



Πανεπιστήμιο
Αιγαίου

Ανοικτά
Ακαδημαϊκά
Μαθήματα



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΤΜΗΜΑ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΟΣ

ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ ΚΑΙ ΓΣΠ

Διευθυντής: καθηγητής Ι. Ν. Χατζόπουλος



Εισαγωγή στην Τηλεπισκόπηση (326Ε)

Καθηγητής Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος

ihat@aegean.gr

http://www.env.aegean.gr/labs/Remote_sensing/Remote_sensing.htm



Διάλεξη-06
Οπτικά συστήματα –
συμβατική φωτογραφία, Α/Φ

Άδειες Χρήσης

Το παρόν υλικό διατίθεται με τους όρους της άδειας χρήσης Creative Commons Αναφορά, Μη Εμπορική Χρήση Παρόμοια Διανομή 4.0 [1] ή μεταγενέστερη, Διεθνής Έκδοση. Για εκπαιδευτικό υλικό, όπως εικόνες, διαγράμματα, κείμενα, που υπόκειται σε άλλου τύπου άδειας χρήσης, η άδεια χρήσης αναφέρεται ρητώς.



Χρηματοδότηση

Το παρόν εκπαιδευτικό υλικό έχει αναπτυχθεί στο πλαίσιο του εκπαιδευτικού έργου του διδάσκοντα. Το έργο «**Ανοικτά Ακαδημαϊκά Μαθήματα στο Πανεπιστήμιο Αιγαίου**» έχει χρηματοδοτήσει μόνο τη αναδιαμόρφωση του εκπαιδευτικού υλικού.



Το έργο υλοποιείται στο πλαίσιο του Επιχειρησιακού Προγράμματος «Εκπαίδευση και Δια Βίου Μάθηση» και συγχρηματοδοτείται από την Ευρωπαϊκή Ένωση (Ευρωπαϊκό Κοινωνικό Ταμείο) και από εθνικούς πόρους.



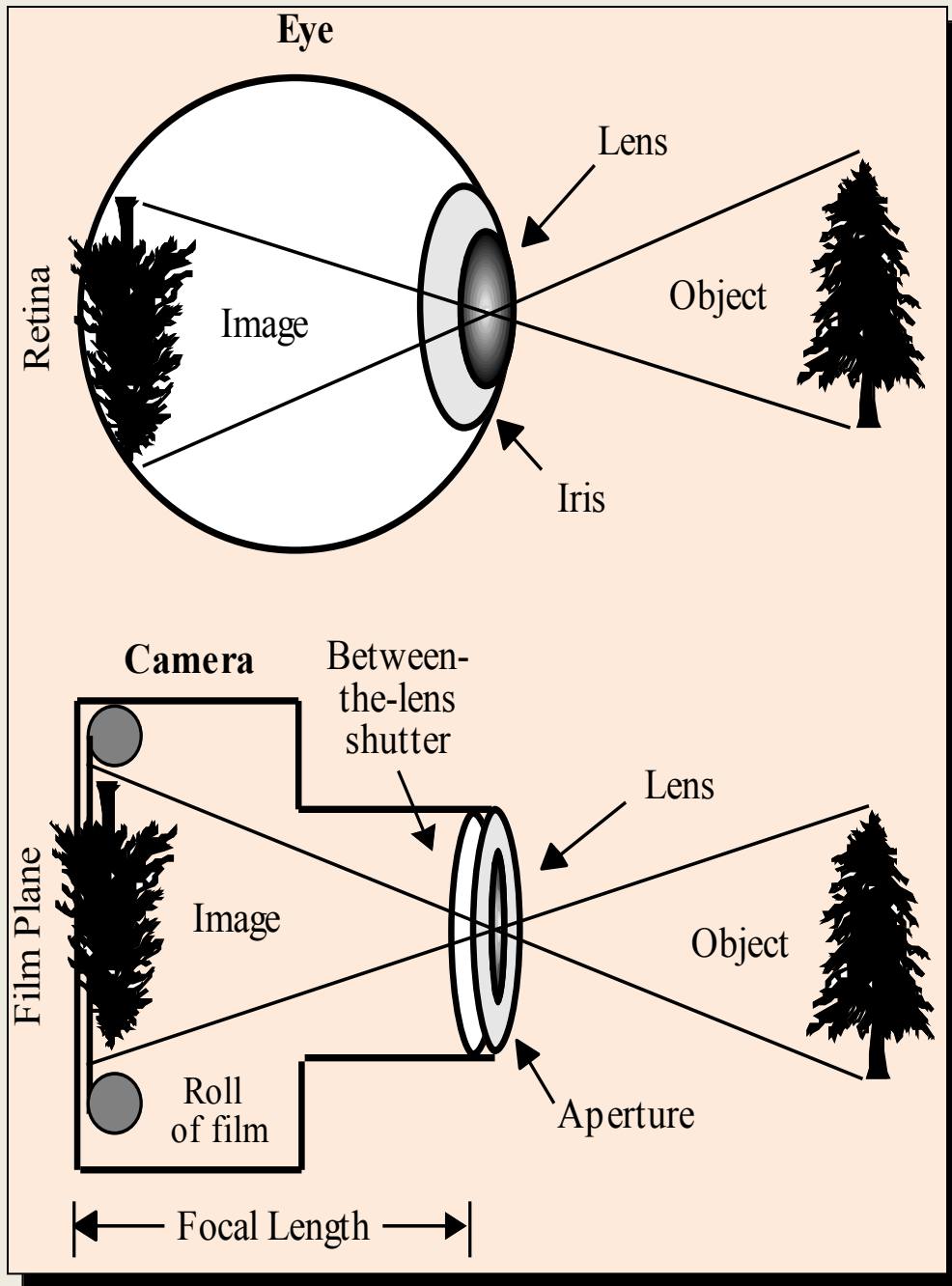
Οπτικά συστήματα - συμβατική φωτογραφία, Α/Φ

- **Η θεωρία περιλαμβάνει:**

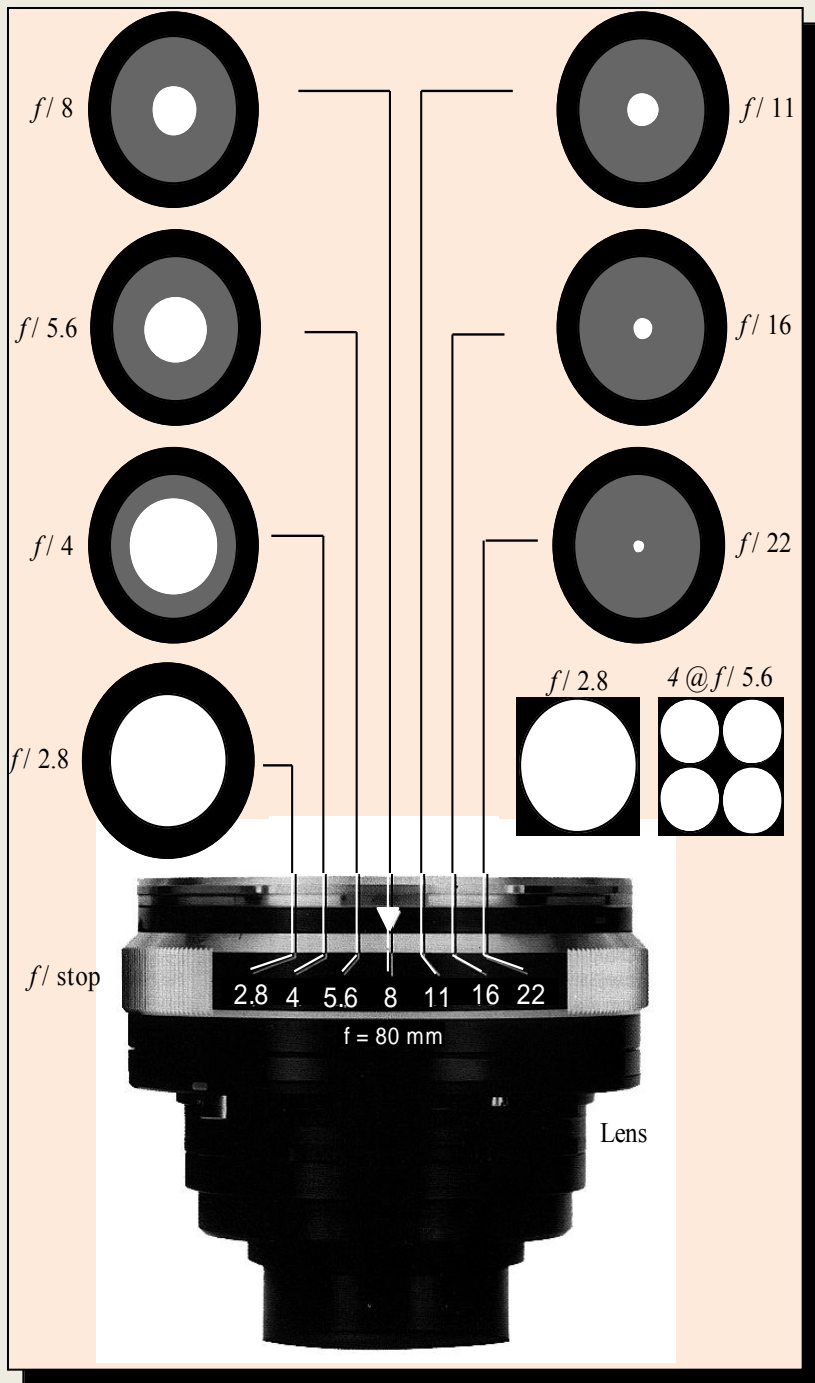
- Οπτικές συνιστώσες στο ανθρώπινο μάτι και στη φωτογραφική μηχανή. Αεροφωτογραφική μηχανή πλαισίου.
- Περιστρεφόμενη βάση στήριξης.
- Ψηφιακές αεροφωτογραφικές μηχανές.
- Η θέση του αεροπλάνου X, Y, Z και οι γωνίες στροφής ω, ϕ, κ , roll, pitch, yaw.
- Βαθμονόμηση της μηχανής. Γεωμετρία απλής Α/Φ, μετατόπιση λόγω αναγλύφου. Γεωμετρία στερεοζεύγους Α/Φ.
- Μηχανή συνεχούς λωρίδας, Πανοραμική μηχανή. Γωνία πεδίου φακού μηχανής πλαισίου. IMC (Image Motion Compensation).
- Δύο SLR μηχανές υψηλής ανάλυσης. Μωσαϊκοποίηση – Απομωσαϊκοποίηση.
- Μη επανδρωμένα αεροπλάνα (UAS): Σύστημα εδάφους-κονσόλα, λογισμικό, φωτομωσαϊκό, DEM, ορθοφωτοχάρτης. Τετρακόπτερο (Quadcopter) για αεροφωτογράφιση.

- **Το εργαστήριο περιλαμβάνει:**

- Ακτινοβολία ΗΜΑ – Δορυφορικοί δέκτες

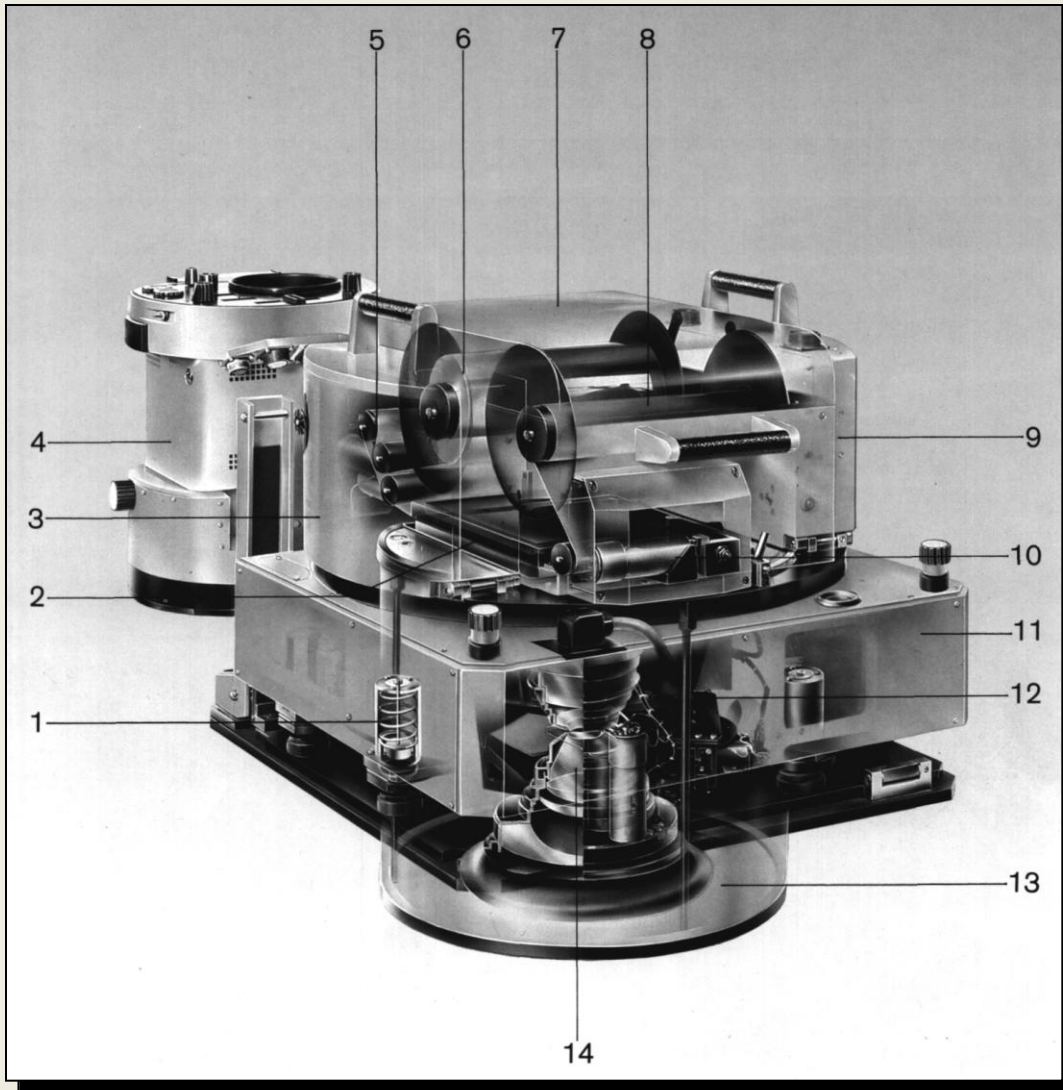


**ΟΠΤΙΚΕΣ
ΣΥΝΙΣΤΩΣΕΣ ΣΤΟ
ΑΝΘΡΩΠΙΝΟ ΜΑΤΙ
ΚΑΙ ΣΤΗ
ΦΩΤΟΓΡΑΦΙΚΗ
ΜΗΧΑΝΗ.
-Μια σύγκριση**



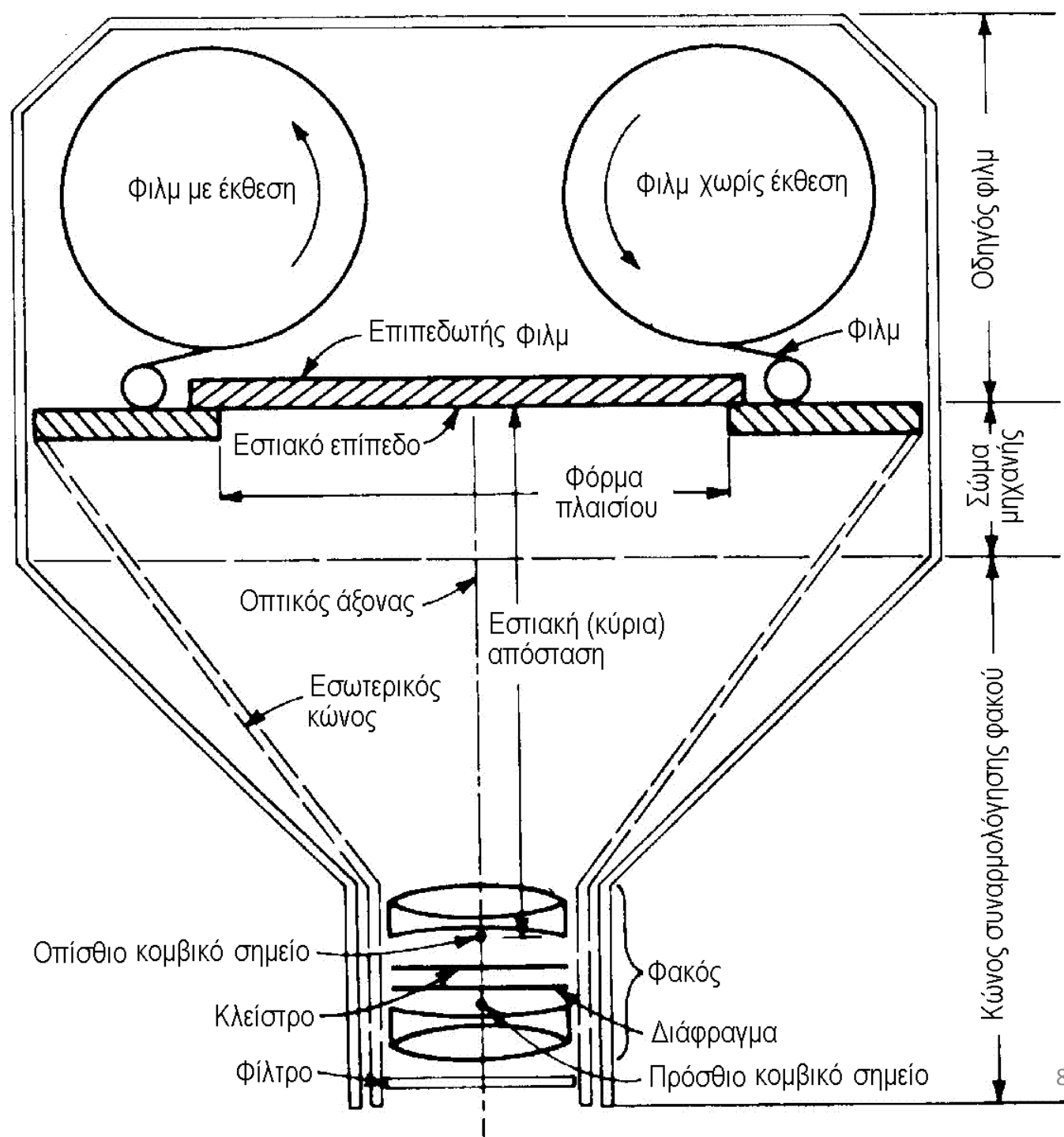
Τα $f/stop$ του φακού μηχανής και το αντίστοιχο μέγεθος του διαφράγματος

