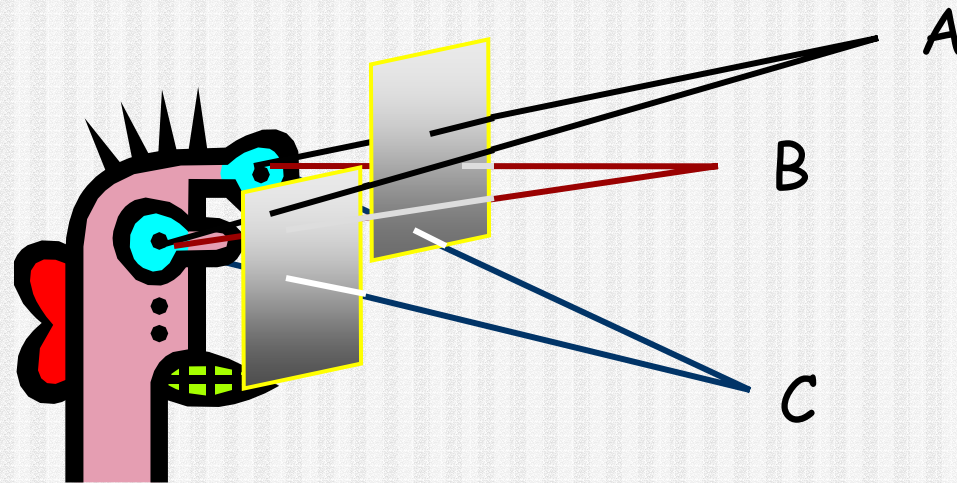


Στην ουσία η Φωτογραμμετρία:



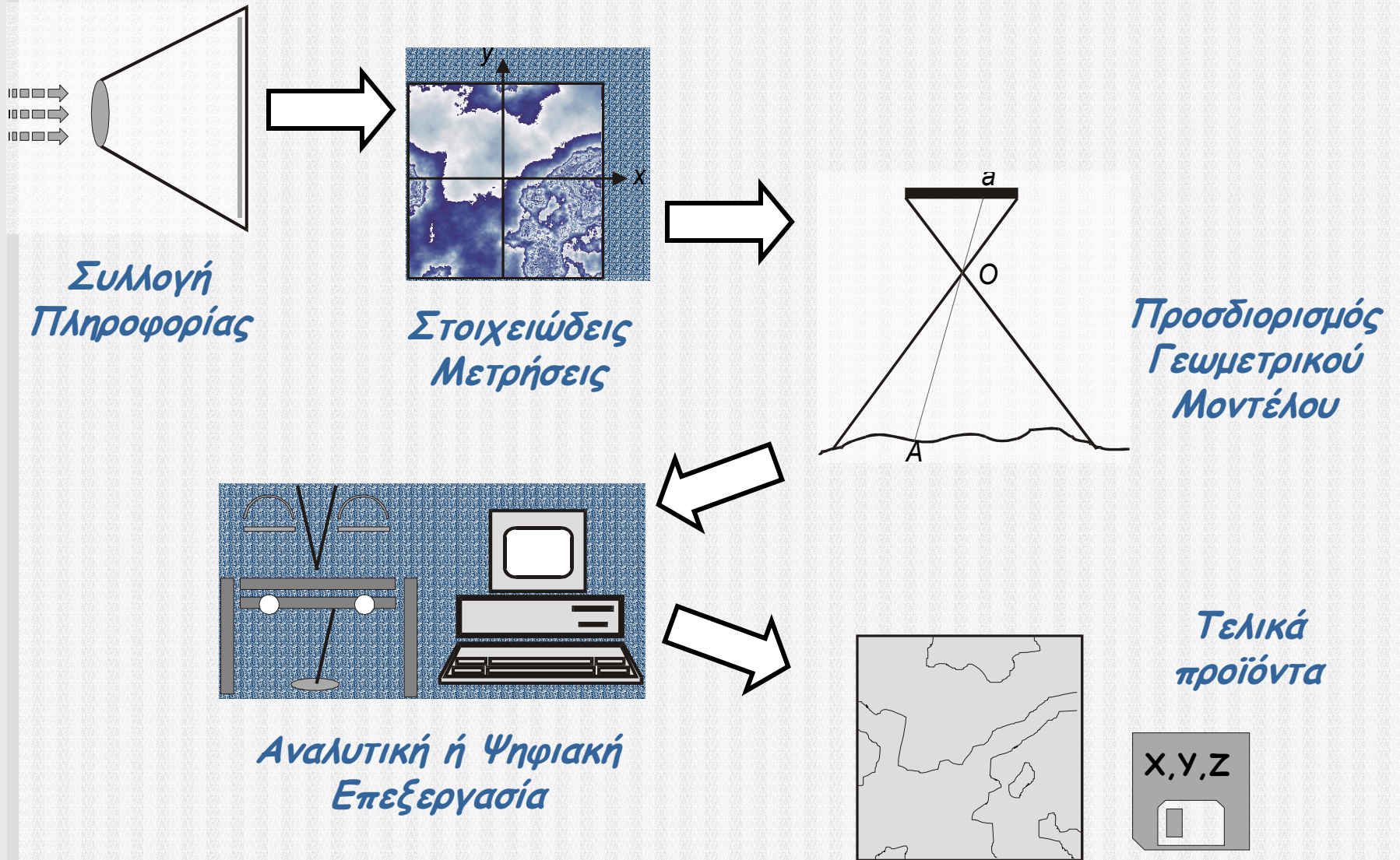
Επεξήγηση Μηχανισμού

- Προσομοίωση της ανθρώπινης όρασης



- Μαθηματική - γεωμετρική περιγραφή ενός φυσικού φαινομένου

Η Φωτογραμμετρική Διαδικασία



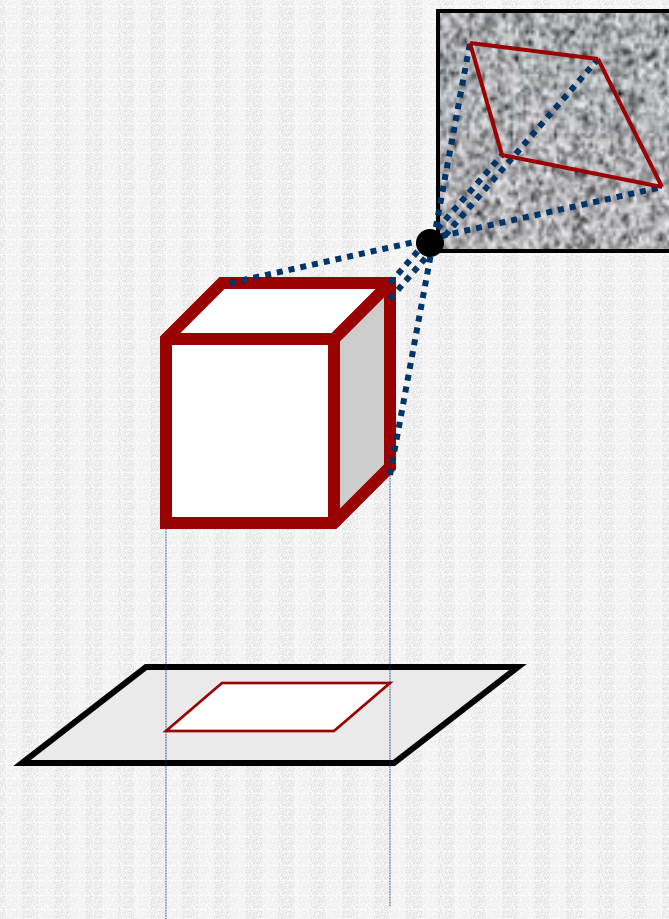
Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας

Μια εικόνα είναι:

- Κεντρική Προβολή
- 2D προβολή του 3D χώρου

Το επιθυμητό τελικό προϊόν πρέπει να είναι:

