033374e-026

LAWN MOWER FLIGHT – UAV



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

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

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

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

AFFINE TRANSFORMATION

- การหาค่าองค์ประกอบการวางภาพภายใน (Interior Orientation)
- 2 TRANSLATIONS, 1 ROTATIONS, 2 SCALATIONS and 1 ANGULAR AFFINITY (6 PARAMETERS)

อยู่ใน AFFINE COEFFICIENTS ทั้ง 6 ได้แก่ a, b, c, d, e, f

- PHOTO TO IMAGE COORDINATE

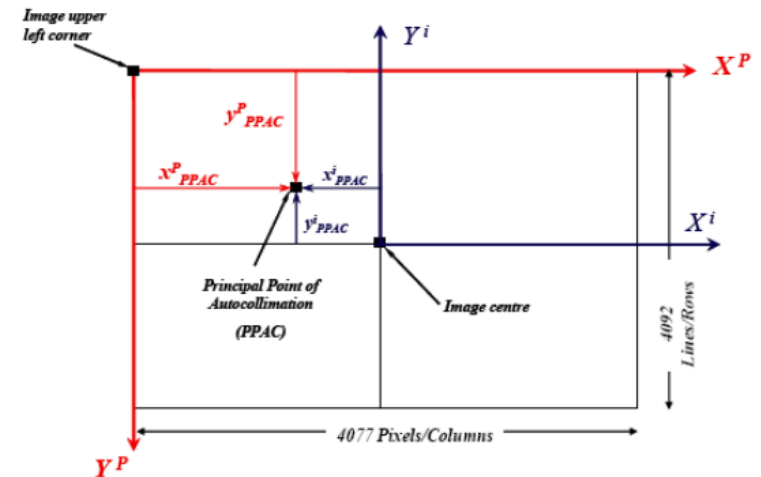
$$\begin{aligned}(x_p, y_p) &\rightarrow (x_i, y_i) \\ x_i &= ax_p + by_p + c \\ y_i &= dx_p + ey_p + f\end{aligned}$$

- IMAGE TO PHOTO COORDINATE

$$\begin{aligned}(x_i, y_i) &\rightarrow (x_p, y_p) \\ x_p &= a'x_i + b'y_i + c' \\ y_p &= d'x_i + e'y_i + f'\end{aligned}$$

- ความสัมพันธ์ระหว่าง AFFINE COEFFICIENT สองชุด

$$a' = \frac{e}{ae - bd} \quad b' = \frac{-b}{ae - bd} \quad c' = \frac{bf - ce}{ae - bd} \quad d' = \frac{-d}{ae - bd} \quad e' = \frac{a}{ae - bd} \quad f' = \frac{cd - fa}{ae - bd}$$



SINGLE PHOTO MEASUREMENT

IMAGE TO PHOTO COORDINATE เลือกใช้ inverse affine transformation

ตัวอย่างการวัดพิทช์บ้านและจุดระดับบนพื้นดิน



```
#-----  
#Inverse Affine a_,b_,c_,d_,e_,f_  
1.5011859226653e-05 -2.8365288601049e-10 -0.11350077766574  
-1.8716778648295e-10 -1.5012983008061e-05 0.11350467204681  
#-----
```

IMAGE TO PHOTO COORDINATE

$$(x_i, y_i) \rightarrow (x_p, y_p)$$

$$x_p = a_x x_i + b_y y_i + c_$$

....

$$y_p = d_x x_i + e_y y_i + d_$$

....