Αεροφωτογραφική μηχανή πλαισίου

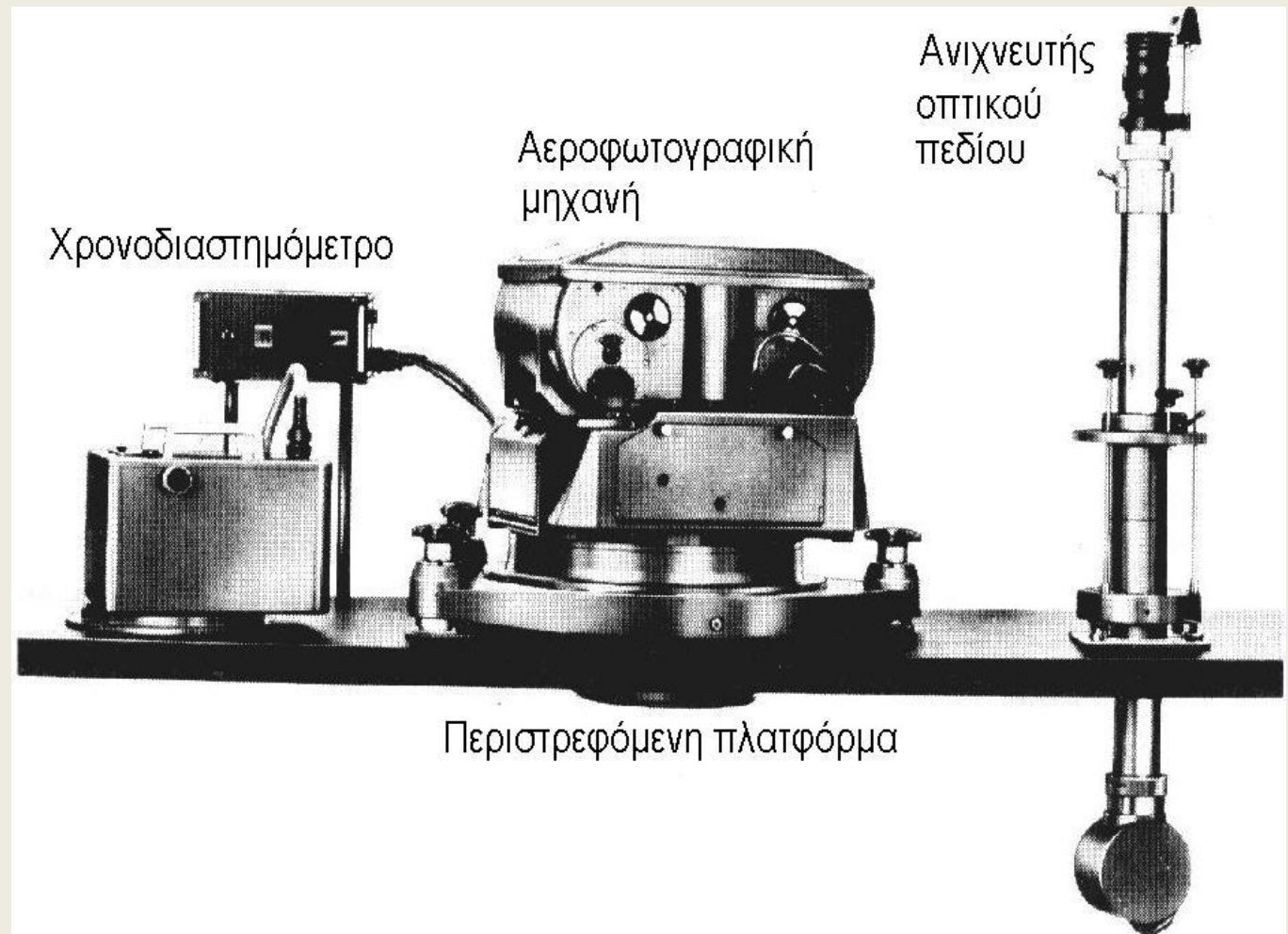


Jensen, 2000

Αεροφωτο- γραφική μηχανή πλαisiού



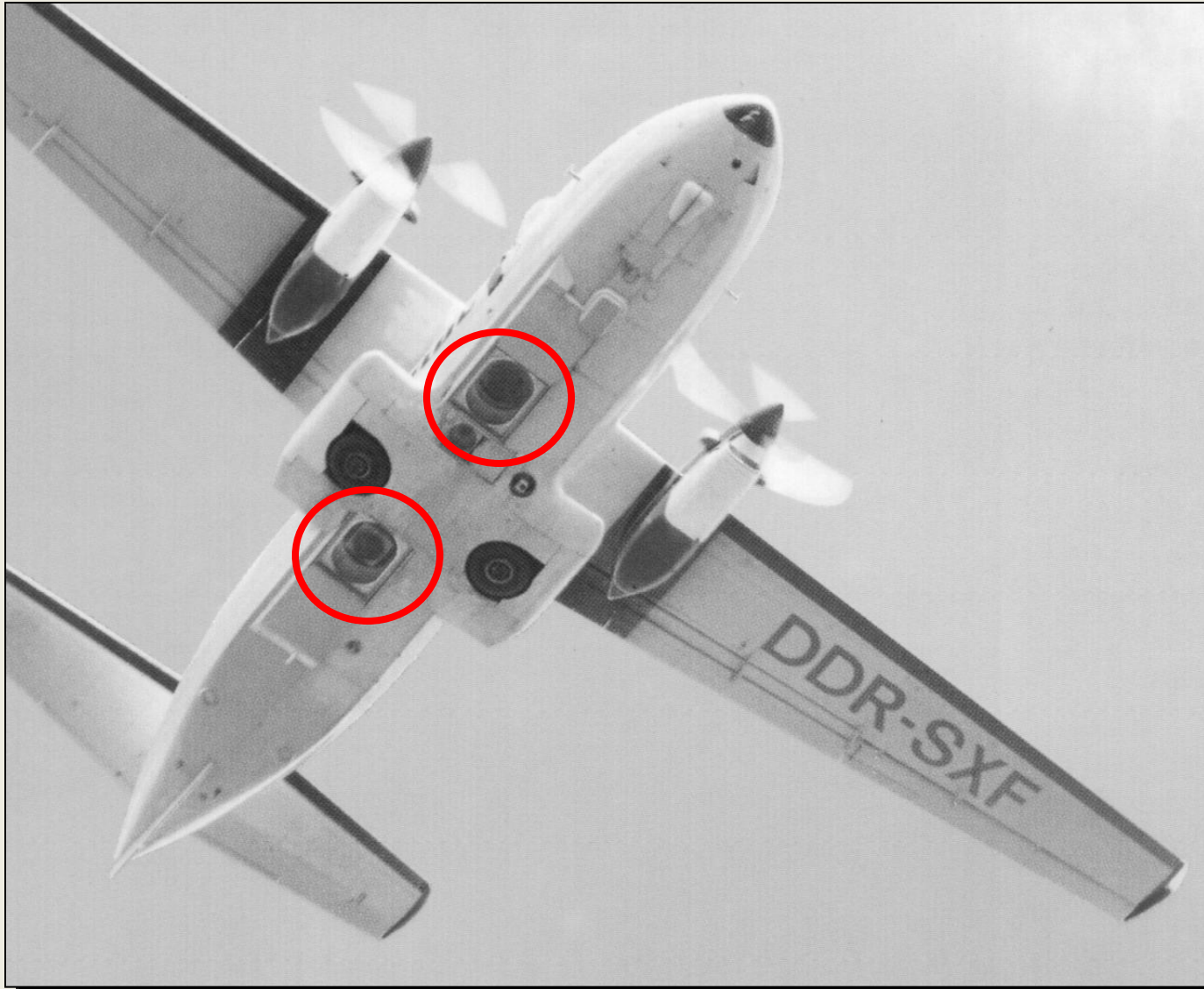
Περιστρεφόμενη βάση στήριξης



**Αεροφωτογραφική
μηχανή πλαισίου με
Περιστρεφόμενη
βάση στήριξης**



Δύο μηχανές πλαισίου στερεωμένες στην κοιλιά του αεροπλάνου



Jensen, 2000

Τέσσερις 70-mm Hasselblad μηχανές για πολυφασματική εικόνα



Near-infrared (0.7 – 1.0 μm)



Red (0.6 – 0.7 μm)



Green (0.5 – 0.6 μm)



Century
City, Los
Angeles

Jensen, 2000

Ψηφιακές αεροφωτογραφικές μηχανές

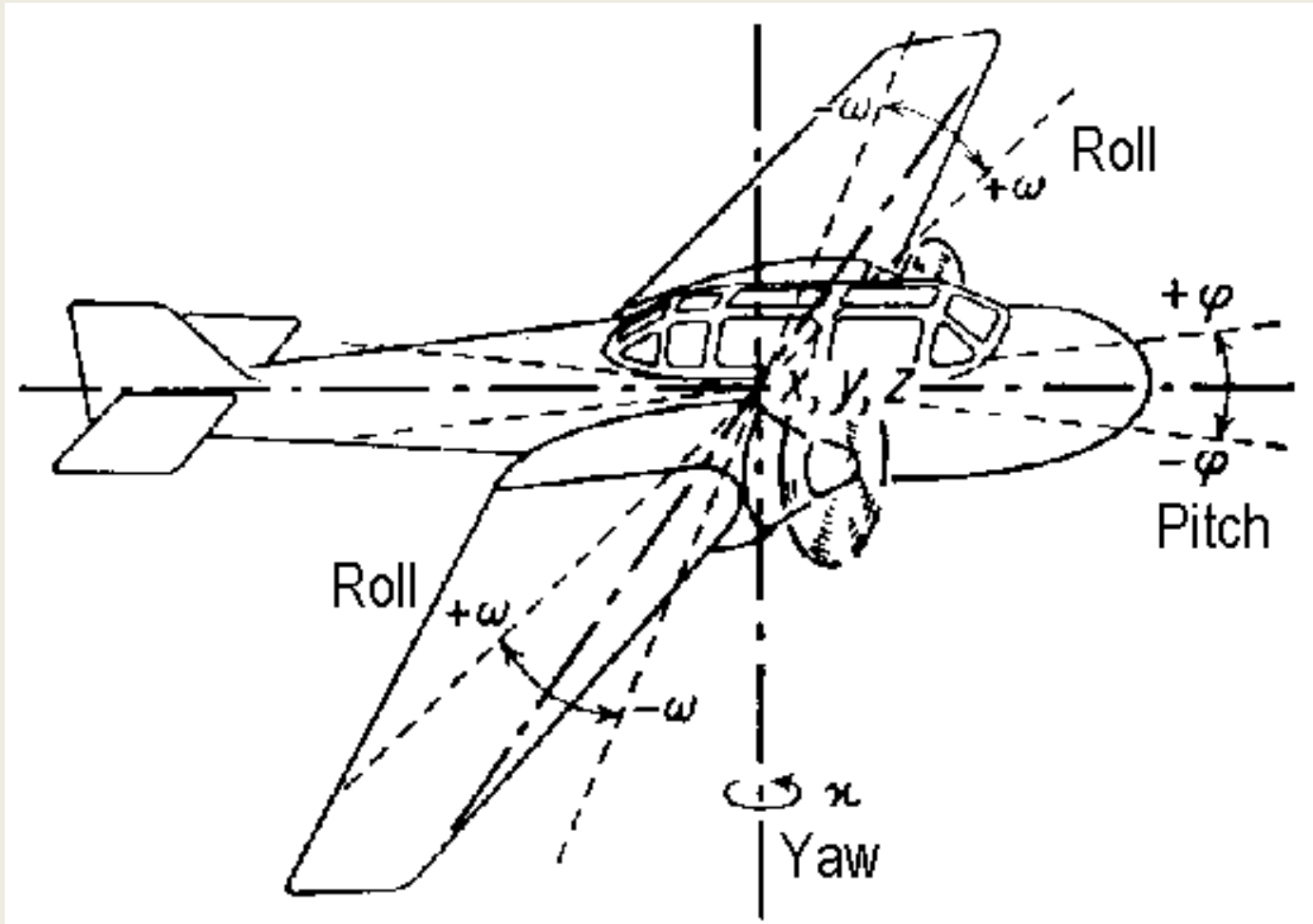
Σύγχρονο ολοκληρωμένο σύστημα ψηφιακής αεροφωτογράφισης.

Άνω: Ψηφιακή αεροφωτογραφική μηχανή UltraCam-Xr της VEXCEL της εταιρείας Microsoft. Με προδιαγραφές: 4 κανάλια στο πανχρωματικό ζευγμένα σε ένα με 17310*11310 εικονοστοιχεία στα 6μm, 4-κανάλια RGB & NIR με 5770*3770 εικονοστοιχεία στα 6μm, 8 και 16 bit με 1 πλαίσιο ανά 2 δευτερόλεπτα, Forward Motion Compensation (FMC) 50 pixels.