- Ορθή προβολή
- 2D προβολή του 3D χώρου



Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας

Φωτογραμμετρία είναι ο μετασχηματισμός της
κεντρικής προβολής σε ορθή

ΚΤΠ



ΟΠ

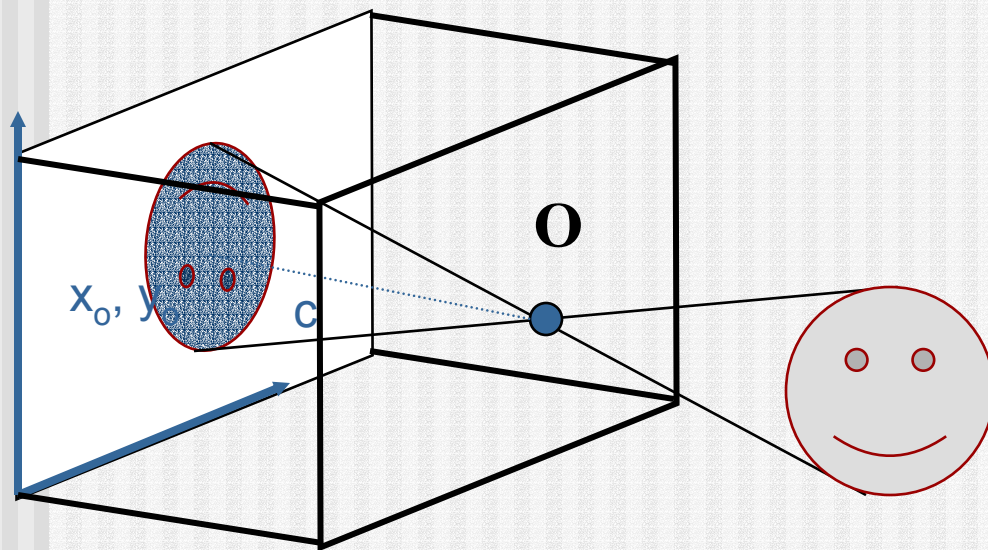
Το βασικό πρόβλημα αυτού του μετασχηματισμού
είναι το γεγονός ότι η τρίτη διάσταση δεν
ανιχνεύεται εύκολα στην 2D εικόνα

2D



3D

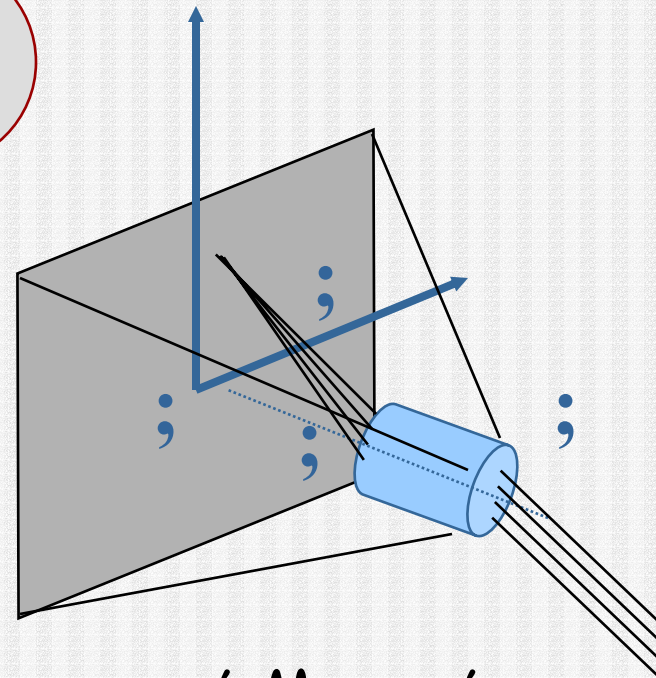
Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας



Μηχανή σημειακής
οπής (pinhole camera)

Κεντρική Προβολή

- Θέση O σε σχέση με το επίπεδο προβολής (c, x_o, y_o)
- Ευθύγραμμες ακτίνες (Δr)



Φωτογραφική Μηχανή

Η μορφή της δέσμης των ακτίνων

καθορίζεται από . . .

- την απόσταση (c) του προβολικού κέντρου (O) από το εστιακό επίπεδο (αρνητικό)
- τη θέση (x_o, y_o) της προβολής (H) του προβολικού κέντρου (O) σε κάποιο σύστημα αναφοράς (εικονοσήματα)
- το μέτρο της ακτινικής διαστροφής του φακού (Δr)

Εσωτερικός Προσανατολισμός

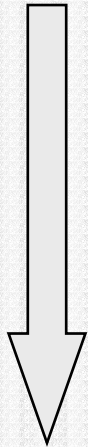
Τα στοιχεία αυτά . . .

- Η σταθερά της μηχανής (c)
- Οι συντεταγμένες (x_0, y_0) του πρωτεύοντος σημείου (H) και
- Η τιμές της ακτινικής διαστροφής (Δr)

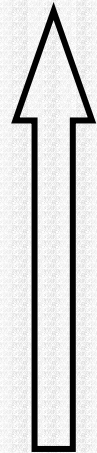
καλούνται στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού της φωτογραφικής μηχανής και καθορίζουν το μοντέλο εκείνο της Κεντρικής Προβολής, που περιγράφει καλύτερα τη συγκεκριμένη φωτογραφική μηχανή

Γεωμετρικά σφάλματα κατά τη φωτογραφική απεικόνιση

Σειρά επίδρασης
στην ακτίνα



- Καμπυλότητα της γης
- Ατμοσφαιρική διάθλαση
- Ακτινική διαστροφή
- Θέση πρωτεύοντος σημείου
- Συρρίκνωση



Σειρά "διόρθωσης"
των
εικονοσυντεταγμένων

Αποκατάσταση Εσωτερικού Προσανατολισμού

- 2 κλίμακες (κατά x και y)
- 2 στροφές αξόνων
- 2 μεταθέσεις
- Διόρθωση ακτινικής διαστρώσης

$$x = a_1 x' + a_2 y' + a_3$$

$$y = a_4 x' + a_5 y' + a_6$$

Αφφινικός Μετασχηματισμός

Μετασχηματισμοί συντεταγμένων

$$(X, Y) \xrightarrow{M} (x, y)$$

M : Μετασχηματισμός 2D σε 2D

A

*Με διατήρηση του
σχήματος*

B

*Με μεταβολή του
σχήματος*

Στροφή (1)

Στροφή & Κλίμακα (2)

Στροφή & Μετάθεση (3)

Ομοιότητας (4)

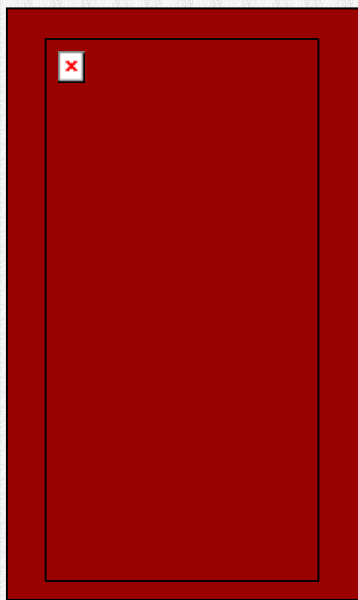
Ορθογωνικός (5)

Αφινικός (6)

Προβολικός (8)

Φωτογραμμετρική Αναγωγή

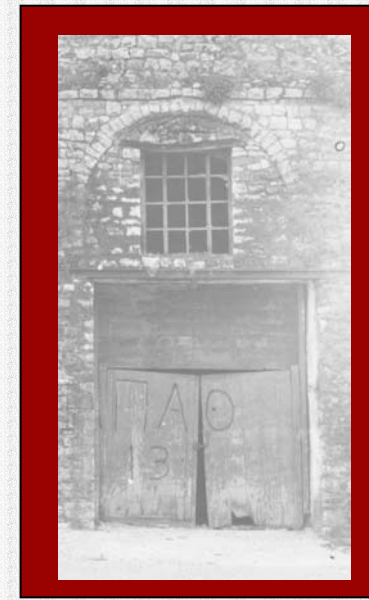
- *Αναγωγή* καλείται ο προβολικός μετασχηματισμός της εικόνας ενός 2D αντικειμένου σε ορθή προβολή