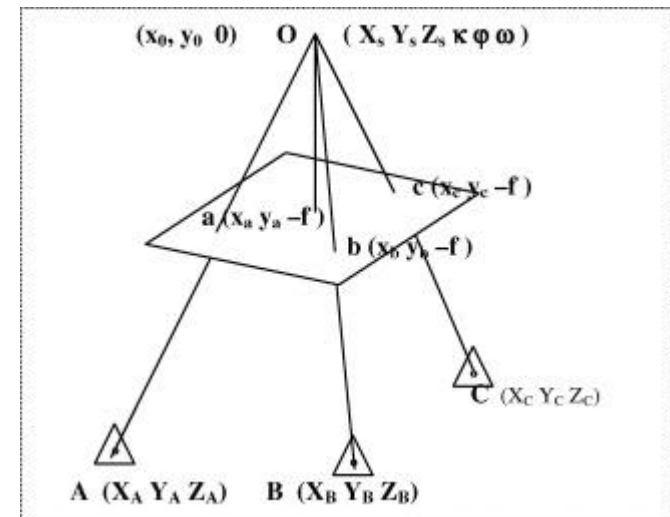
COLINEARITY EQUATION

- สมการแสดงความสัมพันธ์ของจุดเปิดถ่าย (X_0, Y_0, Z_0) จุดพิกัดภาพถ่าย (x, y) และจุดพิกัดภาคพื้นดิน (X, Y, Z) สามจุดนี้จะมีลำแสงเส้นตรงวิ่งผ่านหนึ่งเส้น
- องค์ประกอบการวางภาพภายนอก (Exterior Orientation) $X_0, Y_0, Z_0, \omega, \phi, \kappa$ คำนวณจากจุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point) ขั้นต่ำ 3 จุด
- หนึ่งจุดให้ 2 สมการ

$$x = -f \left[\frac{a_{11}(X - X_0) + a_{12}(Y - Y_0) + a_{13}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \right]$$

$$y = -f \left[\frac{a_{21}(X - X_0) + a_{22}(Y - Y_0) + a_{23}(Z - Z_0)}{a_{31}(X - X_0) + a_{32}(Y - Y_0) + a_{33}(Z - Z_0)} \right]$$

- สัมประสิทธิ์ $a_{11}, a_{12}, \dots, a_{33}$ จะมี ω, ϕ, κ อยู่



EXTERIOR ORIENTATION PARAMETER CALCULATION

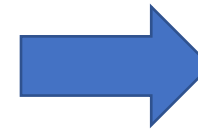
Project:
 Name : Image 63 Single Photo Resection
 Camera : Wild RC-30
 FocLen : 154.006 # mm.
 ScanRes : 15 # micron

```
GCP:  # ground control  XG  YG  ZG
40301 : 3581.964 3142.402 285.339
40401 : 4213.013 3182.528 277.559
40501 : 5027.192 3214.013 250.182
30301 : 3517.415 1921.055 228.798
30401 : 4228.470 2082.750 207.739
20301 : 3674.942 1050.052 206.364
20401 : 4182.090 1053.451 240.941
20501 : 4906.054 1030.005 279.686
```

พิกัดภาคพื้นดิน
 ของจุดควบคุมภาคพื้นดิน

```
Image:
Photo_63:  #Photo 63
40301 : -104.822 71.148
40401 : -56.171 75.215
40501 : 5.691 78.172
30301 : -106.608 -22.705
30401 : -51.802 -8.595
20301 : -93.112 -89.567
20401 : -54.923 -89.403
20501 : 1.891 -91.010
```

พิกัดภาพถ่าย
 ของจุดควบคุมภาคพื้นดิน
 (ผ่านการแปลงจาก
 พิกัดโปรแกรมแล้วจ้า)