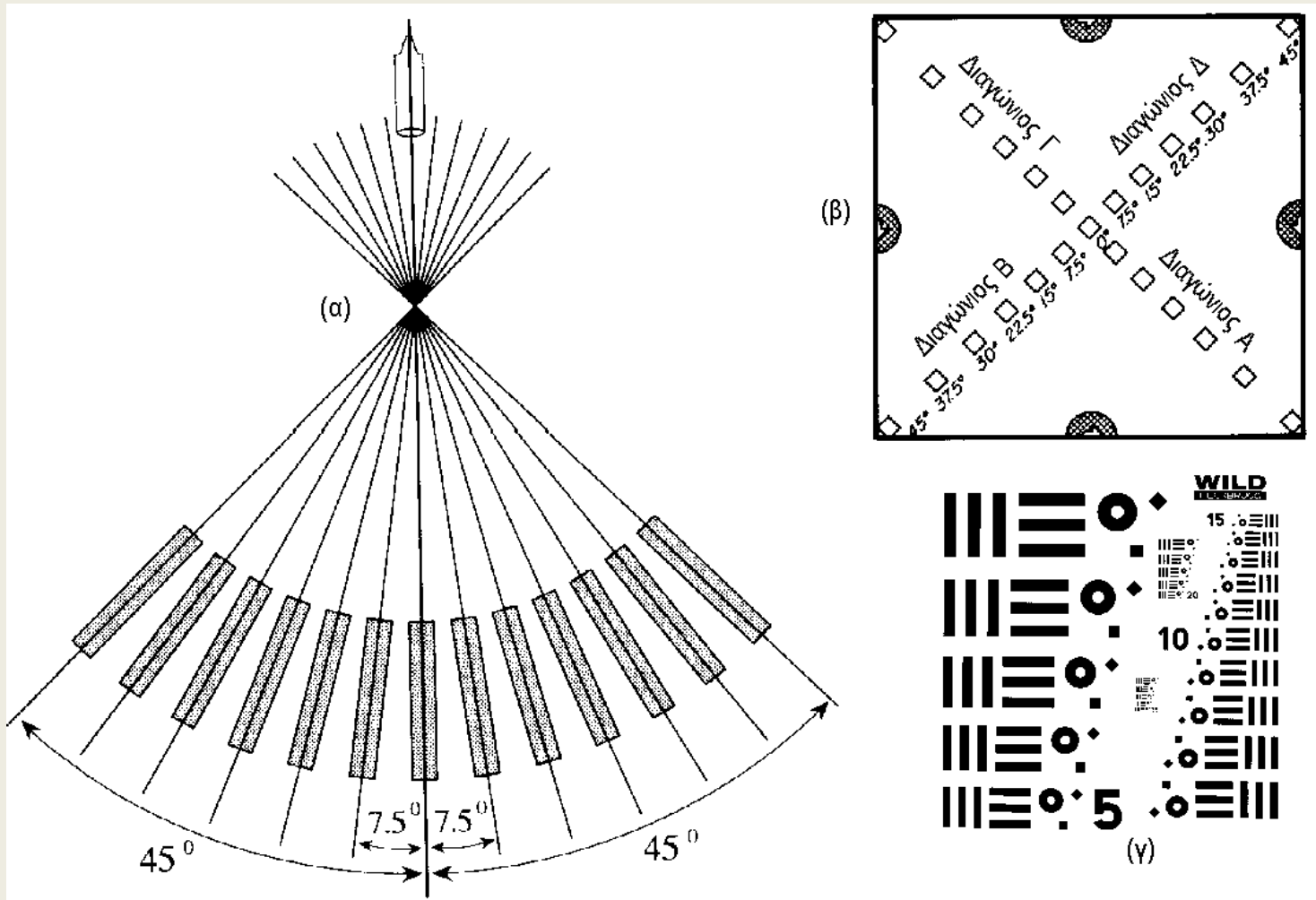
Κάτω: Η ίδια μηχανή προσαρμοσμένη στο Σύστημα GNSS (Global Navigation Satellite System) PosTrack της εταιρίας Arplanix που χρησιμοποιεί λογισμικό της εταιρίας TrackAir με τα εξής χαρακτηριστικά: Σύστημα πλοήγησης GPS, Αυτοματοποιημένη έκθεση, Έλεγχος της μηχανής, Ενσωμάτωση των αδρανιακών και GPS συστημάτων Arplanix POS/AV 510 (GNSS/INS) στη γυροσκοπική πλατφόρμα PAV 80/PAV30 της εταιρίας Leica. Προδιαγραφές PAV 80: Σταθερότητα σε roll/pitch $\pm 7^\circ/-8^\circ$ έως $+6^\circ$, Σταθερότητα σε drift: $\pm 30^\circ$, Απόκλιση από την κατακόρυφο: $\leq 0.02^\circ$. Απόκλιση από το drift $\leq 0.02^\circ/\text{sec}$.

Εργαστήριο Τηλεπισκόπησης & ΓΣΠ
© copyright I. N. Χατζόπουλος

Η θέση του αεροπλάνου X, Y, Z και οι γωνίες στροφής roll, pitch, yaw



Βαθμονόμηση της μηχανής



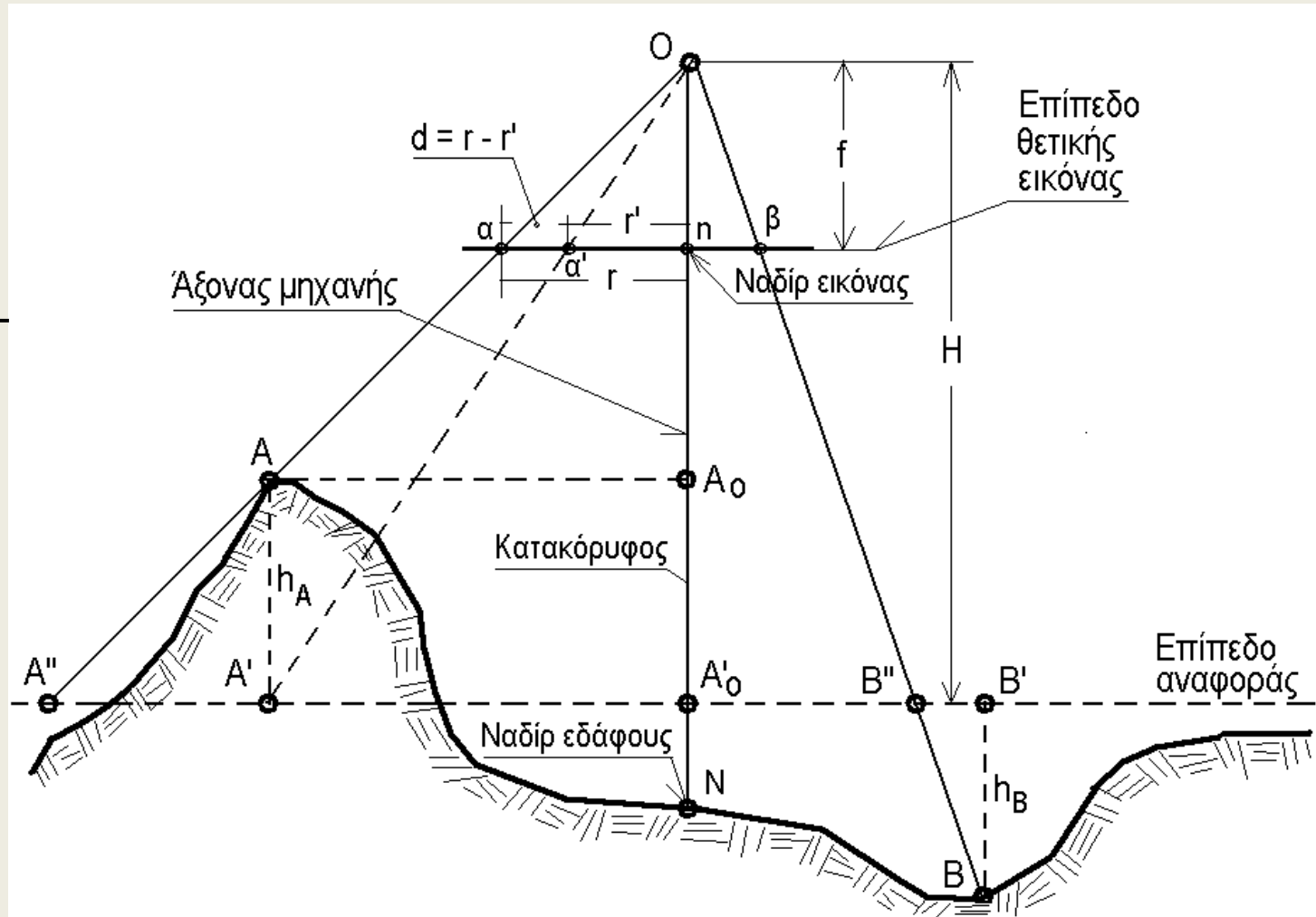
Γεωμετρία απλής Α/Φ

Κλίμακα

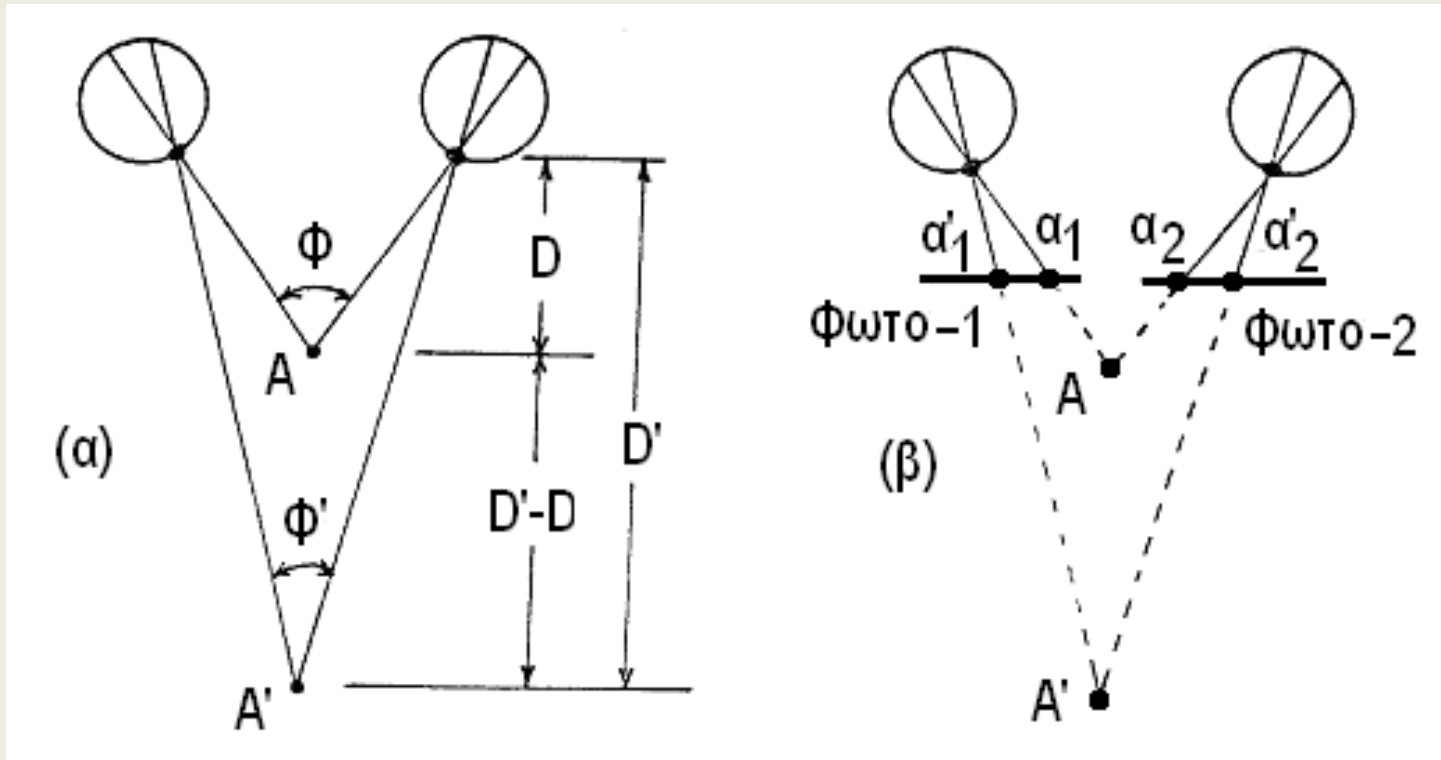
$$S_A = \frac{f}{H - h_A}$$

Μετατόπιση λόγω αναγλύφου

$$d = \frac{r h_A}{H}$$



Στερεόραση – στέρεο εικόνες



(α) είναι παρμένες από δύο διαφορετικούς σταθμούς λήψης

(β) έχουν επικάλυψη

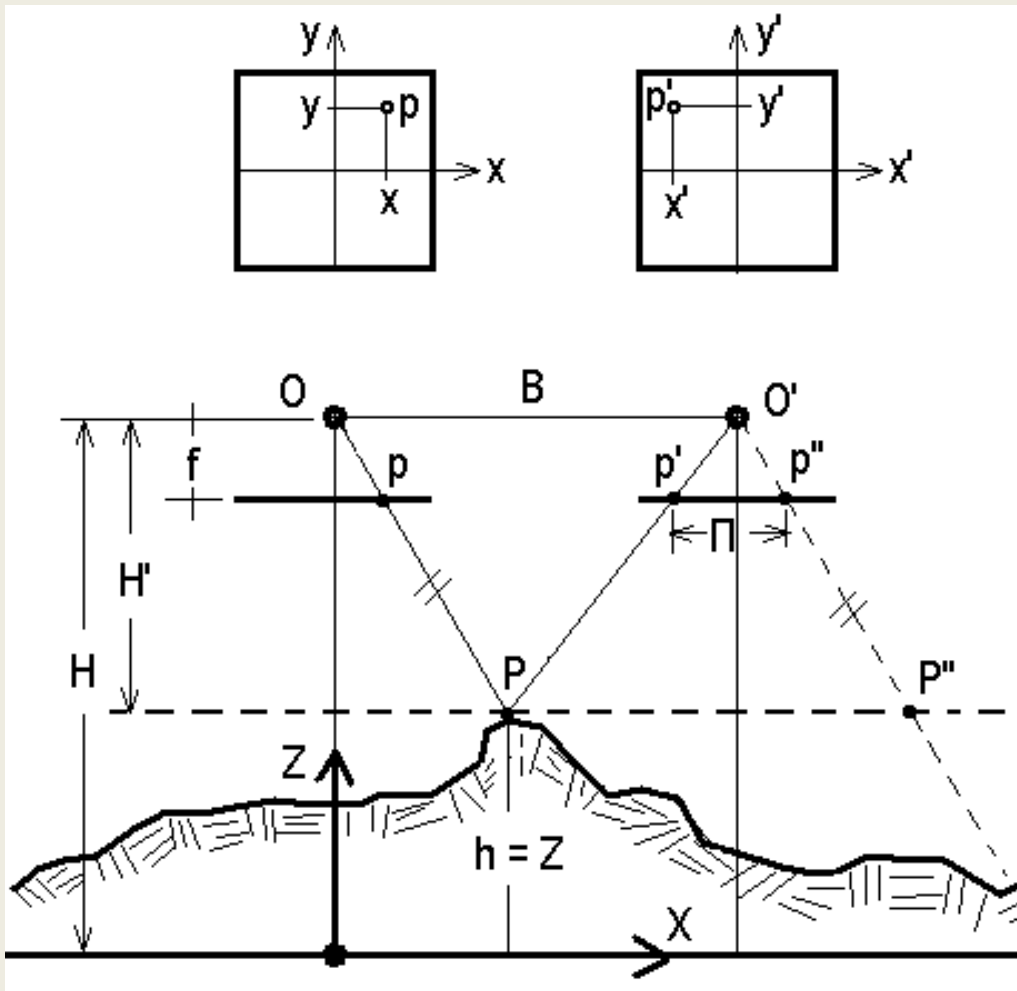
(γ) άξονες παράλληλοι και κάθετοι στη βάση

(δ) σταθερό αντικείμενο όταν κινείται η μηχανή

(ε) δύο συγχρονισμένες μηχανές με ταυτόχρονες εκθέσεις για κινούμενο αντικείμενο

Γεωμετρία στερεοζεύγους Α/Φ

$$\frac{x - x'}{B} = \frac{f}{H - h} \Rightarrow h = H - \frac{Bf}{x - x'} \Rightarrow h = H - \frac{Bf}{\Pi}$$