X, Y

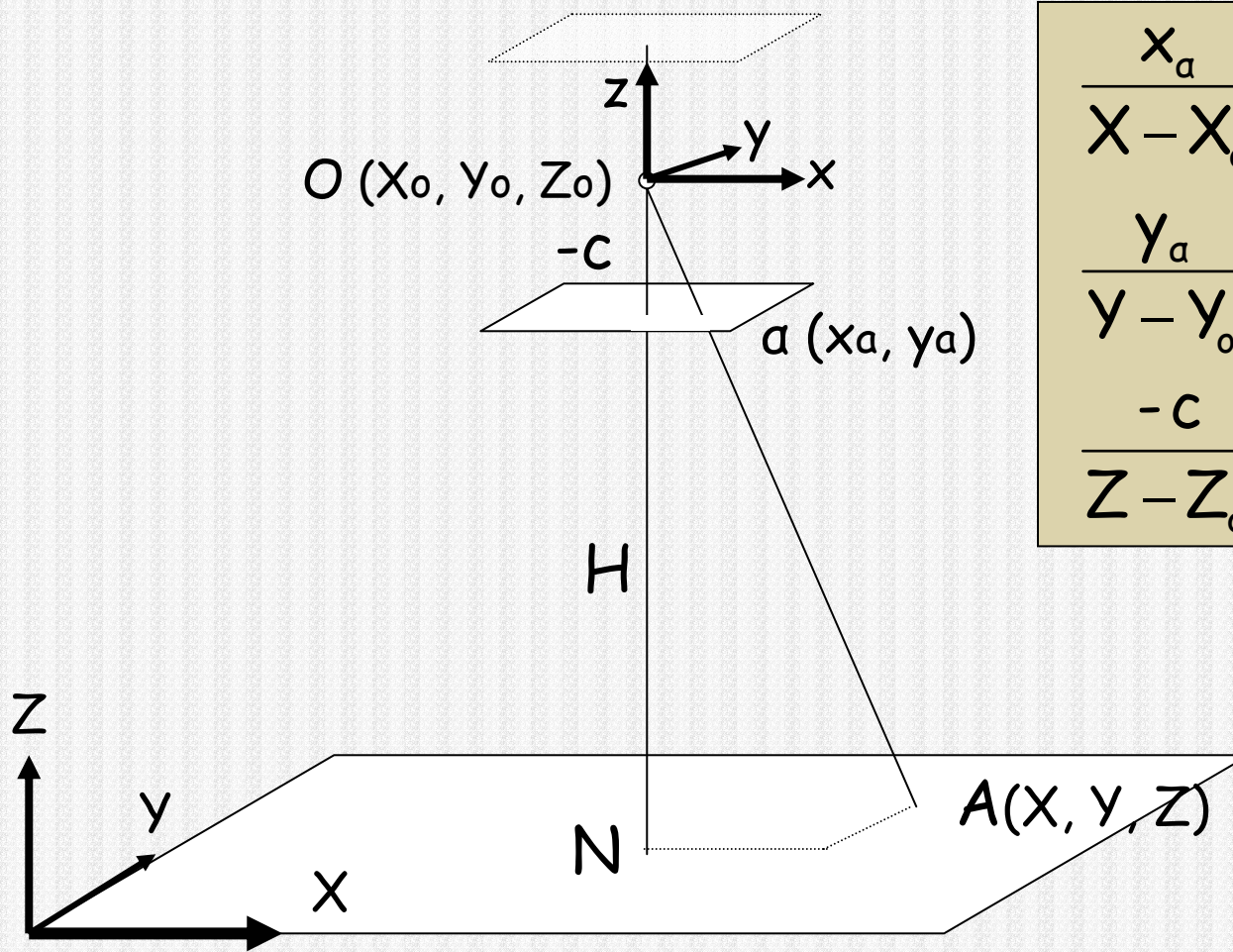
$$x = \frac{a_1 X + a_2 Y + a_3}{a_7 X + a_8 Y + 1}$$

$$y = \frac{a_4 X + a_5 Y + a_6}{a_7 X + a_8 Y + 1}$$



x, y

Γεωμετρικές σχέσεις εικόνας - αντικειμένου



$$\begin{aligned}\frac{x_a}{X - X_0} &= \frac{c}{H} = \frac{1}{k} \\ \frac{y_a}{Y - Y_0} &= \frac{c}{H} = \frac{1}{k} \\ \frac{-c}{Z - Z_0} &= \frac{c}{H} = \frac{1}{k}\end{aligned}$$