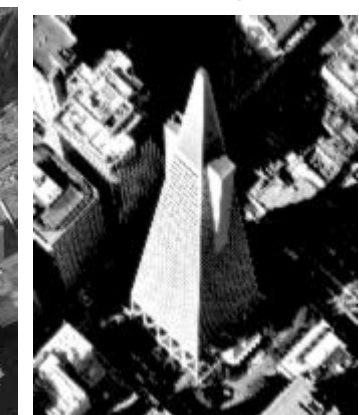
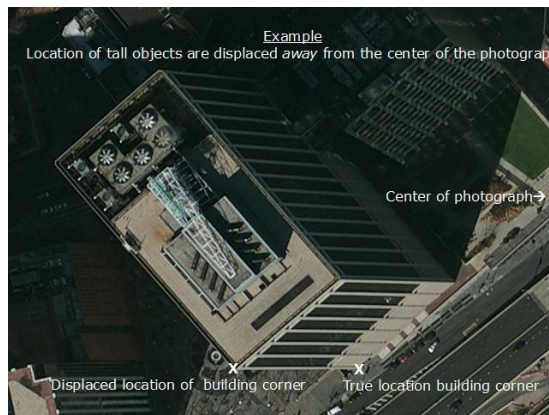
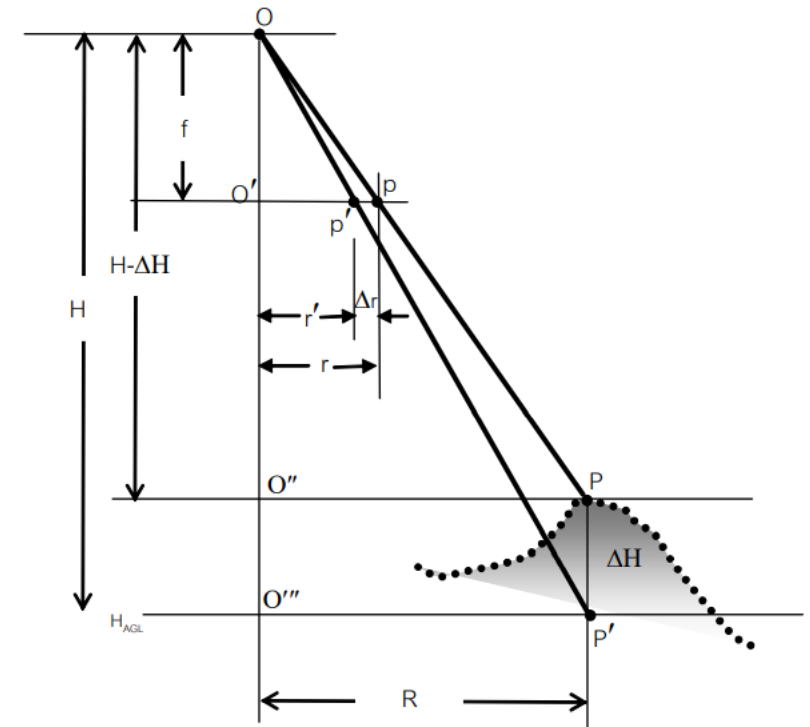


```
63_Report
===== Adjusted Value =====
Photo_63_X0 4907.8123 m std.+/-0.469 m.
Photo_63_Y0 2088.5786 m std.+/-0.554 m.
Photo_63_Z0 2257.2655 m std.+/-0.217 m.
Photo_63_Om 2.423432 deg std.+/-0.012 deg.
Photo_63_Ph -0.311383 deg std.+/-0.012 deg.
Photo_63_Ka -1.783463 deg std.+/-0.005 deg.
===== Measurement Residues =====
photo pnt vx[mm] vy[mm] vx[pix] vy[pix]
Photo_63 40301 0.0050 0.0002 0.3 0.0
Photo_63 40401 0.0032 0.0053 0.2 0.4
Photo_63 40501 -0.0051 0.0067 -0.3 0.4
Photo_63 30301 -0.0026 -0.0009 -0.2 -0.1
Photo_63 30401 0.0142 0.0097 0.9 0.6
Photo_63 20301 0.0070 -0.0182 0.5 -1.2
Photo_63 20401 0.0145 -0.0071 1.0 -0.5
Photo_63 20501 -0.0350 0.0046 -2.3 0.3
```

RELIEF DISPLACEMENT

- ความคลาดเคลื่อนบนภาพถ่ายทางอากาศเนื่องจากความสูงต่ำของภูมิประเทศ ทิศทางเกิดในแนวรัศมีออกจากศูนย์กลางภาพ
- สมการ