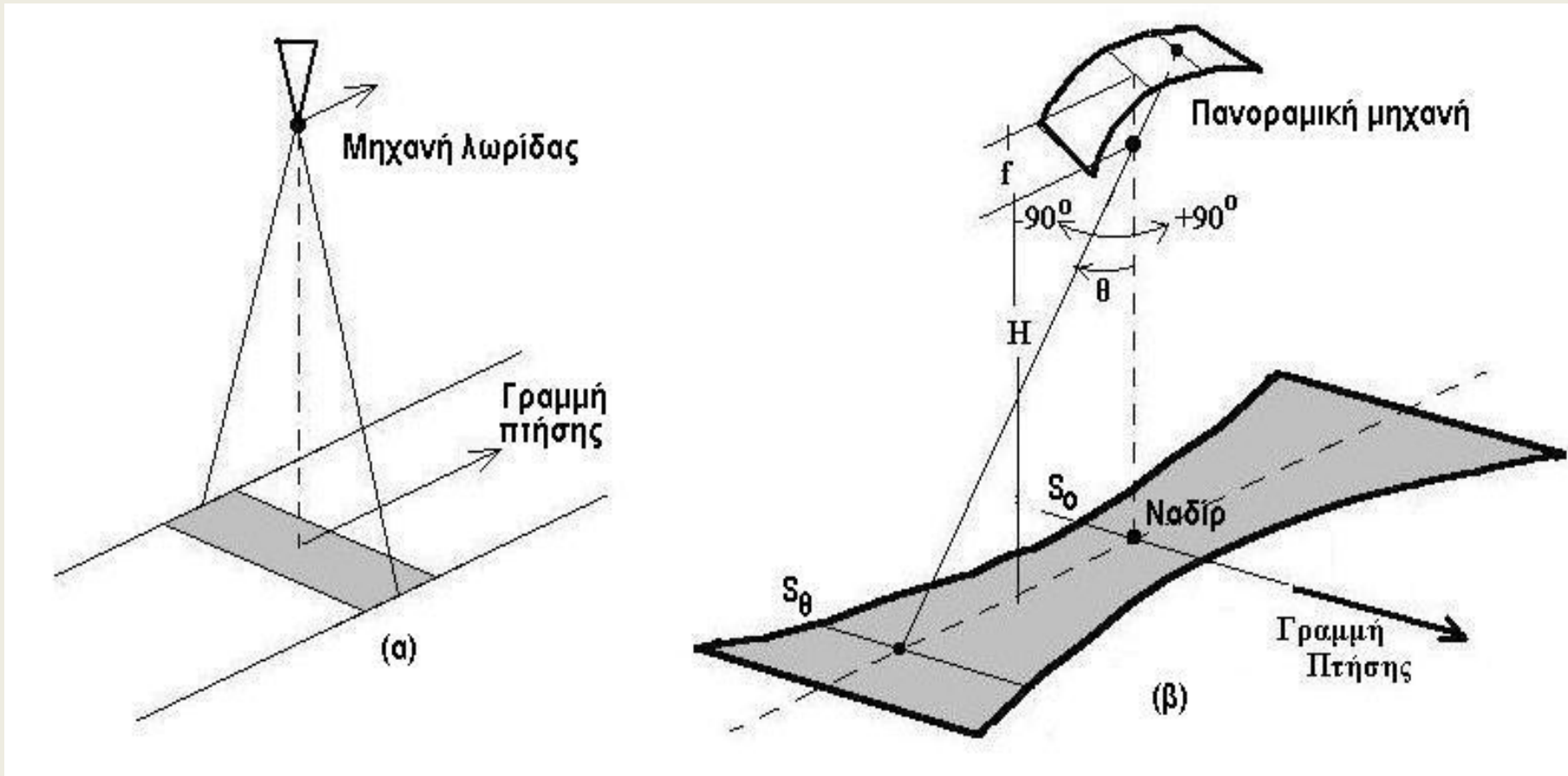
$$\frac{x}{X} = \frac{f}{H - h} \quad \eta$$

$$X = x \left(\frac{H - h}{f} \right) = \frac{x}{S}$$

$$\frac{y}{Y} = \frac{f}{H - h} \quad \eta$$

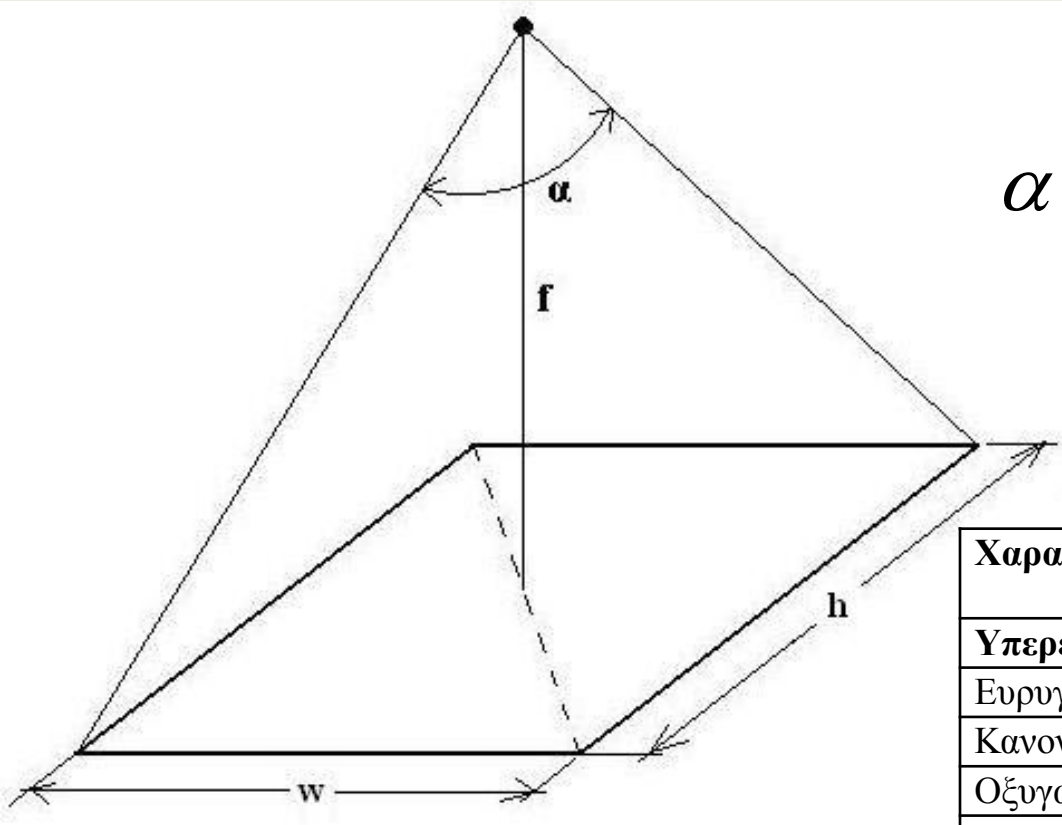
$$Y = y \left(\frac{H - h}{f} \right) = \frac{y}{S}$$

(α) Μηχανή συνεχούς λωρίδας, (β) Πανοραμική μηχανή



$$S_0 = \frac{f}{H}, \quad S_\theta = \frac{f}{H / \sigma\upsilon\nu(\theta)}$$

Γωνία πεδίου φακού μηχανής πλαisiού



$$\alpha = 2 \cdot \arctan \left(\frac{\sqrt{w^2 + h^2}}{2 \cdot f} \right)$$

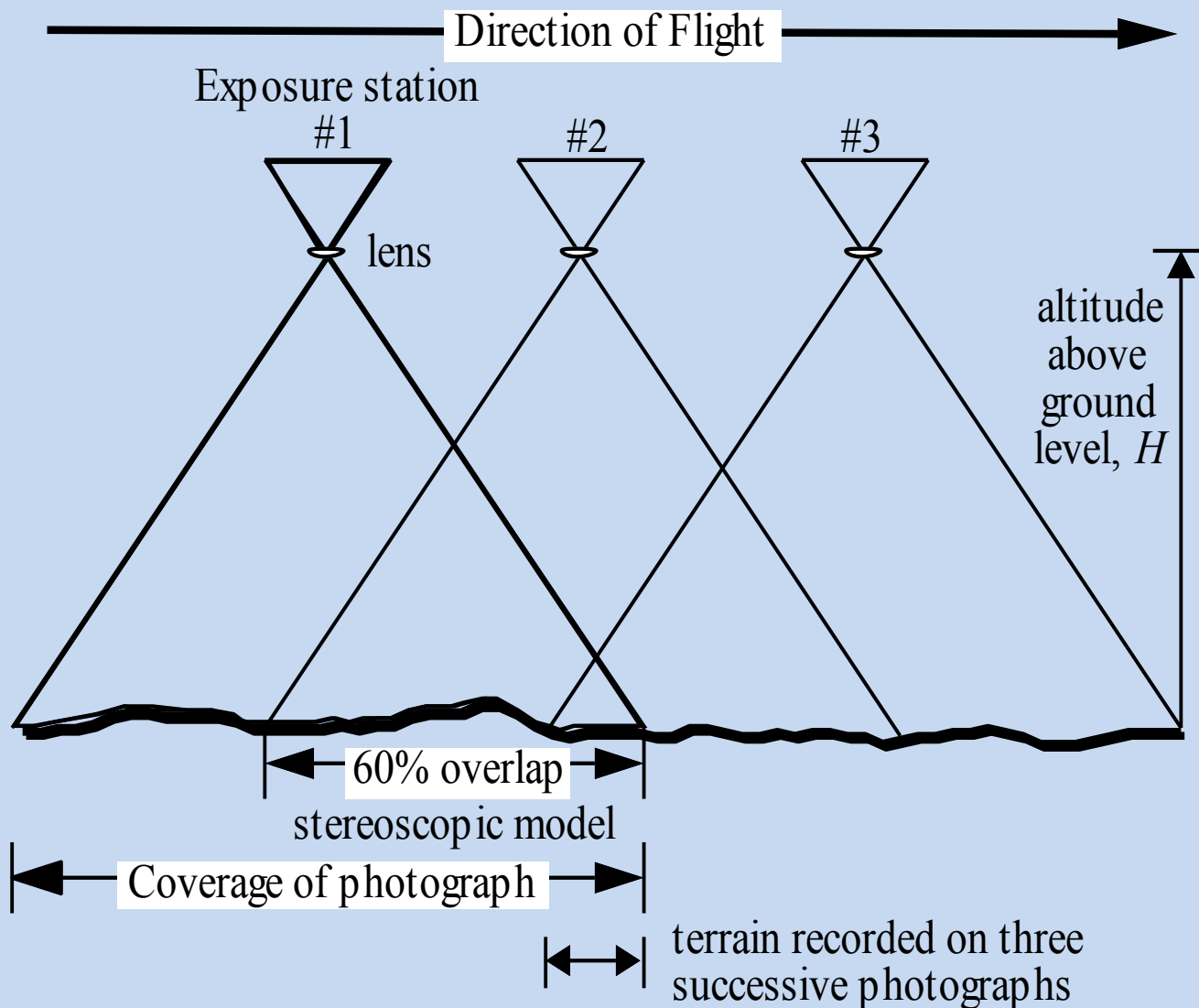
Χαρακτηρισμός	f [in]	f [mm]	Γων.πεδίου [μoίρες]
Υπερευγώνιος	3.25	82.55	126
Ευρυγώνιος	6	152.4	94
Κανονικός	8	203.2	77
Οξυγώνιος	12	304.8	56
Υπεροξυγώνιος	18	457.2	39
Υπερ-υπεροξυγώνιος	24	609.6	30

IMC (Image Motion Compensation)

Σε μοντέρνες μηχανές για αεροφωτογράφιση για να μην επηρεάζεται η λήψη από την κίνηση του αεροπλάνου, χρησιμοποιείται ειδικός μηχανισμός διόρθωσης της κίνησης του αεροπλάνου κατά τη διάρκεια της έκθεσης κινώντας συνήθως τη μηχανή με φορά αντίθετη αυτής του αεροπλάνου (σε άλλο σύστημα κινείται το φιλμ), ώστε το φιλμ να παραμένει φαινομενικά ακίνητο τη στιγμή της έκθεσης. Ο μηχανισμός αυτός ονομάζεται *IMC (Image Motion Compensation)*.

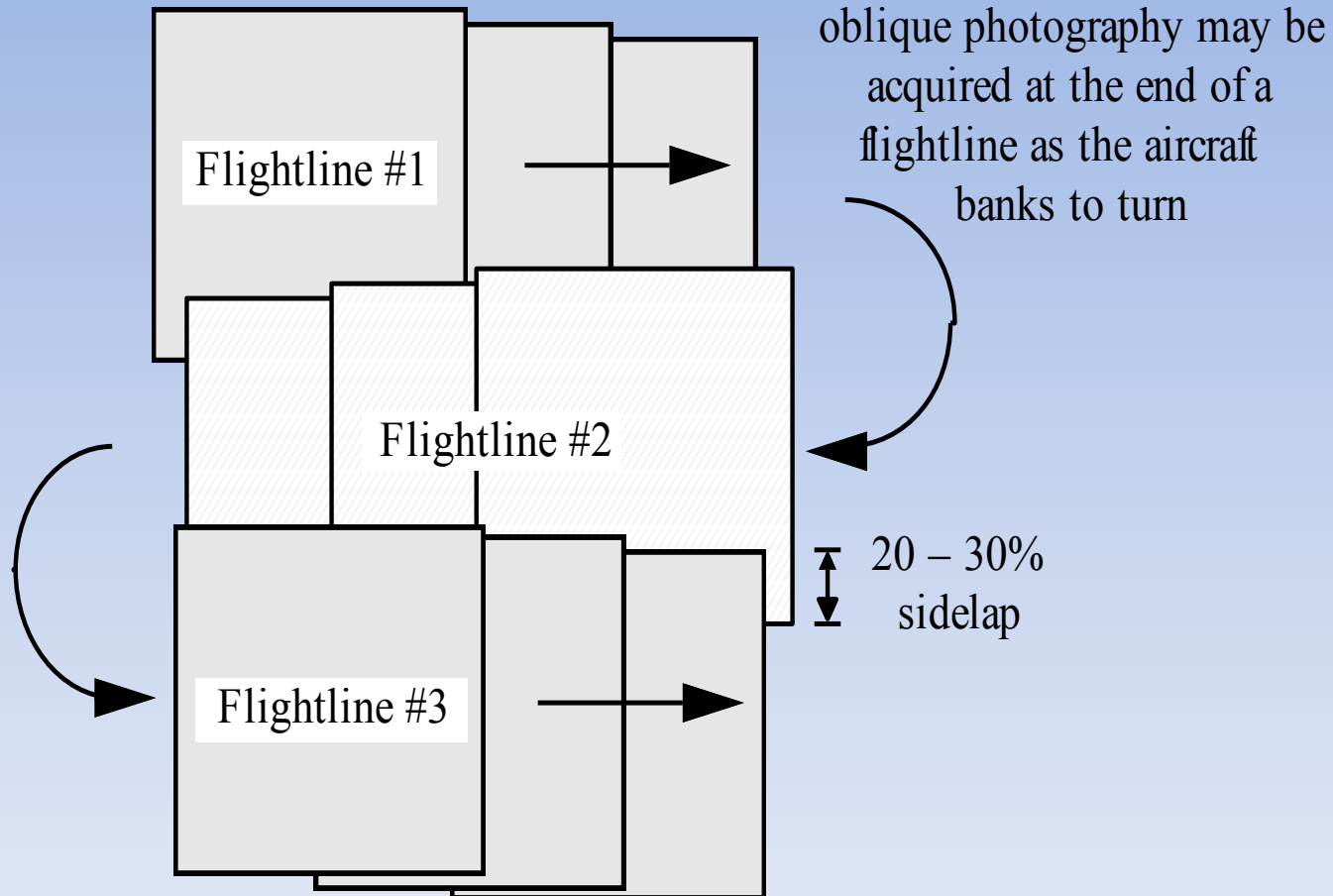
Γραμμή πτήσης για κατακόρυφη αεροφωτογραφία

Flightline of Aerial Photography

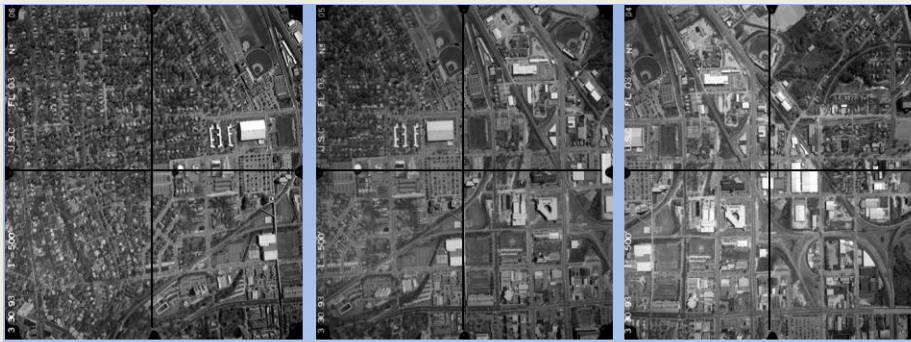


Μπλοκ με κατακόρυφες αεροφωτογραφίες

Block of Aerial Photography



Μπλοκ με κατακόρυφες αεροφωτογραφίες σε διάταξη μη ελεγχόμενου μωσαϊκού



3-4

3-5

3-6



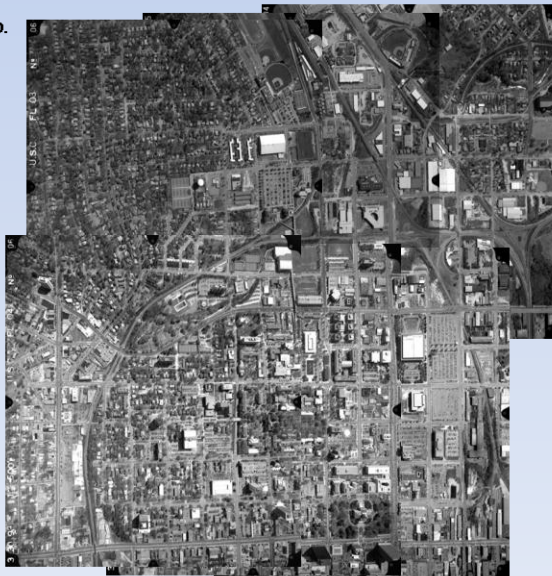
a

4-6

4-5

4-4

b.