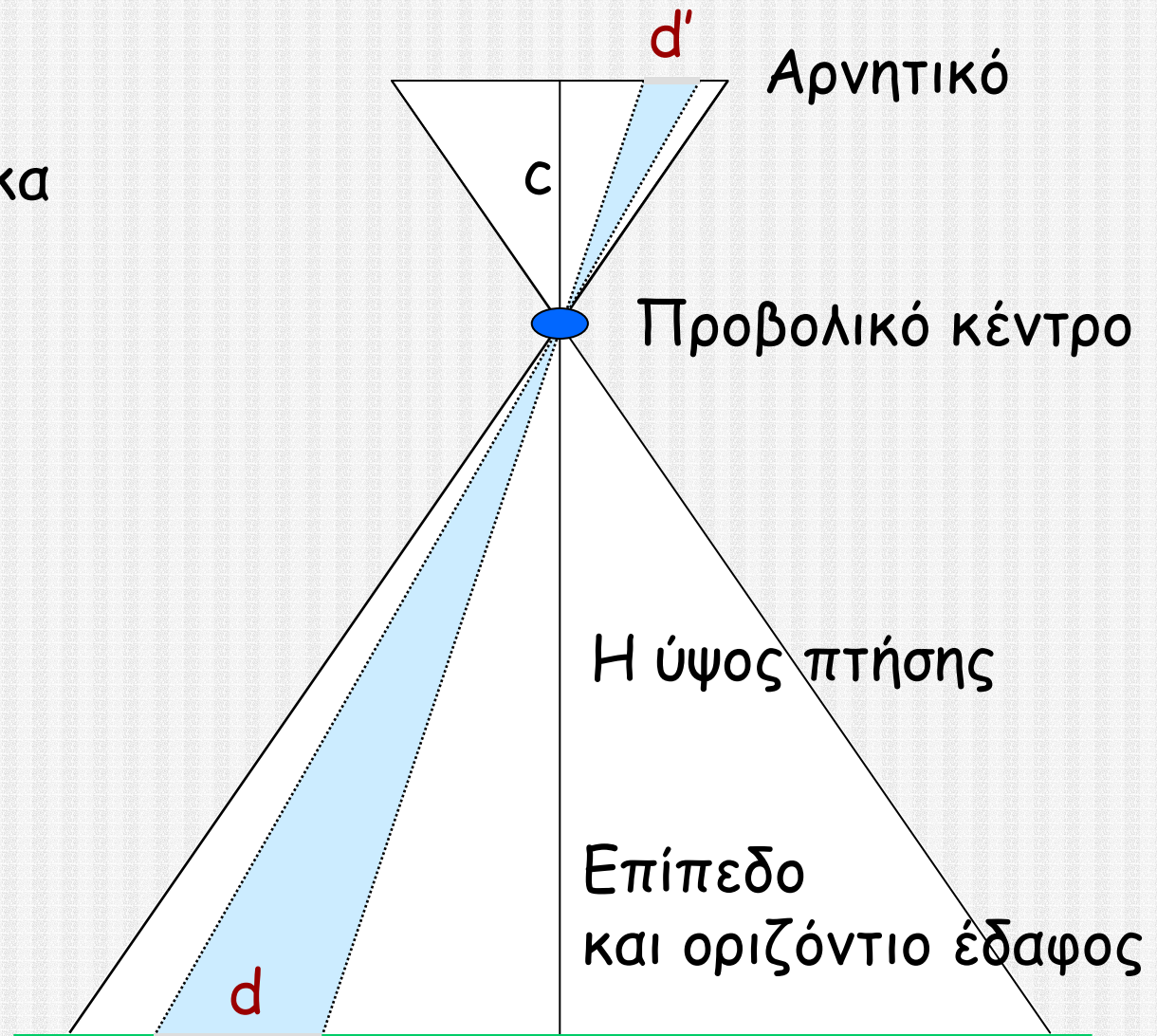
Αυστηρά Κατακόρυφες Λήψεις

Κλίμακα εικόνας
Σημειακή Κλίμακα

$$m = \frac{H}{c}$$

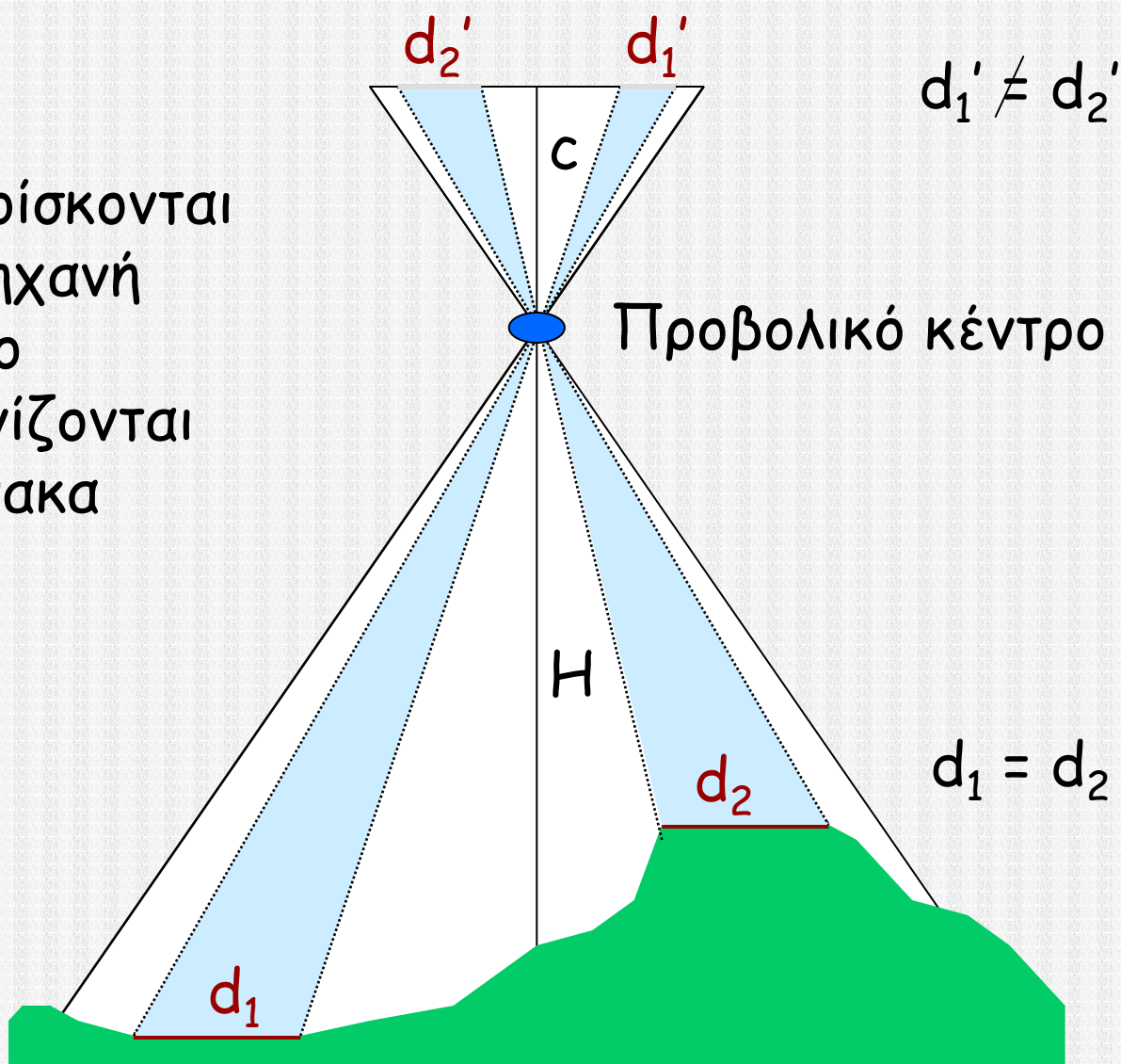
ή

$$m = \frac{d}{d'}$$



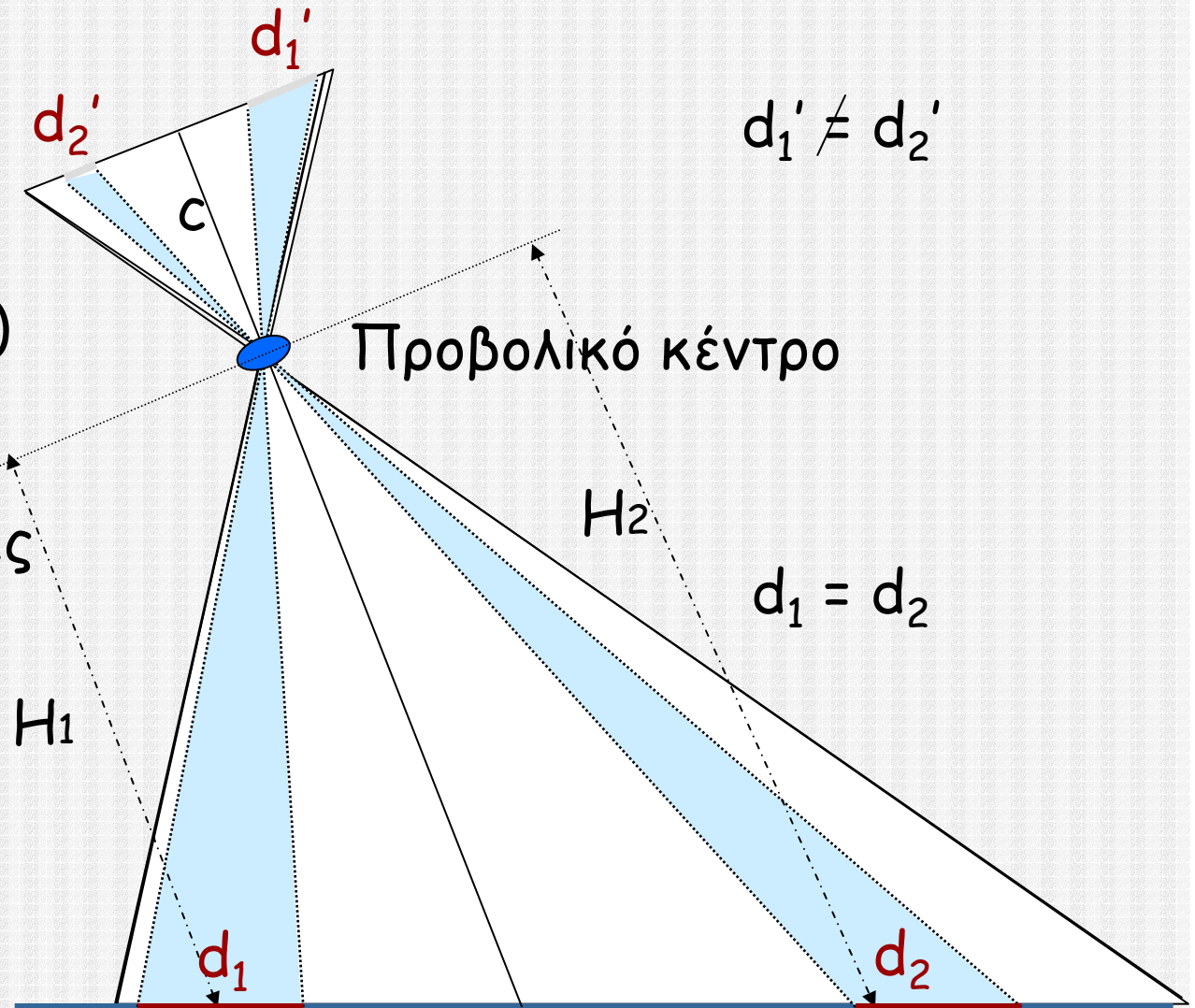
Μεταβολή κλίμακας λόγω αναγλύφου

Αντικείμενα που βρίσκονται πλησιέστερα στη μηχανή (δηλ. σε μεγαλύτερο υψόμετρο), απεικονίζονται σε μεγαλύτερη κλίμακα

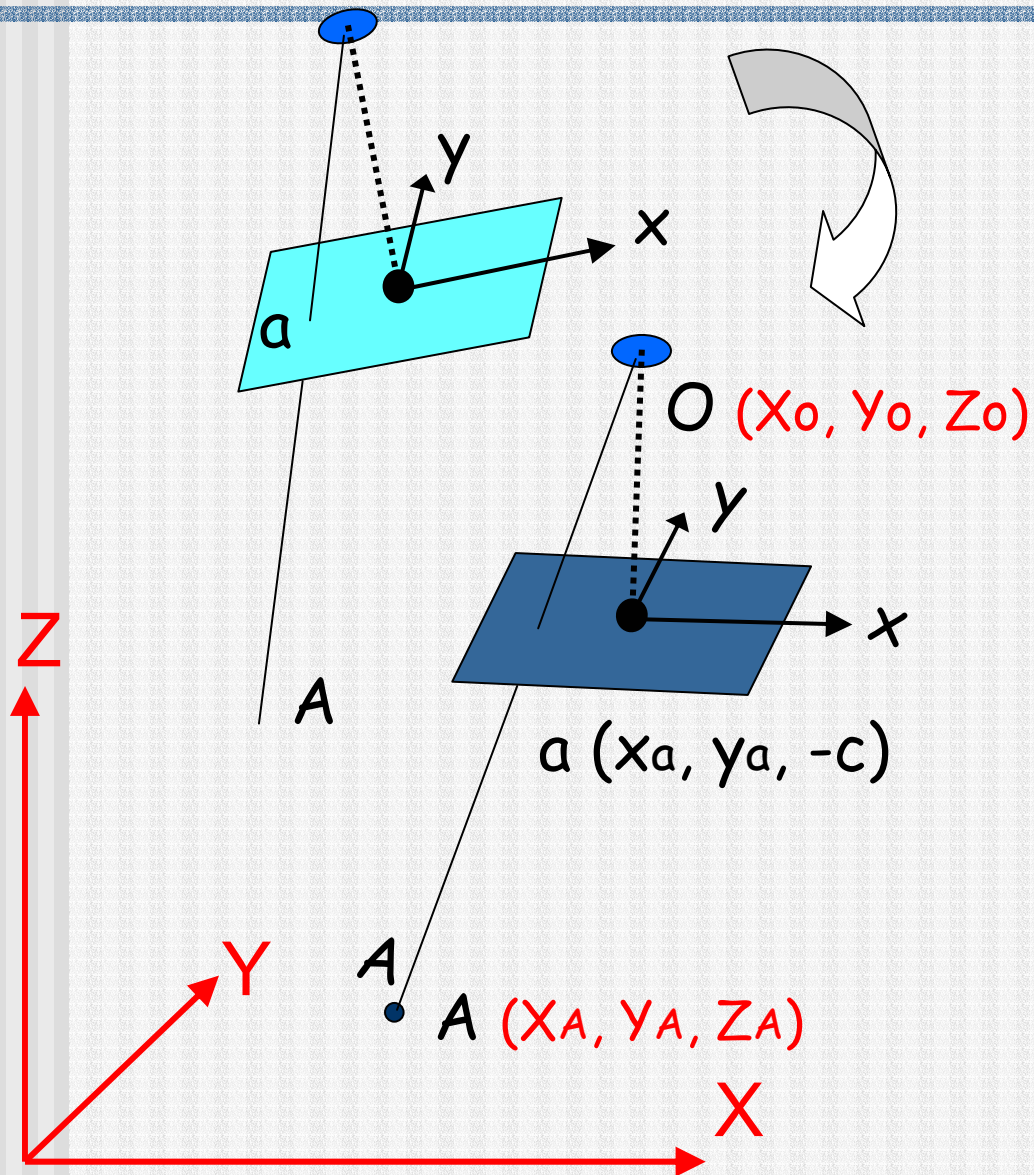


Μεταβολή της κλίμακας λόγω κλίσεων της μηχανής