$$\Delta r = r \left(\frac{\Delta H}{H - \Delta H} \right)$$

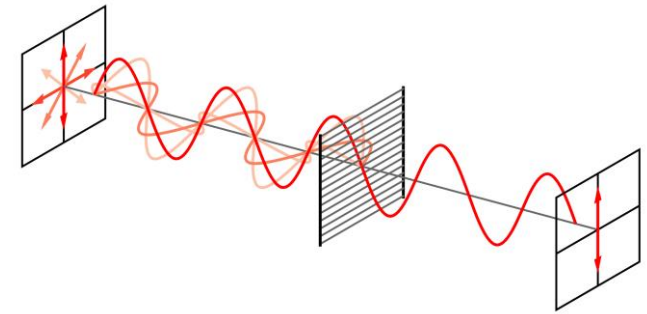
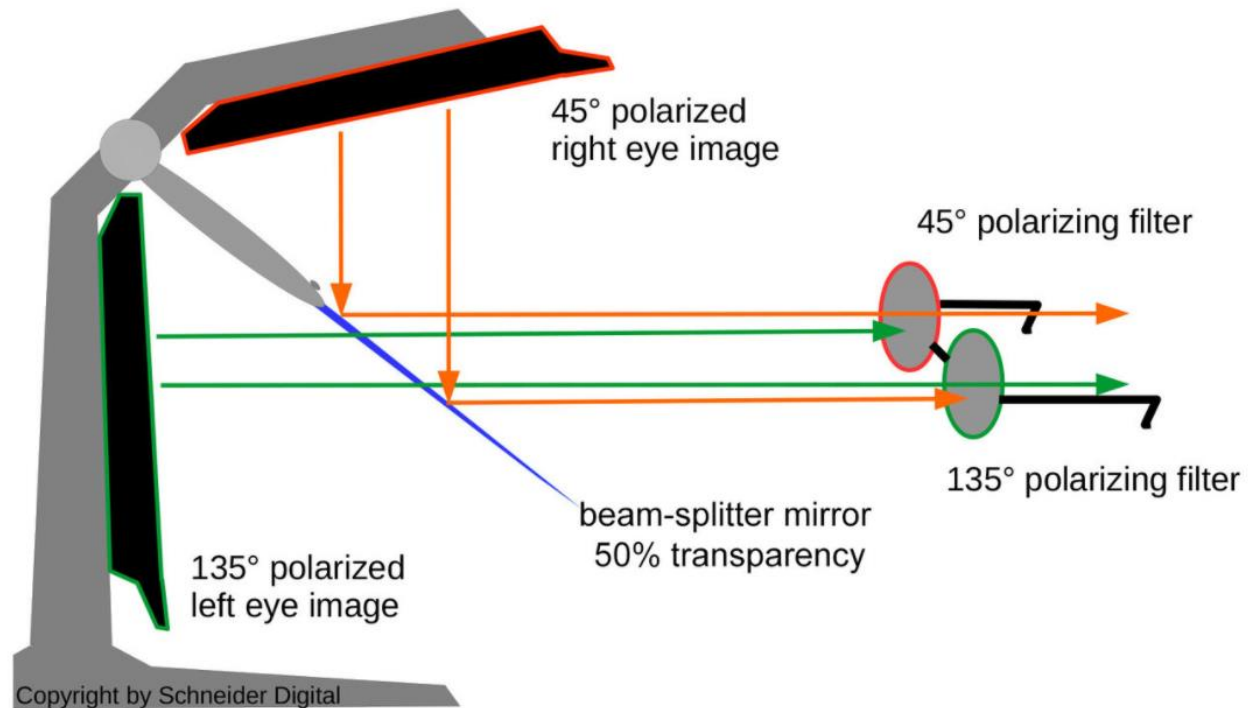


STEREOPAIR MEASUREMENT

- การมองเห็นภาพสามมิติจากส่วนซ้อนด้านหน้า (Overlap)
- เครื่องมือช่วยในการมองเห็นภาพสามมิติ
 - OPTICAL STEREOSCOPE สำหรับการมองภาพบนแผ่นฟิล์ม
 - POCKET STEREOSCOPE
 - MIRROR STEREOSCOPE
 - DIGITAL STEREOSCOPE สำหรับการมองภาพผ่านหน้าจอ
 - ANAGLYPH GLASSES
 - SHUTTLE GLASSES
 - POLARIZED SCREEN



3D PLURAVIEW



How the passive 3D stereo system works

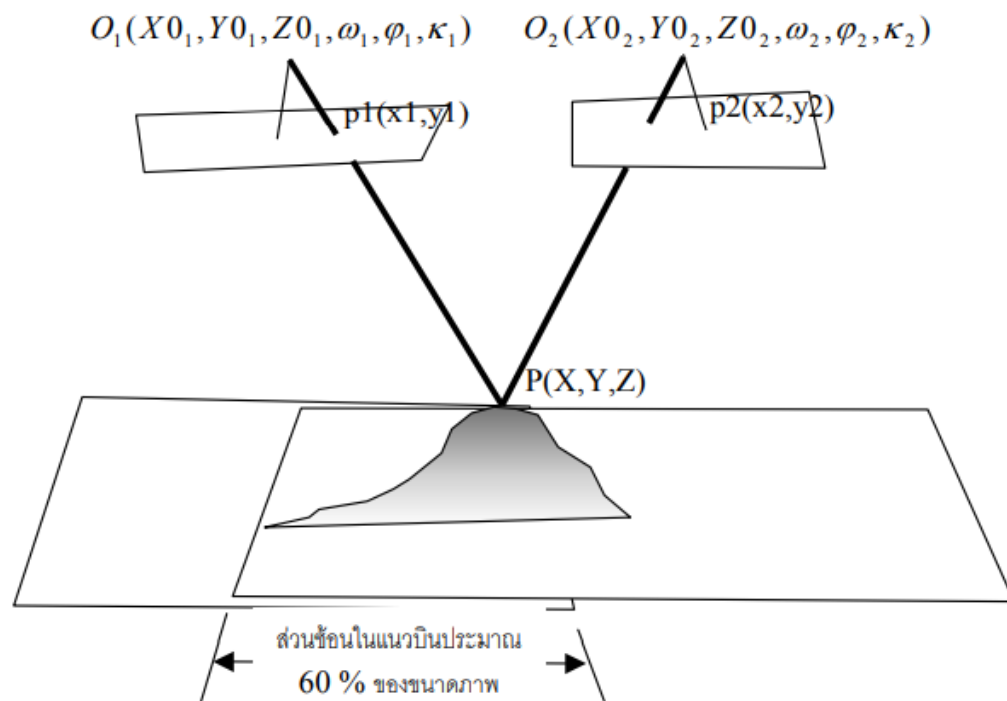
The 3D PluraView has consistently evolved from Planar's successful beam-splitter technology, both in function and technology, as well as in design, quality and user ergonomics.