**Block of
Aerial Photography
Compiled into
an Uncontrolled
Photomosaic**

Columbia, SC
Original scale = 1:6,000
Focal length = 6" (152.82
mm)
March 30, 1993

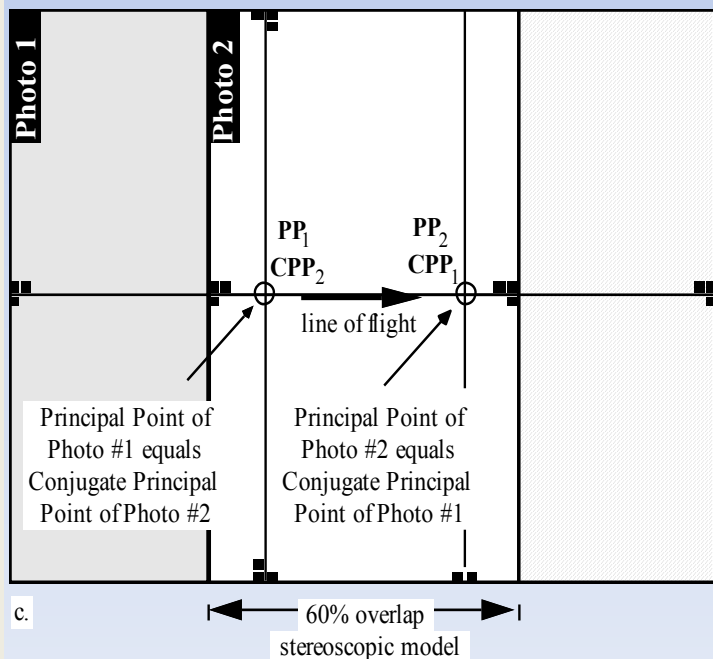
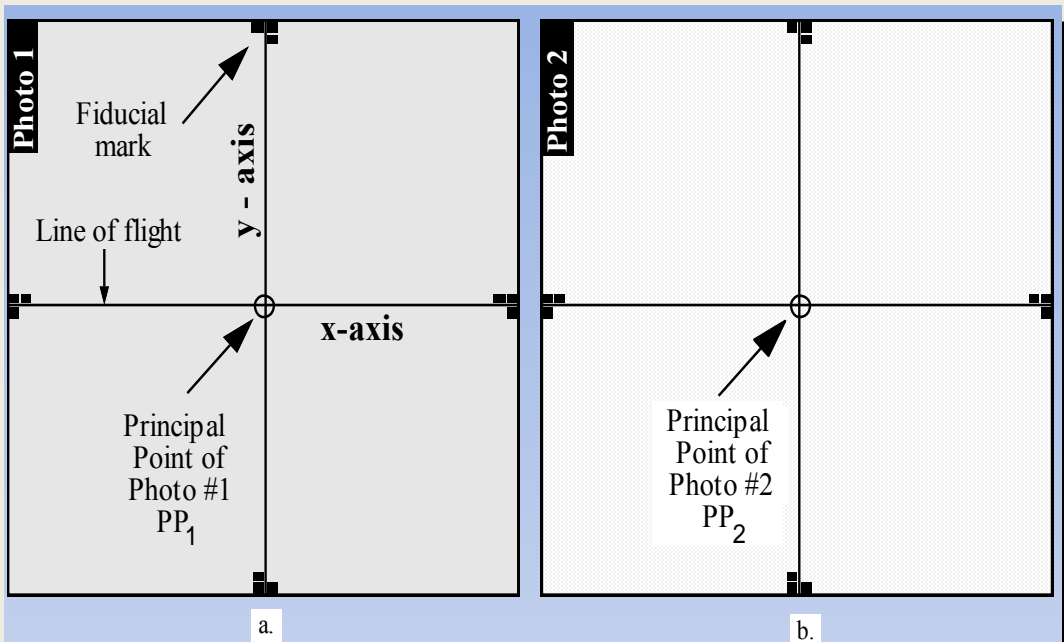


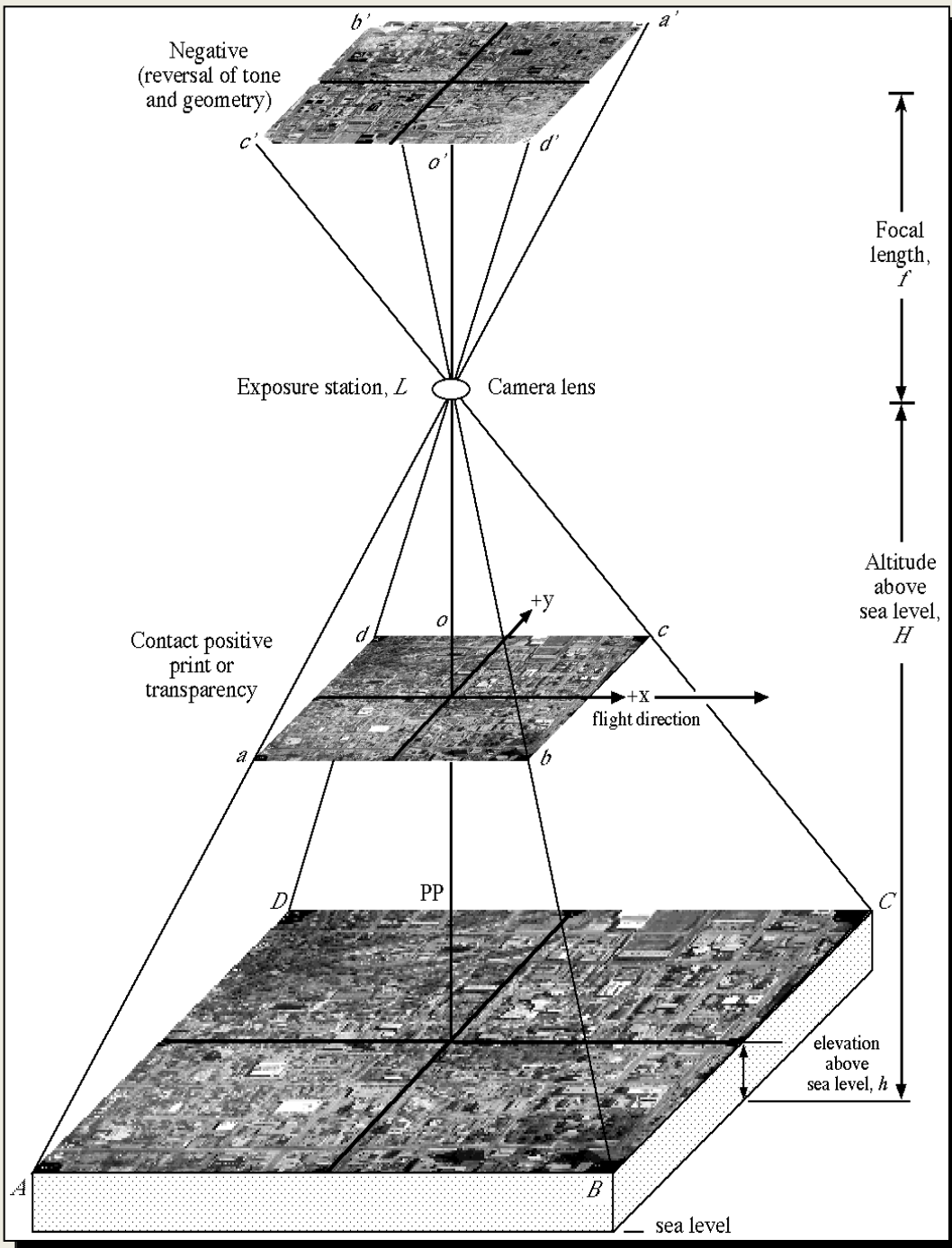
Γραμμή πτήσης 4 Φωτογραφία 5

Columbia, SC
Original scale = 1:6,000
Focal length = 6" (152.82
mm)
March 30, 1993

Γεωμετρία επικαλυπτόμενων κατακόρυφων αεροφωτογραφιών

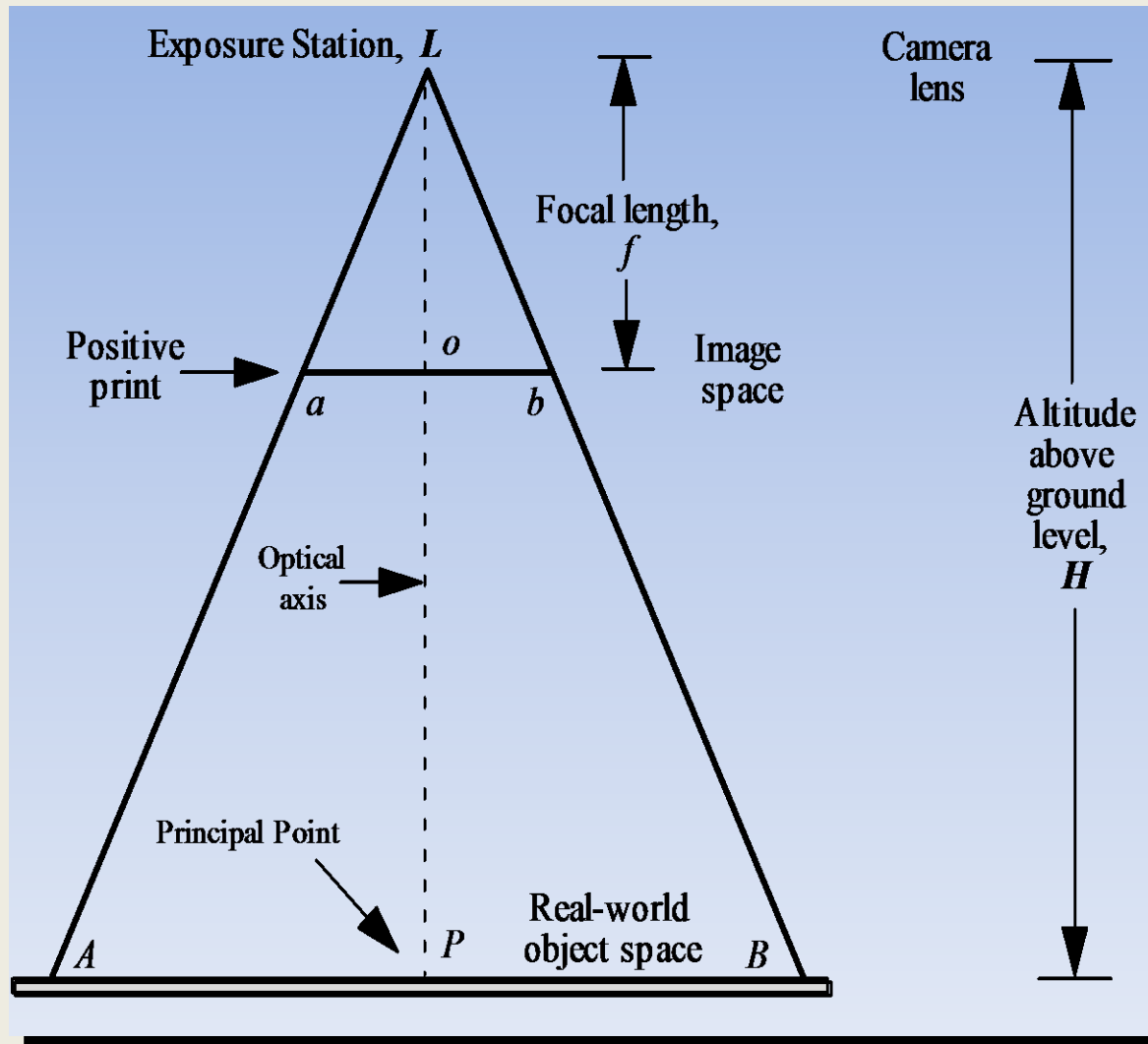
Πρωτεύοντα σημεία και τα
συζυγή τους

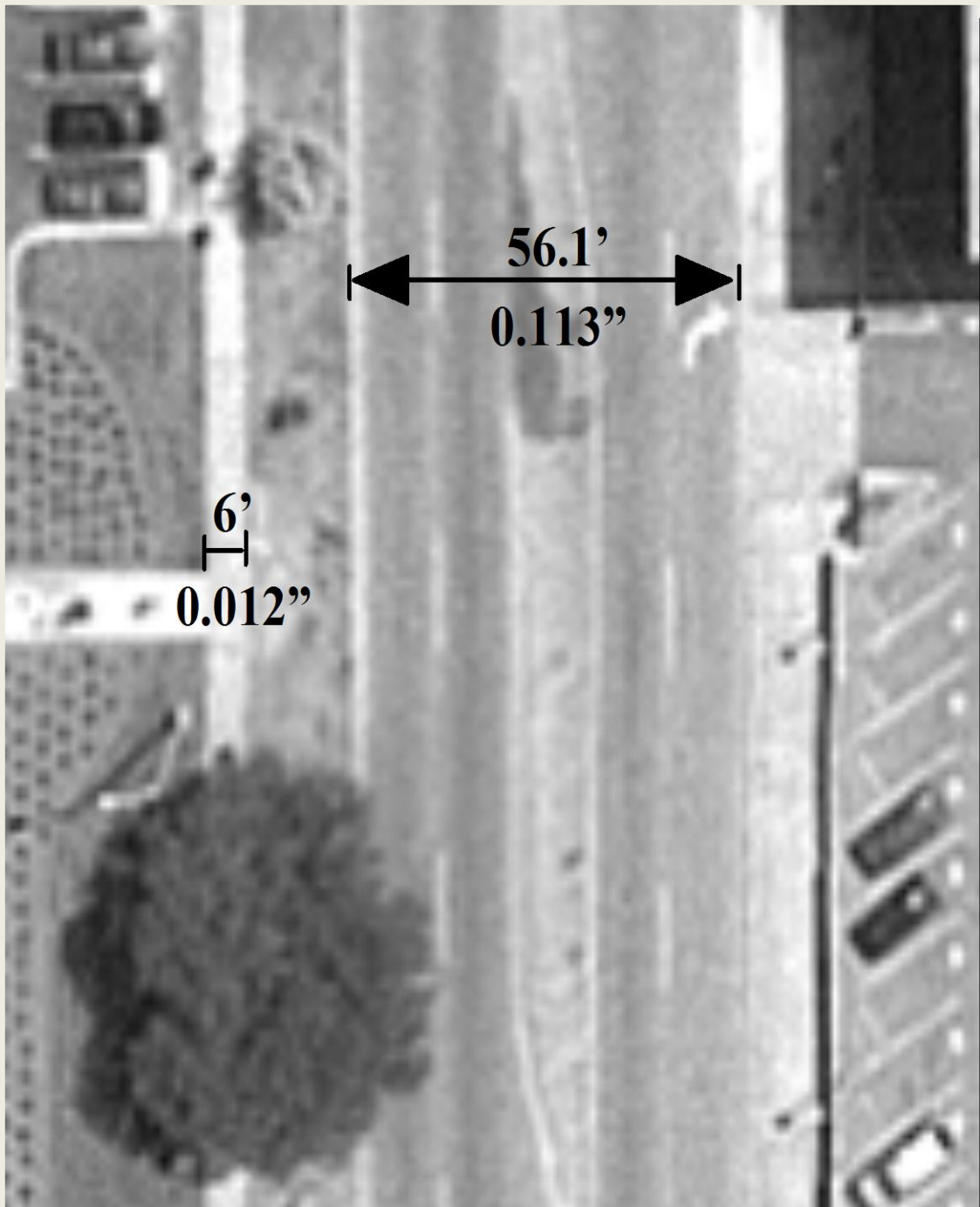




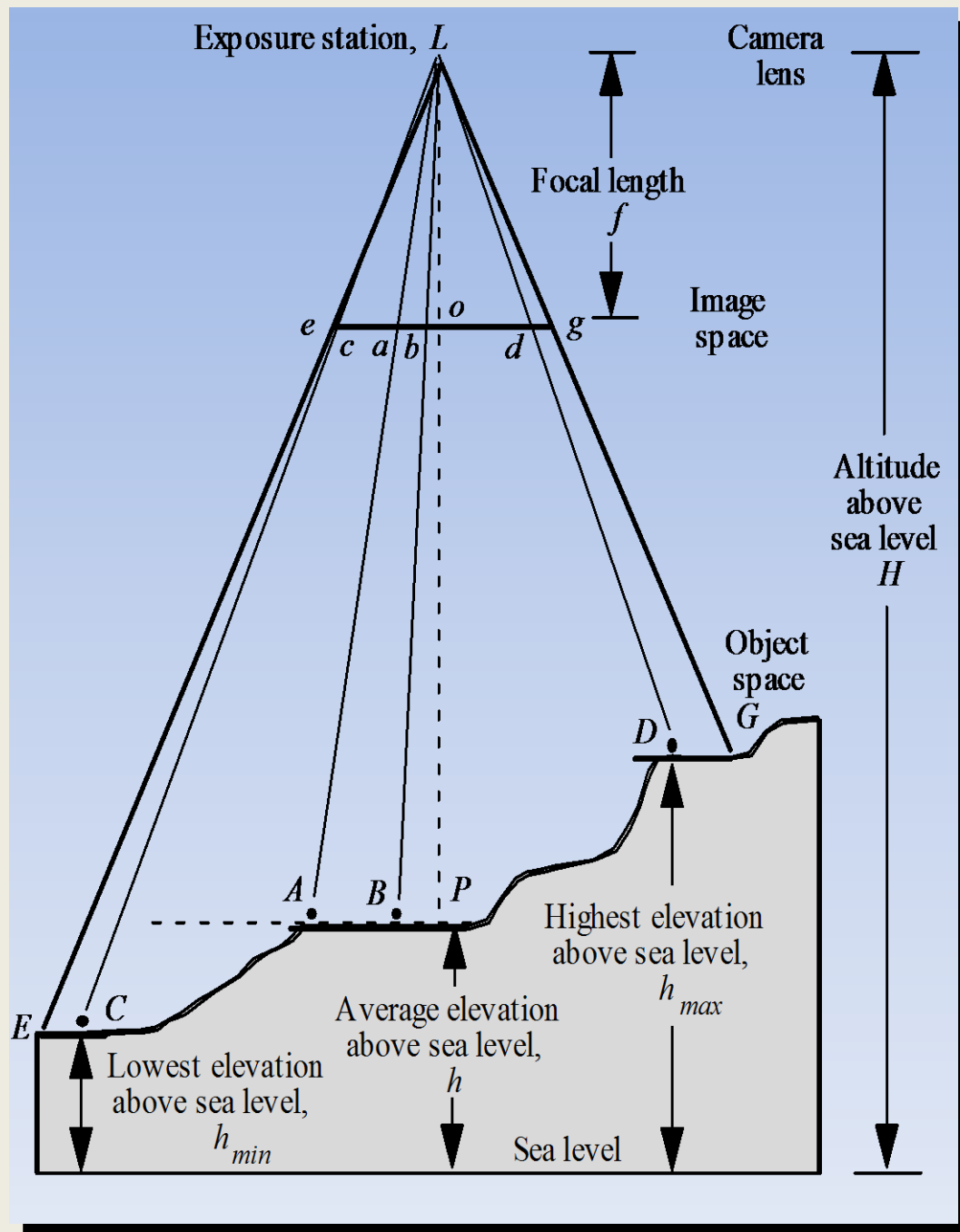
**Γεωμετρία
κατακόρυφης
αεροφωτογραφίας
παρμένης πάνω από
επίπεδο έδαφος**