Η κλίση του άξονα
λήψης (ή της μηχανής)
μεταβάλλει την
απόσταση λήψης και
έτσι προκαλεί διαφορές
στην κλίμακα
απεικόνισης



Η δέσμη των ακτίνων ως στερεό σώμα



Για την επίλυση του θεμελιώδους φωτογραμμετρικού προβλήματος (σύνδεση εικονοσυντεταγμένων με γεωδαιτικές) αρκεί να προσδιορίσω τη "σωστή" θέση της δέσμης στο χώρο των τριών διαστάσεων

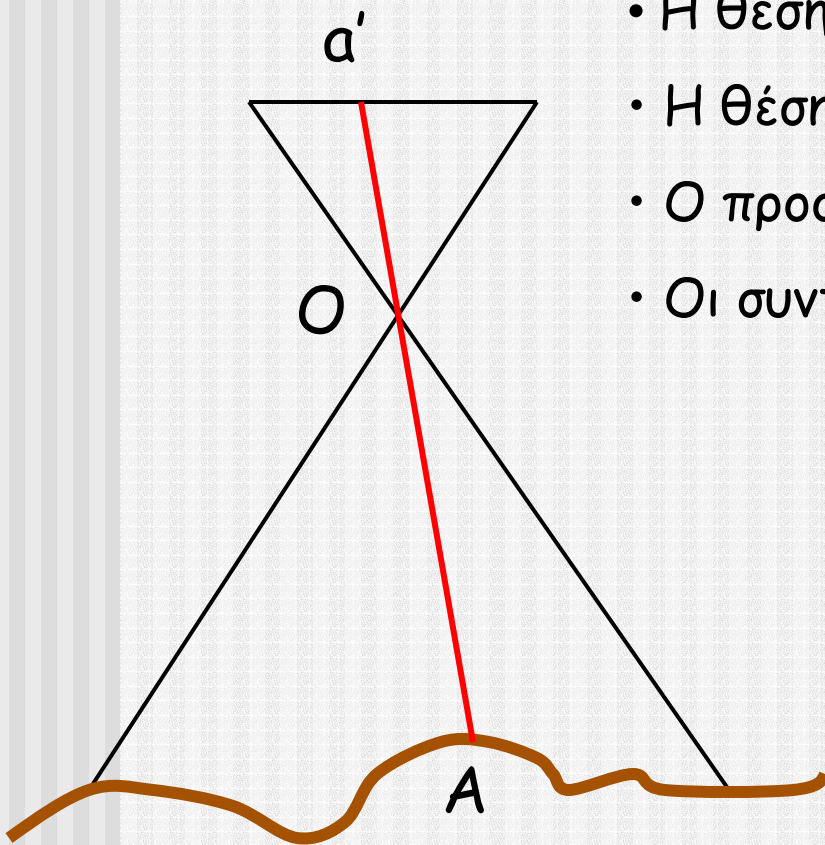
Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας

Για να προσδιοριστεί η θέση μιας ακτίνας (ευθείας) στον 3D χώρο, θα πρέπει να είναι γνωστά μερικά από τα παρακάτω:

- Η θέση του σημείου a' στην εικόνα (x, y)
- Η θέση του κέντρου προβολής (X_o, Y_o, Z_o)
- Ο προσανατολισμός του άξονα λήψης (ω, φ, κ)
- Οι συντεταγμένες του σημείου στο χώρο (X, Y, Z)

... και δεν θα πρέπει να ξεχνάμε ότι τα a' , A and O κείνται επ' ευθείας

$$\text{δηλ. } \vec{Oa'} = \lambda \vec{OA}$$



Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας

Η εξίσωση αυτής της ευθείας στο χώρο των 3D δίνεται από:

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot \mathcal{R}_{\omega\phi\kappa} \cdot \begin{bmatrix} X - X_0 \\ Y - Y_0 \\ Z - Z_0 \end{bmatrix}$$

Συνθήκη
Συγγραμμικότητας

Όπου . . .

λ είναι η κλίμακα στο συγκεκριμένο σημείο A

$\mathcal{R}_{\omega\phi\kappa}$ ορθοκανονικός πίνακας στροφής στο χώρο

Η Συνθήκη Συγγραμμικότητας

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -c \end{bmatrix} = \lambda \cdot \mathcal{R}_{\omega\phi\kappa} \cdot \begin{bmatrix} X - X_o \\ Y - Y_o \\ Z - Z_o \end{bmatrix}$$



$$\frac{x}{-c} = \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{12}(Y - Y_o) + r_{13}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

$$\frac{y}{-c} = \frac{r_{21}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{23}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

Βασικοί φωτογραμμετρικοί αλγόριθμοι

$$x = -c \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{12}(Y - Y_o) + r_{13}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

$$y = -c \frac{r_{21}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{23}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)}$$

Παρατηρήσεις: x, y - στις οποίες περιέχονται τα στοιχεία του εσωτερικού προσανατολισμού (x_o, y_o και Δr)

Βαθμονόμηση

Παράμετροι εξωτερικού προσανατολισμού: $X_o, Y_o, Z_o, \omega, \phi, \kappa$

Οπισθοτομία

Γεωδαιτικές συντεταγμένες: X, Y, Z

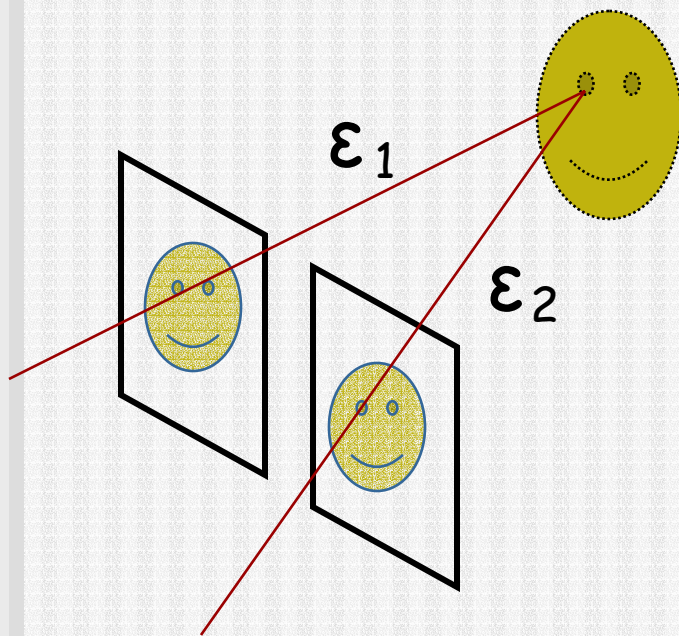
Εμπροσθοτομία

Οι χρήσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας

ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ	ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΕΙΣ	ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ	
		ΓΝΩΣΤΕΣ	ΑΓΝΩΣΤΕΣ
Βαθμονόμηση	$x' \ y'$	$X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ \omega \ \varphi \ \kappa$ $X \ Y \ Z$	$x_0 \ y_0 \ c \ \Delta r$
Οπισθοτομία	$x' \ y'$	$x_0 \ y_0 \ c \ \Delta r$ $X \ Y \ Z$	$X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ \omega \ \varphi \ \kappa$
Εμπροσθοτομία	$x' \ y'$ $x'' \ y''$	$x_0 \ y_0 \ c \ \Delta r$ $(X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ \omega \ \varphi \ \kappa)'$ $(X_0 \ Y_0 \ Z_0 \ \omega \ \varphi \ \kappa)''$	$X \ Y \ Z$

Εξαγωγή μετρητικής πληροφορίας από δύο εικόνες

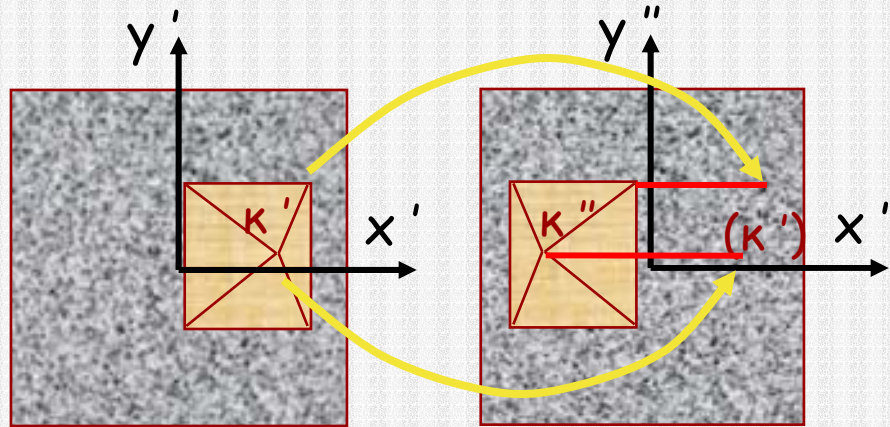
Ο προσδιορισμός της θέσης σημείων στο χώρο πραγματοποιείται, απλούστατα, με την **εμπροσθοτομία** δύο - τουλάχιστον - ομόλογων ακτίνων . . .



. . . που ανάγεται στο πρόβλημα του προσδιορισμού του σημείου τομής δύο ευθειών στον 3D χώρο

Σήμερα ο υπολογισμός αυτός πραγματοποιείται αναλυτικά, δηλ. με τη βοήθεια ηλεκτρονικού υπολογιστή, και με τις μαθηματικές εξισώσεις της Συνθήκης Συγγραμμικότητας

Παράλλαξη



Η παράλλαξη κατά τη διεύθυνση x είναι η κατά x συνιστώσα της εκτροπής λόγω αναγλύφου !!