- Established, mature beam-splitter technology with semi-transparent mirror
- Passive polarized filter glasses without flicker effect
- Two professional FHD, 2.5K or 4K monitors
- Highest component quality with a solid housing and stand – made in Germany

Schneider Digital is proud to introduce the [3D PluraView](#) monitor series - the next generation of dual-screen stereo monitors.

STEREOSCOPIC MEASUREMENT : TWO PHOTO INTERSECTION

หาจุดภาพที่เจอในคู่ภาพทั้งสอง รังวัดพิกัดภาพเพื่อหาพิกัดพื้นดิน



รูปภาพ 4-2 ภาพคู่สามมิติกับการมองเห็นสามมิติและการรังวัดพิกัดวัตถุบนภูมิประเทศจำลอง

ค่าคงตัวของการปรับแก้ EO, IO

ภาพคู่สามมิติ	ค่าพารามิเตอร์การวางตัวภายใน	ค่าพารามิเตอร์การวางตัวภายนอก
ภาพซ้าย	$a_1, b_1, c_1, d_1, e_1, f_1$	$X0_1, Y0_1, Z0_1, \varpi_1, \phi_1, \kappa_1$
ภาพขวา	$a_2, b_2, c_2, d_2, e_2, f_2$	$X0_2, Y0_2, Z0_2, \varpi_2, \phi_2, \kappa_2$

OBSERVATION EQUATION

$$x_1 + v_1 = -f \frac{a'_{1,1} * (X - X0_1) + a'_{1,2} * (Y - Y0_1) + a'_{1,3} * (Z - Z0_1)}{a'_{3,1} * (X - X0_1) + a'_{3,2} * (Y - Y0_1) + a'_{3,3} * (Z - Z0_1)}$$

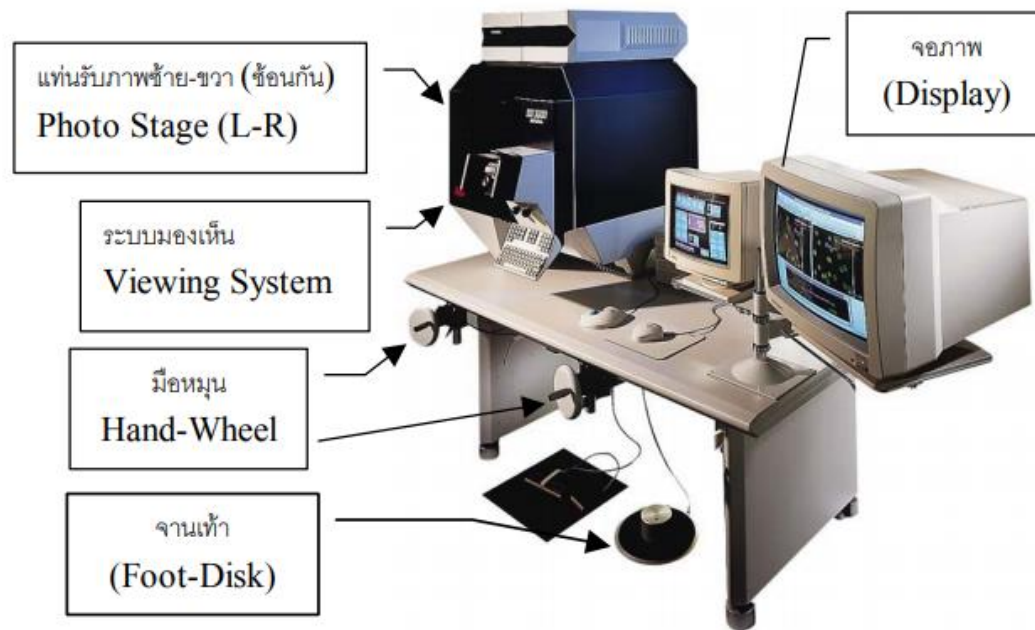
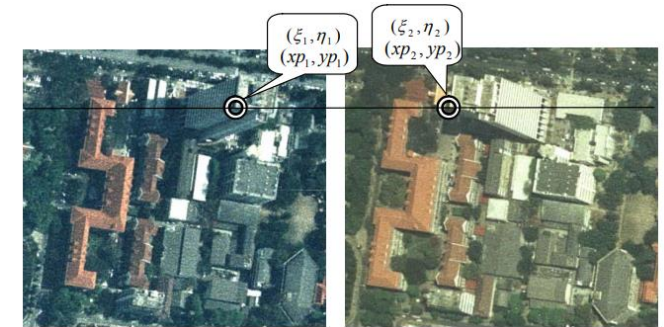
$$y_1 + v_2 = -f \frac{a'_{2,1} * (X - X0_1) + a'_{2,2} * (Y - Y0_1) + a'_{2,3} * (Z - Z0_1)}{a'_{3,1} * (X - X0_1) + a'_{3,2} * (Y - Y0_1) + a'_{3,3} * (Z - Z0_1)}$$