Γεωμετρία κατακόρυφης αεροφωτογραφίας παρμένης πάνω από επίπεδο έδαφος





**Μεγέθυνση
μέρους της
Α/Φ 5 της
πτήσης 4**



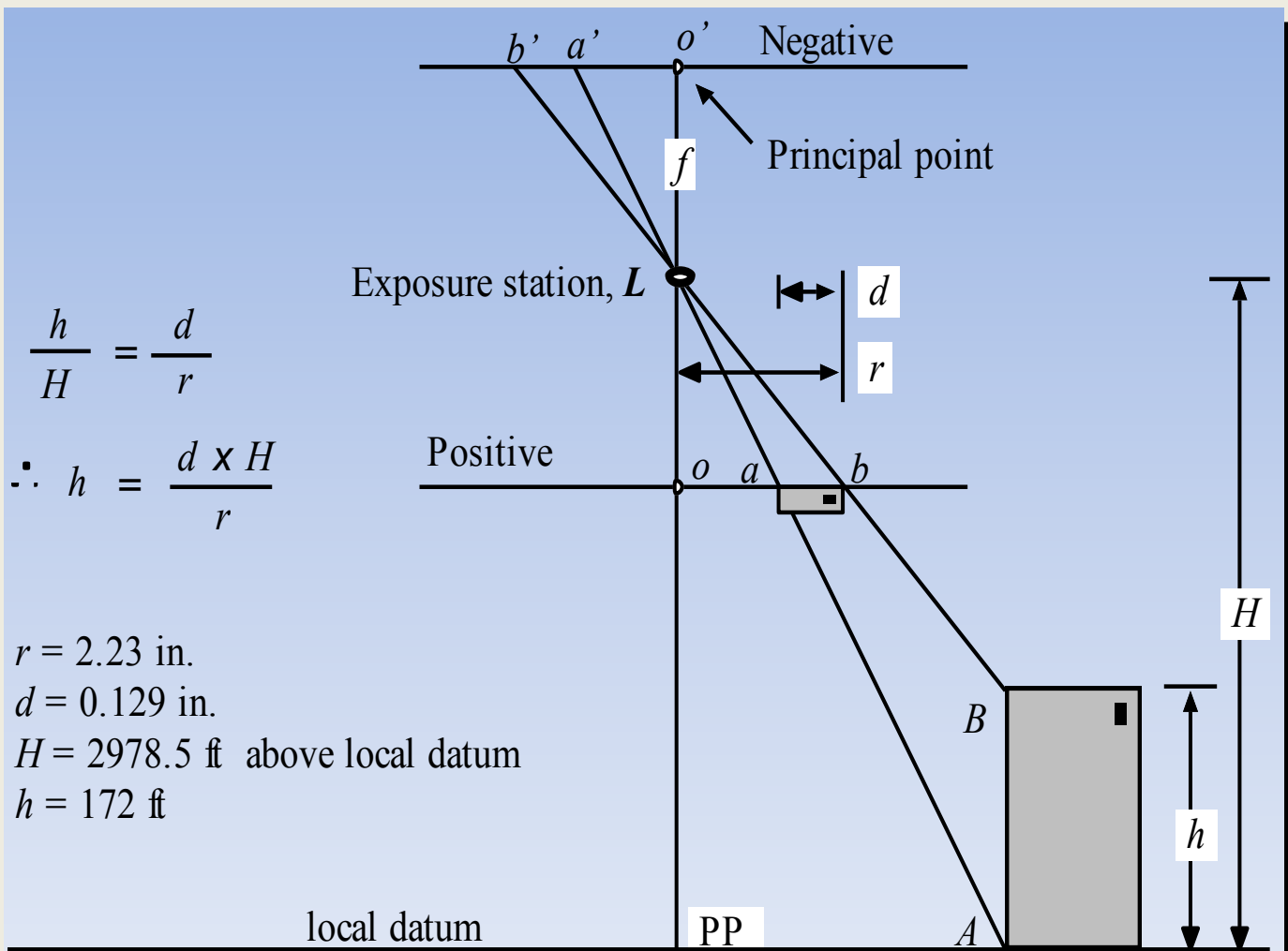
Γεωμετρία
κατακόρυφης
αεροφωτογραφίας
παρμένης πάνω
από έδαφος με
μεταβλητό
ανάγλυφο

Μέτρηση του ύψους αντικειμένου από μία αεροφωτογραφία με βάση τη μετατόπιση λόγω αναγλύφου



$$h = Hd/r$$

Μέτρηση του ύψους αντικειμένου από μία αεροφωτογραφία με βάση τη μετατόπιση λόγω αναγλύφου



$$\frac{h}{H} = \frac{d}{r}$$

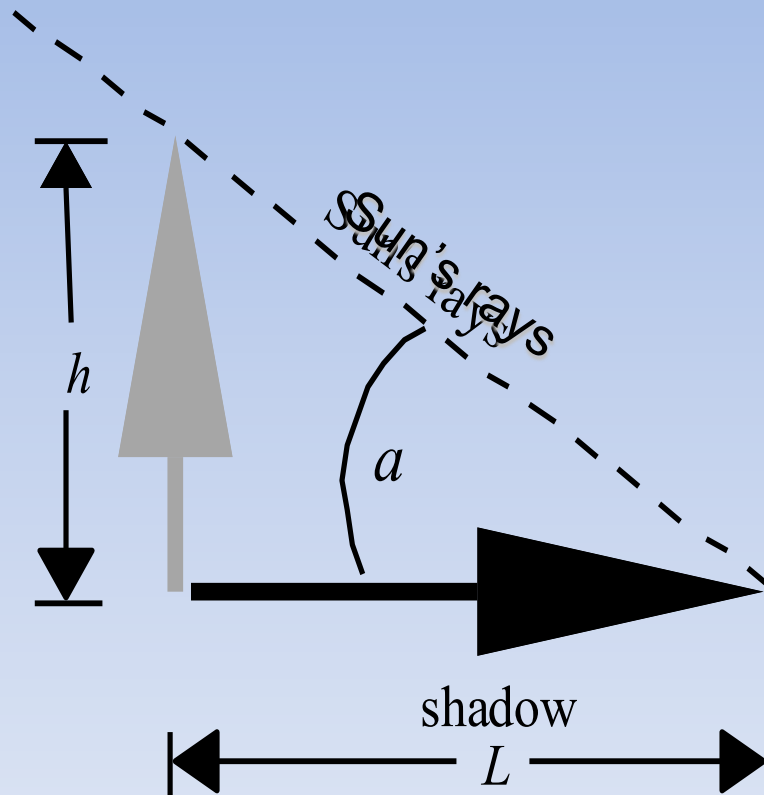
$$\therefore h = \frac{d \times H}{r}$$

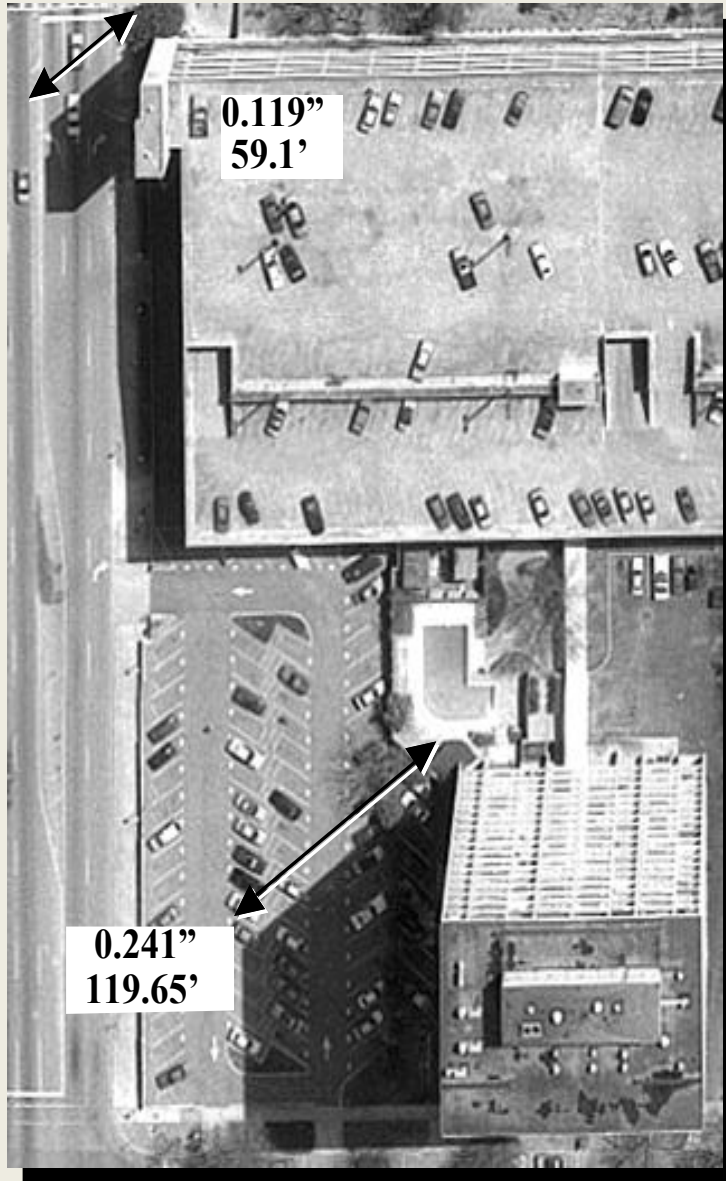
$r = 2.23$ in.
 $d = 0.129$ in.
 $H = 2978.5$ ft above local datum
 $h = 172$ ft

Μέτρηση του ύψους αντικειμένου από μία αεροφωτογραφία με βάση το μήκος της σκιάς σε επίπεδο έδαφος

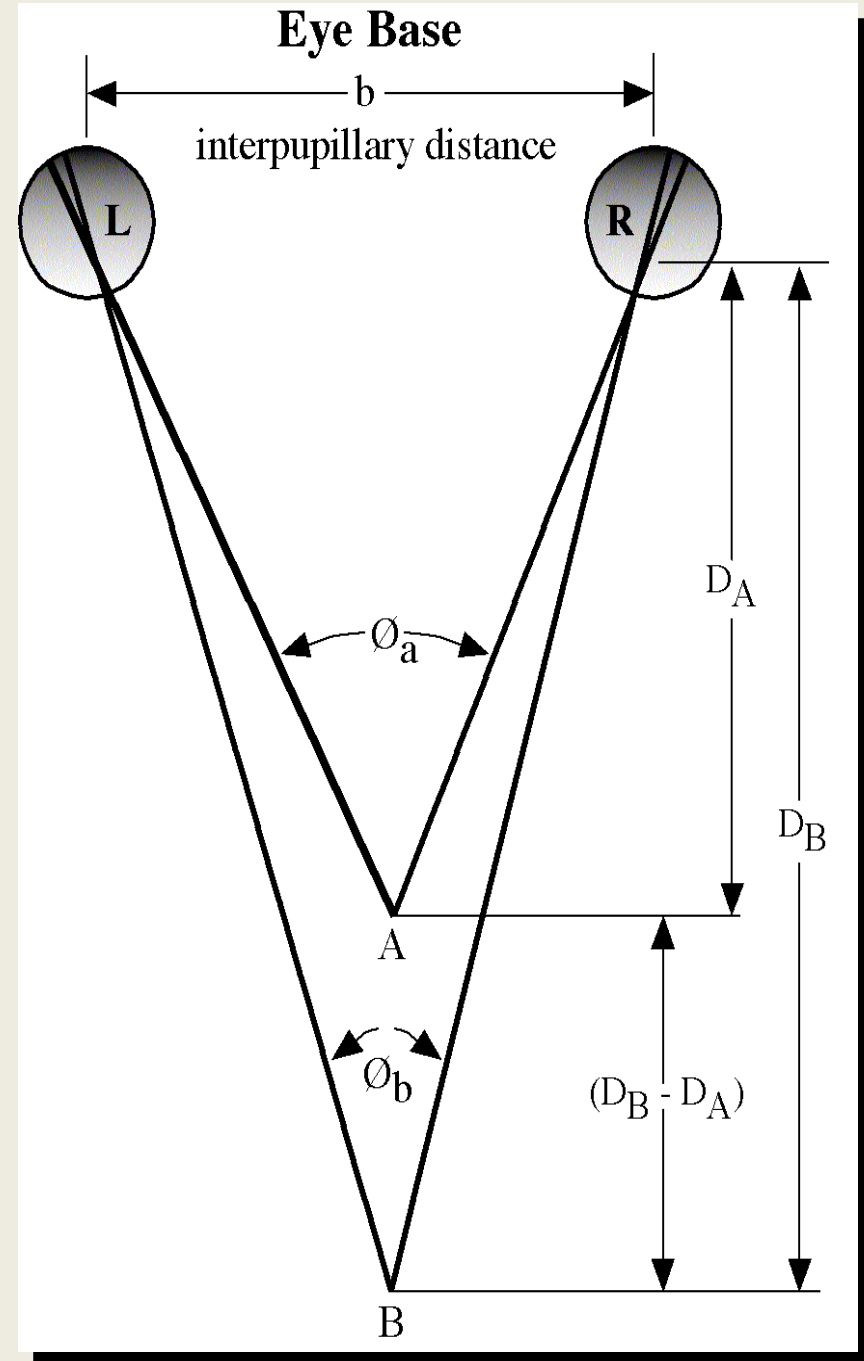
Measurement of the Height of Objects Based on Shadow Length

$$\begin{aligned} \tan a &= \frac{\text{opposite}}{\text{adjacent}} \\ &= \frac{\text{height, } h}{\text{shadow, } L} \\ h &= L \times \tan a \end{aligned}$$





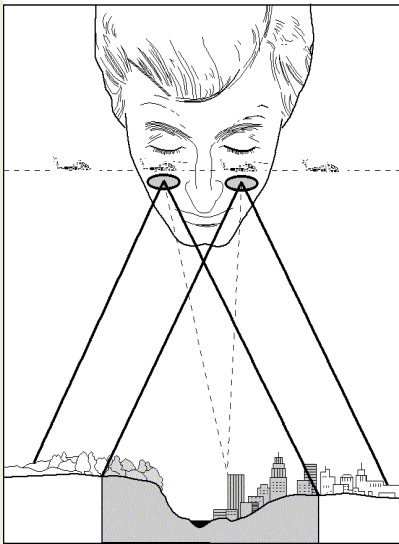
Ύψος αντικειμένου από τη σκιά του



Παραλλακτικές γωνίες για την αίσθηση του βάθους

Μέθοδοι στερεοσκοπικής όρασης

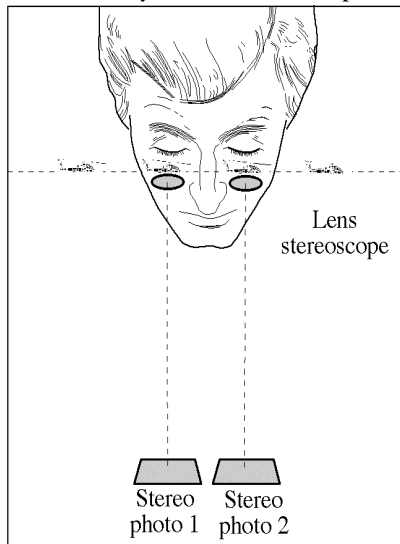
Stereoscopic Viewing Based on Parallel Eyes and a Stereoscope



→ Stereoscopic model ←

a.