(η κατά y συνιστώσα επηρεάζεται μόνο από την πορεία του αεροπλάνου)

Η παράλλαξη κατά x (δηλ. η μετατόπιση $\kappa'\kappa''$) είναι η αλγεβρική διαφορά των κατά x εικονοσυντεταγμένων:

$$p_x = x' - x''$$

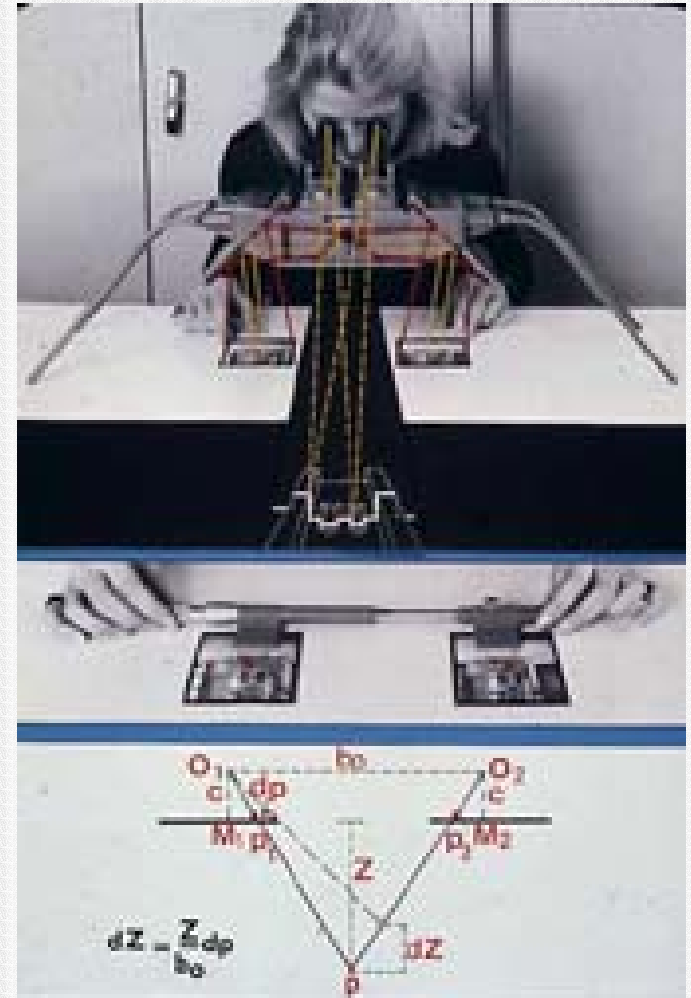
Επισημαίνεται ότι όσο πιο ψηλά βρίσκεται ένα σημείο (δηλ. όσο πιο κοντά είναι στη μηχανή) τόσο μεγαλύτερη είναι η παράλλαξή του

Στερεοσκοπική Αντίληψη

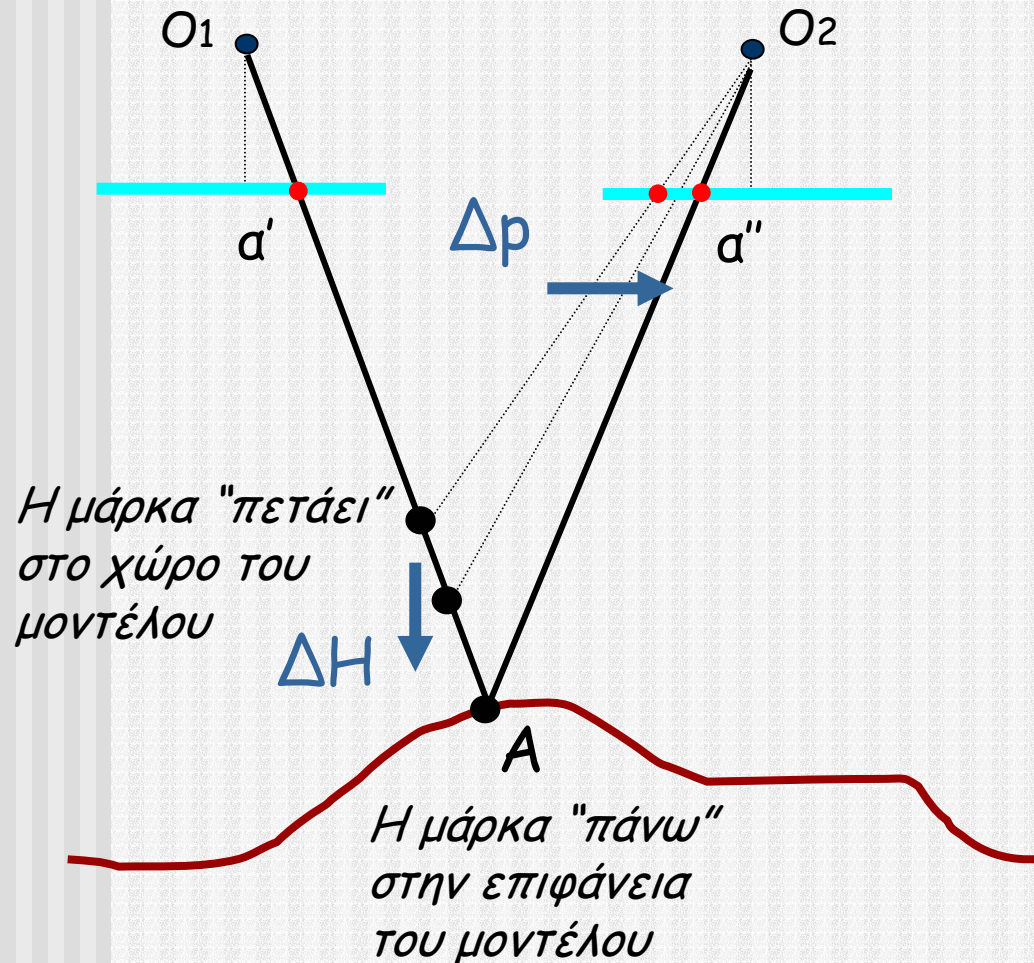
Για να παρατηρήσουμε στερεοσκοπικά ένα ζεύγος επικαλυπτόμενων εικόνων πρέπει να διαχωριστούν οι δύο εικόνες, μια για κάθε μάτι.

Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται ειδικές στερεοσκοπικές διατάξεις:

- Στερεοσκόπια (απλά - κατοπτρικά)
- Μέθοδος αναγλύφου (μπλε - κόκκινο)
- Ηλεκτρονικές διατάξεις με πόλωση



Η αρχή της Ιπτάμενης Μάρκας

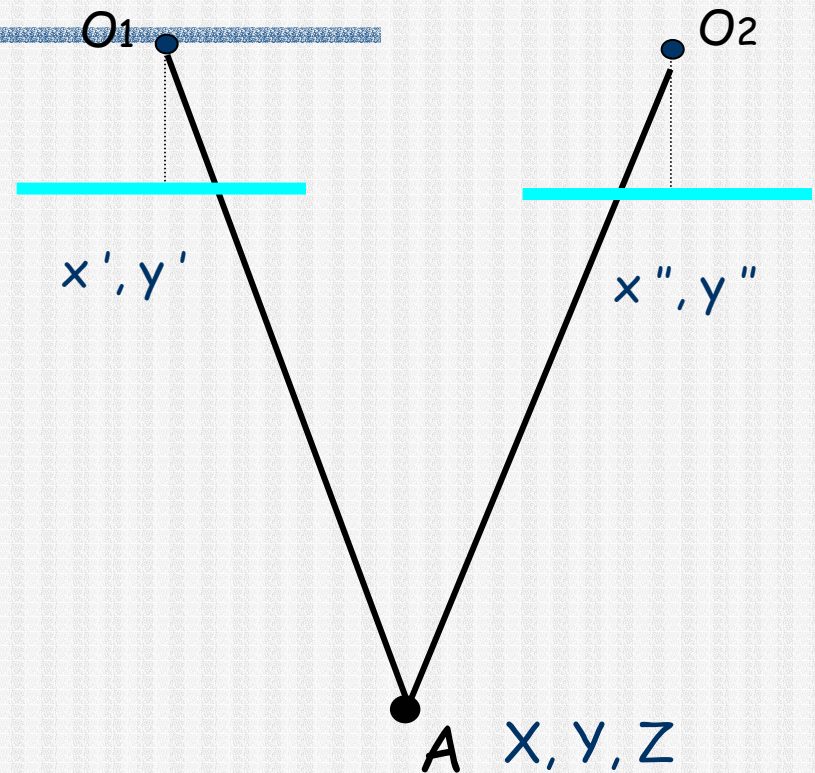


Ουσιαστικά η ιπτάμενη μάρκα είναι δύο σημεία, που εισάγονται μεταξύ παρατηρητή και εικόνων, πάνω στις δύο εικόνες.