$$x_2 + v_3 = -f \frac{a''_{1,1} * (X - X0_2) + a''_{1,2} * (Y - Y0_2) + a''_{1,3} * (Z - Z0_2)}{a''_{3,1} * (X - X0_2) + a''_{3,2} * (Y - Y0_2) + a''_{3,3} * (Z - Z0_2)}$$

$$y_2 + v_4 = -f \frac{a''_{2,1} * (X - X0_2) + a''_{2,2} * (Y - Y0_2) + a''_{2,3} * (Z - Z0_2)}{a''_{3,1} * (X - X0_2) + a''_{3,2} * (Y - Y0_2) + a''_{3,3} * (Z - Z0_2)}$$

GROUND COORDINATE FROM STEREOPAIR

- ทราบองค์ประกอบการวางภาพภายนอกและภายในของคู่ภาพสามมิติ
- วัดพิกัดภาพของจุดที่สนใจ ต้องพบทั้งคู่ภาพสามมิติ



รูปภาพ 4-16 เครื่องเขียนแผนที่เชิงวิเคราะห์ Leica SD-3000



STEREOSCOPIC PARALLAX

AND PHOTOGRAMMETRIC ACCURACY

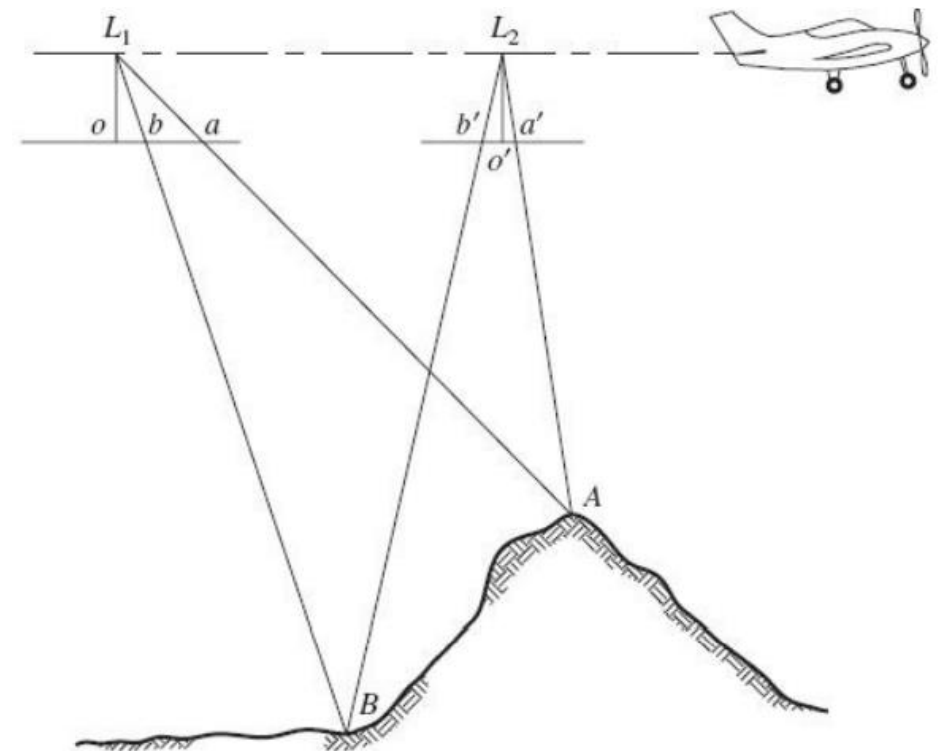
- PARALLAX เป็นการเลื่อนตำแหน่งจุดภาพเมื่อตำแหน่งถ่ายภาพเปลี่ยนไป
- กำหนดความถูกต้องการรังวัดบนภาพถ่ายแนวราบ σ_x
- ความถูกต้องการรังวัดพิกัดพื้นดินแนวราบ

$$\sigma_X = \frac{H}{f} \sigma_x$$

- ความถูกต้องการรังวัดพิกัดพื้นดินทางตั้ง (ทฤษฎี)
และทางปฏิบัติ (Empirical Formula)