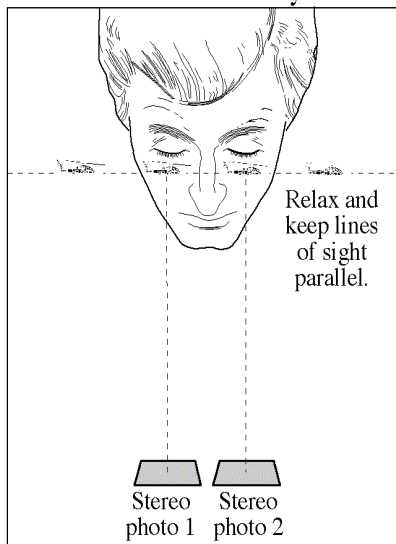
Stereoscopic Viewing Based on Parallel Eyes



Lens stereoscope

Stereo photo 1 Stereo photo 2

b.

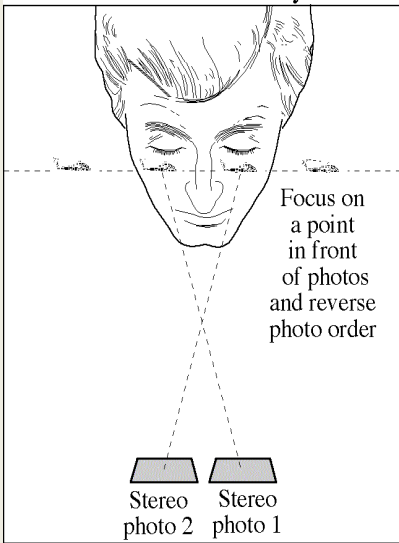


Relax and keep lines of sight parallel.

Stereo photo 1 Stereo photo 2

c.

Stereoscopic Viewing Based on Crossed Eyes



Focus on a point in front of photos and reverse photo order

Stereo photo 2 Stereo photo 1

d.

Stereoscope



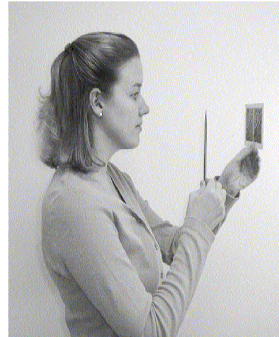
e.

Parallel Eyes



f.

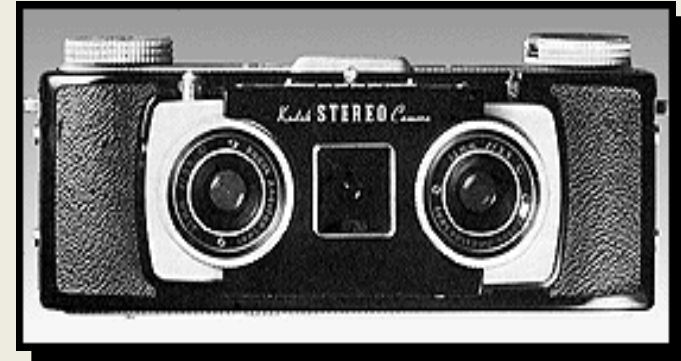
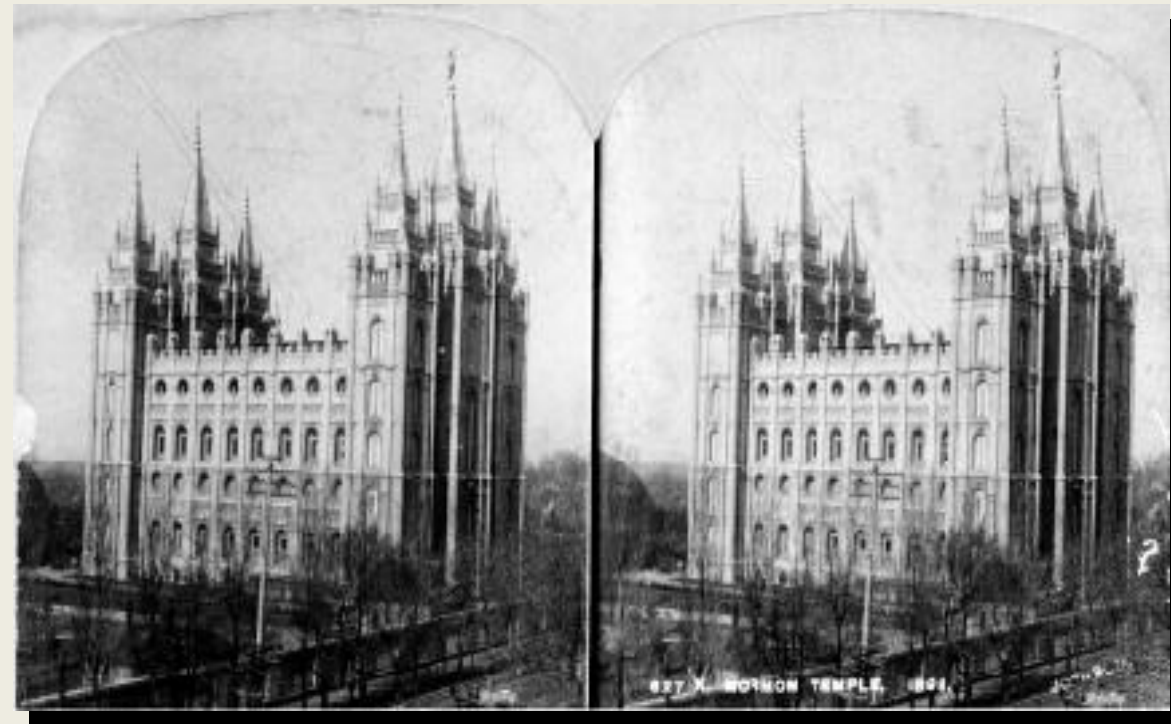
Crossed Eyes



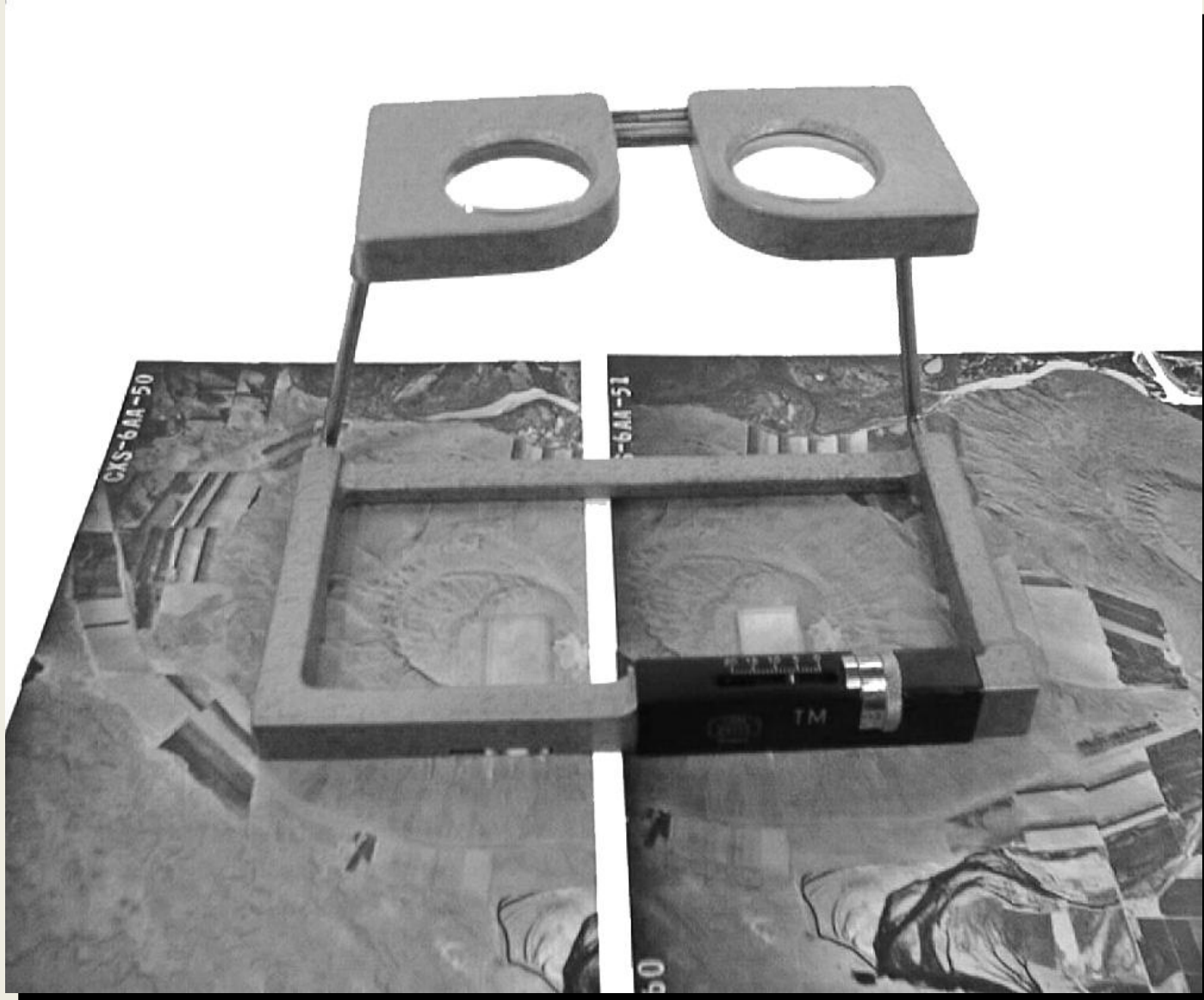
g.

Επίγειο στερεόγραμμα

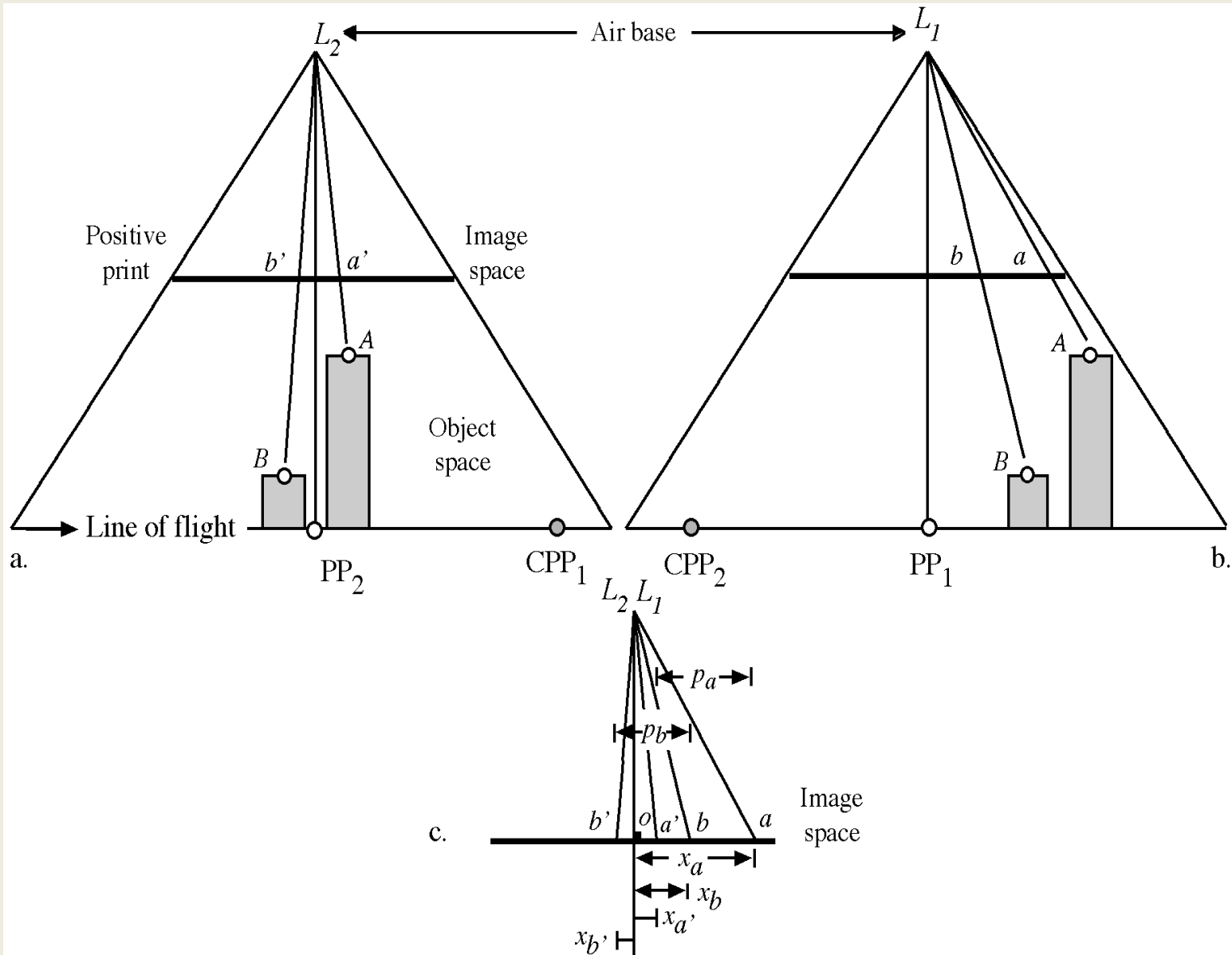
Στερεο - μηχανή



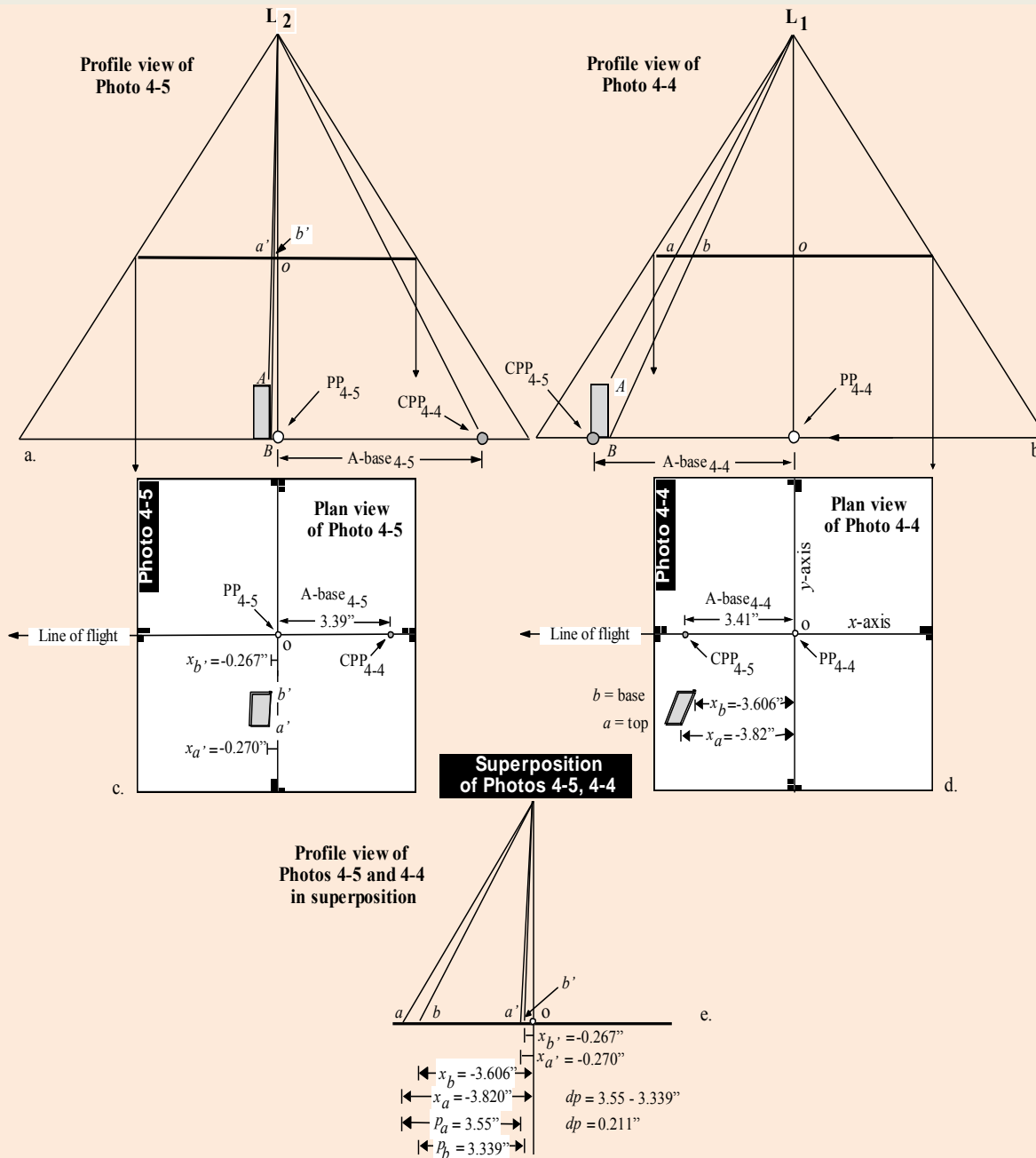
Στερεοσκοπικοί φακοί με μπάρα παράλλαξης



Αρχές στερεοσκοπικής παράλλαξης



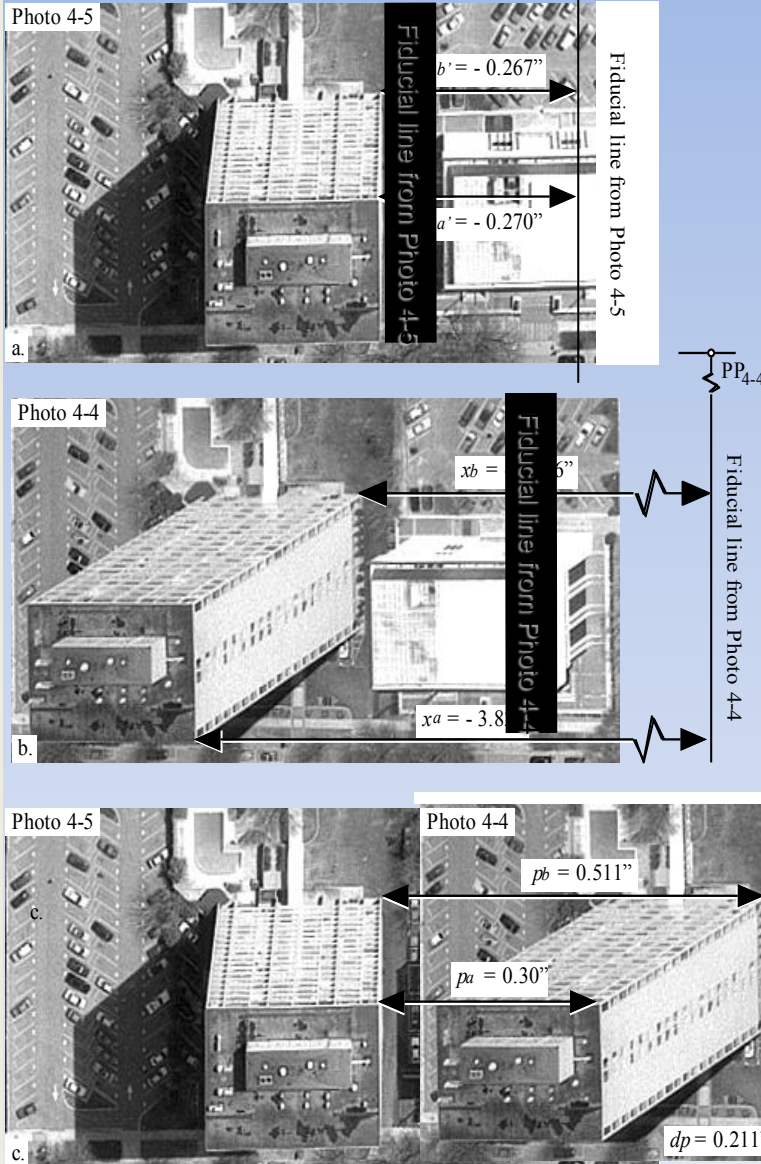
Υπολογισμός του ύψους κτιρίου από τις μετρήσεις της στερεοσκοπικής παράλλαξης



Jensen, 2000

**Methods of Measuring
Stereoscopic x-parallax from
Overlapping Aerial Photographs:**

- Measurement Using Fiducial Lines (a,b)
- Measurement Based on Superposition (c)



**Υπολογισμός του
ύψους κτιρίου από
τις μετρήσεις της
στερεοσκοπικής
παράλλαξης**

Δύο SLR μηχανές υψηλής ανάλυσης (περίπου ισοδύναμες \$3000)



Pixel Pitch: 4.9 μm
Pixel Array: 7360 x 4912
Sensor Size: 35.9 x 24 mm
Number of pixels: 36 MP



Pixel Pitch: 6.25 μm
Pixel Array: 5760 x 3840
Sensor Size: 36 x 24 mm
Number of pixels: 22.3 MP

Μωσαϊκοποίηση - Απομωσαϊκοποίηση

G_{11}	R_{12}	G_{13}	R_{14}	G_{15}	R_{16}	G_{17}
B_{21}	G_{22}	B_{23}	G_{24}	B_{25}	G_{26}	B_{27}
G_{31}	R_{32}	G_{33}	R_{34}	G_{35}	R_{36}	G_{37}
B_{41}	G_{42}	B_{43}	G_{44}	B_{45}	G_{46}	B_{47}
G_{51}	R_{52}	G_{53}	R_{54}	G_{55}	R_{56}	G_{57}
B_{61}	G_{62}	B_{63}	G_{64}	B_{65}	G_{66}	B_{67}
G_{71}	R_{72}	G_{73}	R_{74}	G_{75}	R_{76}	G_{77}

Π. χ. Bilinear Interpolation (BI)
 $G_{4,3} = (G_{3,3} + G_{4,4} + G_{5,3} + G_{4,2})/4$
 $R_{4,3} = (R_{3,2} + R_{3,4} + R_{5,4} + R_{5,2})/4$
 Πηγή: Χαραλαμπίδης 2008

R_{11}	G_{12}	R_{13}	G_{14}	R_{15}	G_{16}
G_{21}	B_{22}	G_{23}	B_{24}	G_{25}	B_{26}
R_{31}	G_{32}	R_{33}	G_{34}	R_{35}	G_{36}
G_{41}	B_{42}	G_{43}	B_{44}	G_{45}	B_{46}
R_{51}	G_{52}	R_{53}	G_{54}	R_{55}	G_{56}
G_{61}	B_{62}	G_{63}	B_{64}	G_{65}	B_{66}

Μη επανδρωμένα αεροπλάνα (UAS)

- Σκηπτροβάμων → Δημ. Στεφανάκης Υποψήφιος διδάκτορας

Χαρακτηριστικά:

- Άνοιγμα φτερών: 2 μέτρα
- Μήκος Ατράκτου: 1,35 μέτρα
- Βάρος χωρίς φορτίο: 1200γρ.
- Δυνατότητα φορτίου: 1300 γρ.
- Ακτίνα δράσης: 20χλμ
- Μέγιστη Ταχύτητα εδάφους: 90χλμ/ω
- Μέγιστη διάρκεια αποστολής/φόρτιση: 40 λεπτά
- Απογείωση: από το χέρι του χειριστή
- Προσγείωση: σε διάδρομο ή με αλεξίπτωτο, αυτόνομα ή χειροκίνητα
- Απαιτούμενοι χειριστές: 2
- Μέγιστη ταχύτητα ανέμου αυτόνομης πτήσης 12m/s – 6 Μποφόρ



Εξοπλισμός

A. Αυτόματος πιλότος

- Επεξεργαστές Arm32, Atmel 32, AtMEGA 2560
- Διπλό Regulator 3.3V. για αναλογικούς αισθητήρες
- Ρελέ διακόπτη για κάμερες ή ωφέλιμα φορτία
- 12-bit ADC για την καλύτερη ανάλυση Gyro / Acceleration / ταχύτητας αέρος.
- Built-in Data Logger 128MB με επέκταση καρτών 4GB (το μαύρο κουτί).
- Γυροσκόπιο InvenSense με αντίσταση δόνησης (Τριών αξόνων).
- Αναλογικό ADX330 επιταχυνσιόμετρο (Τριών αξόνων).
- Αισθητήρας ταχύτητας του αέρα.
- Αισθητήρας Απόλυτης πίεσης Bosch και θερμοκρασίας για ακριβές υψόμετρο
- Έλεγχος και σταθεροποίηση συστήματος βάσης κάμερας (Δύο Αξόνων)
- GPS uBlox 5 chip-set με Saratel helix antenna ταχύτητας 10Hz για απρόσκοπτη επικοινωνία ακόμη και στις πιο δύσβατες περιοχές

B. Καταγραφή

- Κινούμενη Κάμερα ανάλυσης (4000X3000 Pixel) 14mp- 5,43εκ/pixel επι του εδάφους (100μ Πτήσης) με καταγραφή 5 καναλιών (R, G, B , NIR, MIR) στα 0.63 - 0.69, 0.52 - 0.60, 0.45 - 0.52, 0.76 - 0.90 & 1.55 - 1.75 μικρόμετρα αντίστοιχα για καταγραφή βλάστησης και φασματικής υπογραφής δομικών υλικών και δυνατότητα άμεσης εξαγωγής δεικτών βλάστησης.
- 2 σταθερές A/M κάμερες ανάλυσης (1240*760 Pixel) 1mp για εξαγωγή DEM με επικάλυψη 50% προς κάθε κατεύθυνση
- Σταθερή έγχρωμη κάμερα ανάλυσης (640X480 Pixel) 0,3 mp εμπρόσθια κάμερα για καταγραφή πτήσης και εντοπισμό στόχου
- Αισθητήρας σχετικής υγρασίας, θερμοκρασίας, ηλιοφάνειας
- Αισθητήρας LIDAR (Light Detection And Ranging) Hokuyo URG-04LX-UG01 ανάλυσης $\pm 30\text{mm}$.
- Αισθητήρας Optical flow ADNS3080, για οδομετρία και αποφυγή εμποδίων

Γ. Επικοινωνία

- Πλήρης έλεγχος, τηλεμετρία και παραμετροποίηση πτήσης με ασύρματη επικοινωνία σε πραγματικό χρόνο εμβέλειας έως 5000μ σε δασικό ή αστικό περιβάλλον με πρωτόκολλο mavlink.
- Απευθείας αναλογική μετάδοση εικόνας και ήχου από την εμπρόσθια κάμερα με ασύρματη εκπομπή και λήψη στα 5.8ghz.



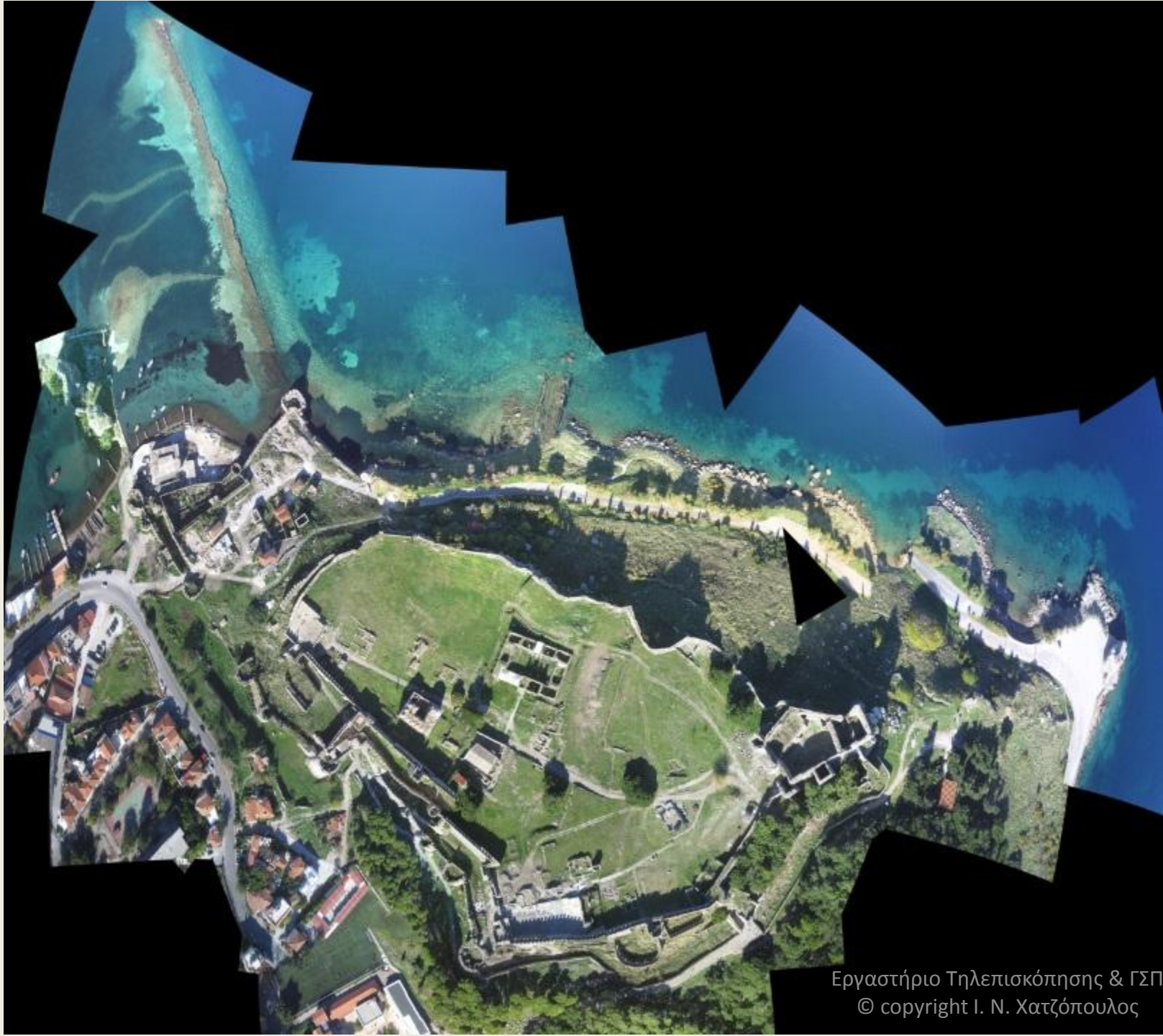
Σύστημα εδάφους εξοπλισμένο με:

- Αναλογικό Δέκτη και μετατροπέα A/V στα 5.8ghz
- Ψηφιακό πομποδέκτη μεταγωγής 56Kbps
- Φορητό υπολογιστή
- Αδιάβροχη θήκη



Λογισμικό:

- Σύστημα τηλεμετρίας – ελέγχου ανοικτού κώδικα με πρωτόκολλο MavLink και παρακολούθηση της πτήσης στα υπόβαθρα της Κτηματολόγιο Α.Ε μέσω του WMS Server.
- Πρόγραμμα Εξαγωγής συντεταγμένων σε πρωτόκολλο NMEA sentences για άμεση γεωαναφορά στο πεδίο
- Άμεση δημιουργία πολυγώνων φωτοληψιών σε γλώσσα Autolisp και εξαγωγή σε μορφή αρχείο τύπου AutoCAD DXF έκδοσης 2000, μορφής ASCII και μορφής πολυγωνικού GML για πλήρη συμβατότητα με το Εθνικό Κτηματολόγιο
- Άμεση ταυτοποίηση σημείων ελέγχου εδάφους με τα υπόβαθρα της Κτηματολόγιο Α.Ε και σημείων φωτοληψιών σε επίπεδο pixel.
- Άμεση ταυτοποίηση φασματικής υπογραφής για πάνω από 2000 φυτικά είδη και 1500 υλικά δόμησης με τη μέθοδο μέγιστης ομοιότητας
- Αναζήτηση φασματικής υπογραφής και θερμικής ένδειξης για αποστολές έρευνας και διάσωσης
- Προσομοίωση δυναμικών βλάστησης και υπολογισμός βιομάζας μέσω λογισμικού ανοικτού κώδικα GIS.



Σύστημα εδάφους - Κονσόλα



Τετρακόπτερο (Quadcopter) για αεροφωτογράφιση