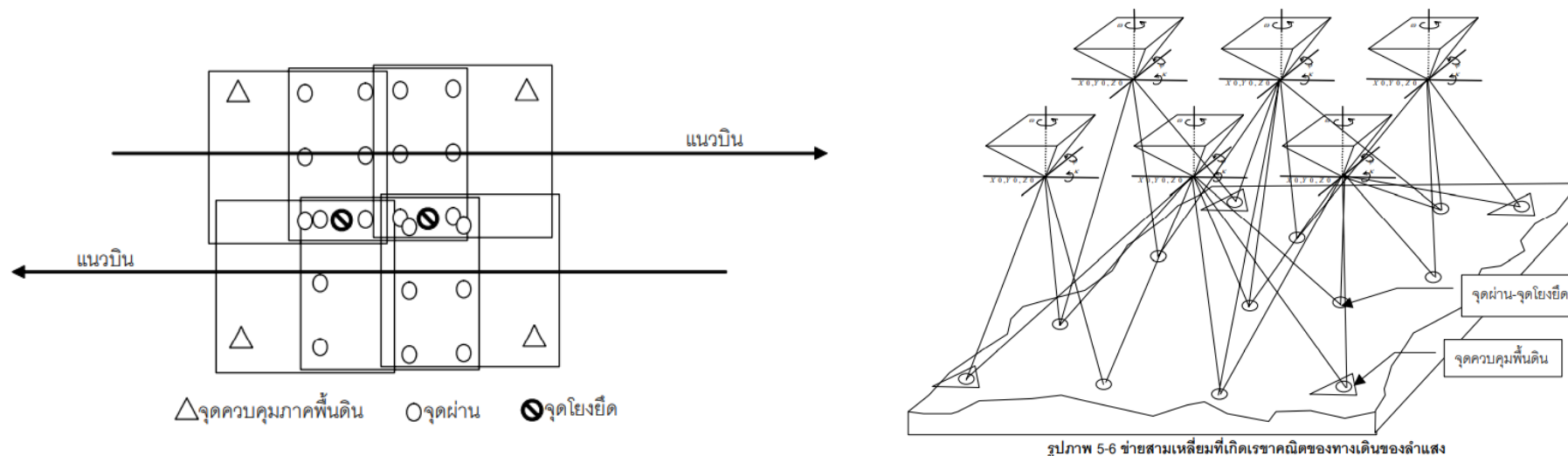
$$\sigma_{H(Theory)} = \frac{H^2}{bf} \sqrt{2} \sigma_x$$

$$\sigma_{H(Empirical)} = \frac{0.15H}{1000}$$



AERIAL TRIANGULATION : PHOTO CONTROL POINTS

- ถ่ายสามเหลี่ยมทางอากาศเป็นกระบวนการหา EXTERIOR ORIENTATION ทั้งบล็อกถ่ายภาพทางอากาศ
- จุดควบคุมภาพถ่าย ถูกเพิ่มมาโดยอาจไม่ต้องไปรังวัดค่าพิกัดในสนาม
 - จุดควบคุมภาคพื้นดิน (Ground Control Point)
 - จุดผ่าน (Pass Point) ตามแนวส่วนซ้อนส่วนหน้า (Overlap)
 - จุดโยงยึด (Tie Point) ตามแนวส่วนซ้อนด้านข้าง (Sidelap)



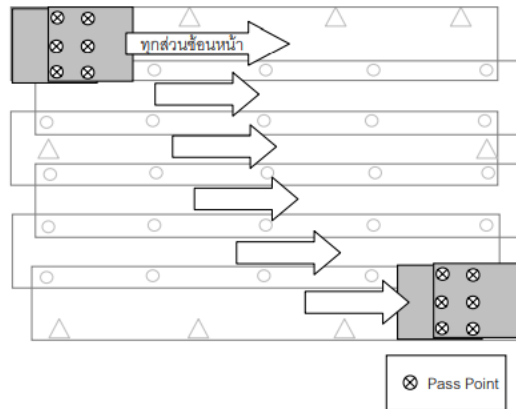
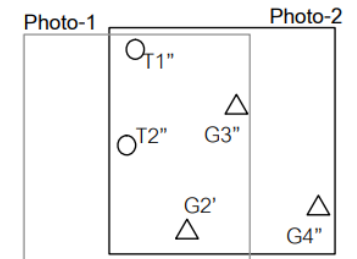
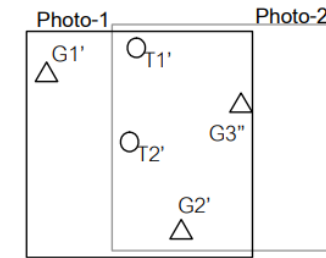
BLOCK BUNDLE ADJUSTMENT

➤ การวิเคราะห์ตัวแปร (Unknowns)

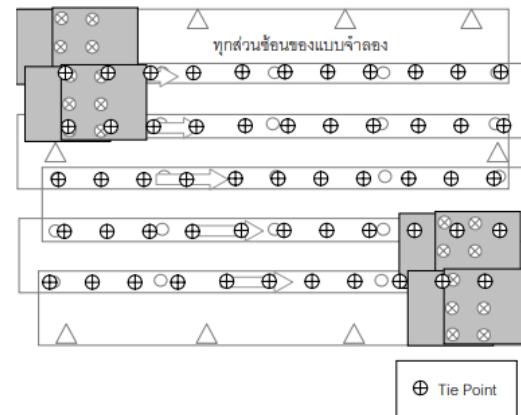
- องค์ประกอบการวางภาพภายนอกมี 6 ค่า ต่อ 1 ภาพ
- จุดผ่านหรือจุดโยงยึดมี 3 ค่า เป็นพิกัดพื้นดิน

➤ การวิเคราะห์จำนวนสมการ (Equations)

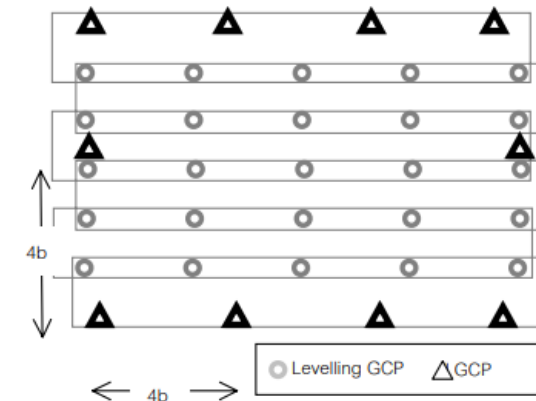
- จุดควบคุมภาคพื้นดิน จุดผ่านหรือจุดโยงยึด 1 จุดให้ 2 สมการ ต่อ 1 ภาพ



รูปภาพ 5-17 การวัดจุดผ่าน



รูปภาพ 5-18 การวัดจุดโยงยึด



รูปภาพ 5-20 การวัดจุดพิกัดควบคุมภาคพื้นดิน

BLOCK BUNDLE ADJUSTMENT : CHECKLIST

❖ วาดภาพบล็อกบนภาพถ่ายทางอากาศ โดยมีจำนวนภาพ OVERLAP
SIDELAP ตรงตามกำหนด

❖ ลงจุดควบคุมภาคพื้นดินที่มุมทั้งสี่ของบล็อกรวม
ลงจุดโยงยึดและจุดผ่าน ตรงตามกำหนด

❖ เขียนแยกทีละภาพว่ามีจุดควบคุมภาพถ่ายอะไรบ้าง
นับว่าแต่ละจุดอยู่บนภาพกี่ภาพ

❖ นับจำนวน UNKNOWN DATA AND OBSERVATION DATA

❖ เขียนเมทริกซ์ที่เกี่ยวข้องกับการปรับแก้ OBSERVATION EQUATIONS
ตระหนักว่าเราใช้สมการสถานะร่วมเส้นปรับแก้หาค่าองค์ประกอบ
ภายนอกและจุดผ่านโยงยึด ซึ่งไม่เป็นสมการเชิงเส้น

Model Matrix (Jacobian A), L (Observation), LO (Parameter Estimator)

จุดภาคพื้นดิน	ค่าพิกัด	บทบาทในปัญหา
G1	X_{G1}, Y_{G1}, Z_{G1}	เป็นค่าคงที่
G2	X_{G2}, Y_{G2}, Z_{G2}	
G3	X_{G3}, Y_{G3}, Z_{G3}	
T1	X_{T1}, Y_{T1}, Z_{T1}	เป็นตัวไม่ทราบค่า