Ο παρατηρητής αντιλαμβάνεται τα δύο αυτά σημεία σαν ομόλογες εικόνες του ίδιου σημείου και νομίζει ότι πρόκειται για ένα σημείο στο χώρο του μοντέλου.

Εμπροσθοτομία

Ο προσδιορισμός των γεωδαιτικών συντεταγμένων προκύπτει από την επίλυση της εμπροσθοτομίας, δηλαδή από τον υπολογισμό του σημείου τομής στο χώρο των δύο (τουλάχιστον) ομόλογων ακτίνων από τις δύο (τουλάχιστον) εικόνες που διαθέτω.



Δημιουργείται έτσι ένα σύστημα από $2n$ εξισώσεις (όπου $n > 2$ το πλήθος των εικόνων) με τρεις αγνώστους, που λύνεται με τη βοήθεια της ΜΕΤ !!!

Εμπροσθοτομία

Εξισώσεις παρατήρησης

$$x = -c \frac{r_{11}(X - X_o) + r_{12}(Y - Y_o) + r_{13}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)} = F_x$$

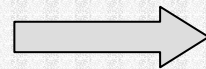
$$y = -c \frac{r_{21}(X - X_o) + r_{22}(Y - Y_o) + r_{23}(Z - Z_o)}{r_{31}(X - X_o) + r_{32}(Y - Y_o) + r_{33}(Z - Z_o)} = F_y$$

Γραμμικοποιημένες εξισώσεις παρατήρησης

$$x = F_x = F_x^{(0)} + \frac{\partial F_x}{\partial X} dX + \frac{\partial F_x}{\partial Y} dY + \frac{\partial F_x}{\partial Z} dZ$$

$$y = F_y = F_y^{(0)} + \frac{\partial F_y}{\partial X} dX + \frac{\partial F_y}{\partial Y} dY + \frac{\partial F_y}{\partial Z} dZ$$

$$\begin{pmatrix} \frac{\partial F_x}{\partial X} & \frac{\partial F_x}{\partial Y} & \frac{\partial F_x}{\partial Z} \\ \frac{\partial F_y}{\partial X} & \frac{\partial F_y}{\partial Y} & \frac{\partial F_y}{\partial Z} \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \cdot & \cdot & \cdot \\ \frac{\partial F_y}{\partial X} & \frac{\partial F_y}{\partial Y} & \frac{\partial F_y}{\partial Z} \end{pmatrix} \begin{pmatrix} \Delta X \\ \Delta Y \\ \Delta Z \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} x_1 - F_x^{(0)} \\ y_1 - F_y^{(0)} \\ \cdot \\ \cdot \\ y_n - F_y^{(0)} \end{pmatrix}$$



$$A \delta x = L$$

Φωτογραμμετρικά όργανα

Επιθυμητές λειτουργίες Αρχές οργάνων

- Στερεοσκοπική παρατήρηση και σκόπευση
- Μέτρηση και προσδιορισμός X , Y , και Z
- Δυνατότητα σχεδίασης σε ορθή προβολή

Υλοποιούμενες λειτουργίες

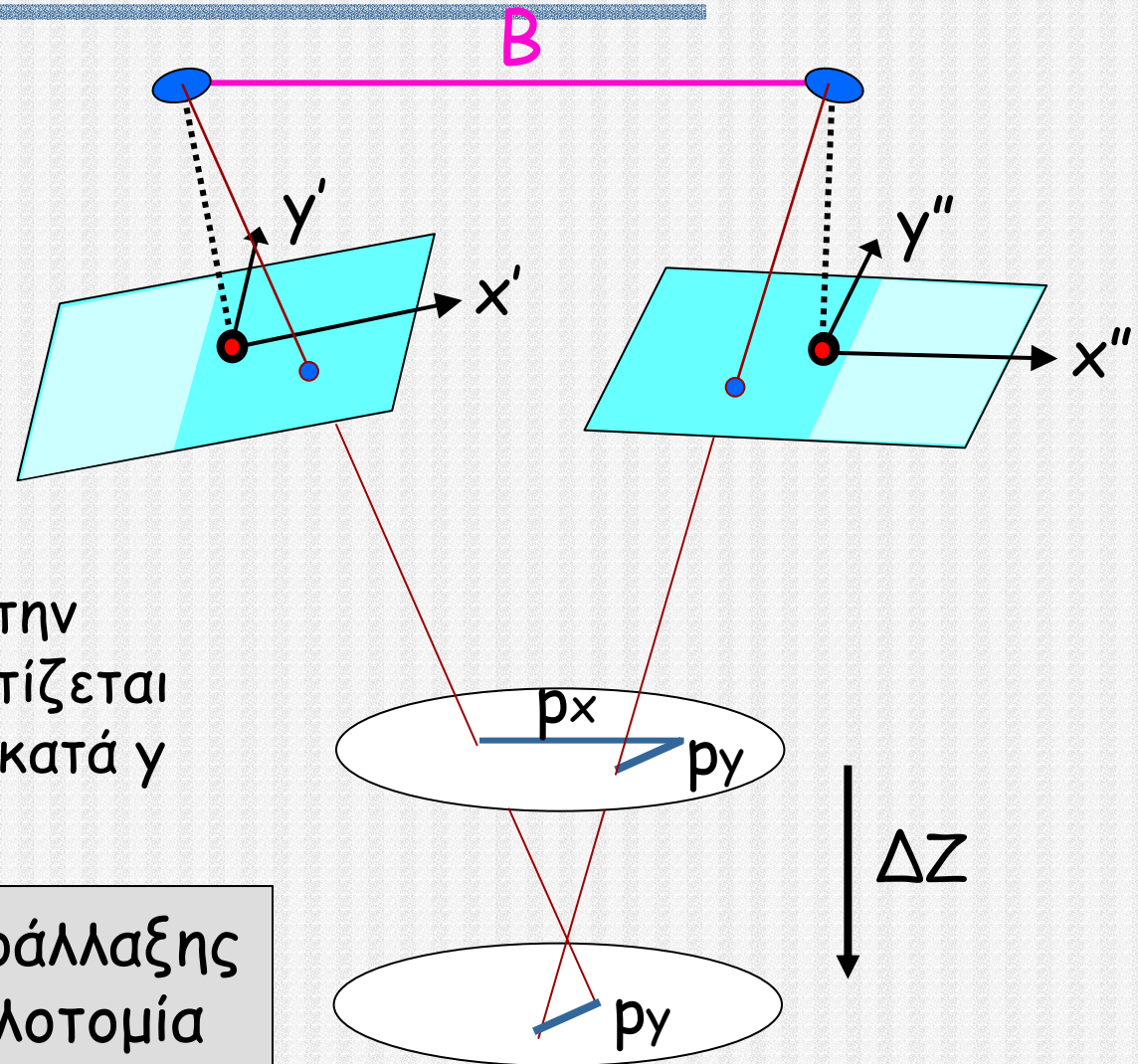
- Στερεοσκόπια ή άλλη μέθοδος και ιπτάμενη μάρκα
- Μέτρηση εικονσυν/νων και συνεχής εκτέλεση εμπροσθοτομίας
- Σύνδεση με σχεδιαστικό περιβάλλον

Σχετικός Προσανατολισμός

Οι πέντε αυτές κινήσεις των δύο δεσμών επιτυγχάνουν την αλληλοτομία των ομόλογων ζευγών ακτίνων ή καταργούν την ασυμβατότητά τους

Η ασυμβατότητα έχει **δύο συνιστώσες**. Μία κατά x , την παράλλαξη x (p_x που σχετίζεται με τα υψόμετρα !) και μία κατά y την παράλλαξη y (p_y).

Η εξάλειψη της y -παράλλαξης εξασφαλίζει την αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων



Σχετικός Προσανατολισμός

Η εξίσωση της γ -παράλλαξης:

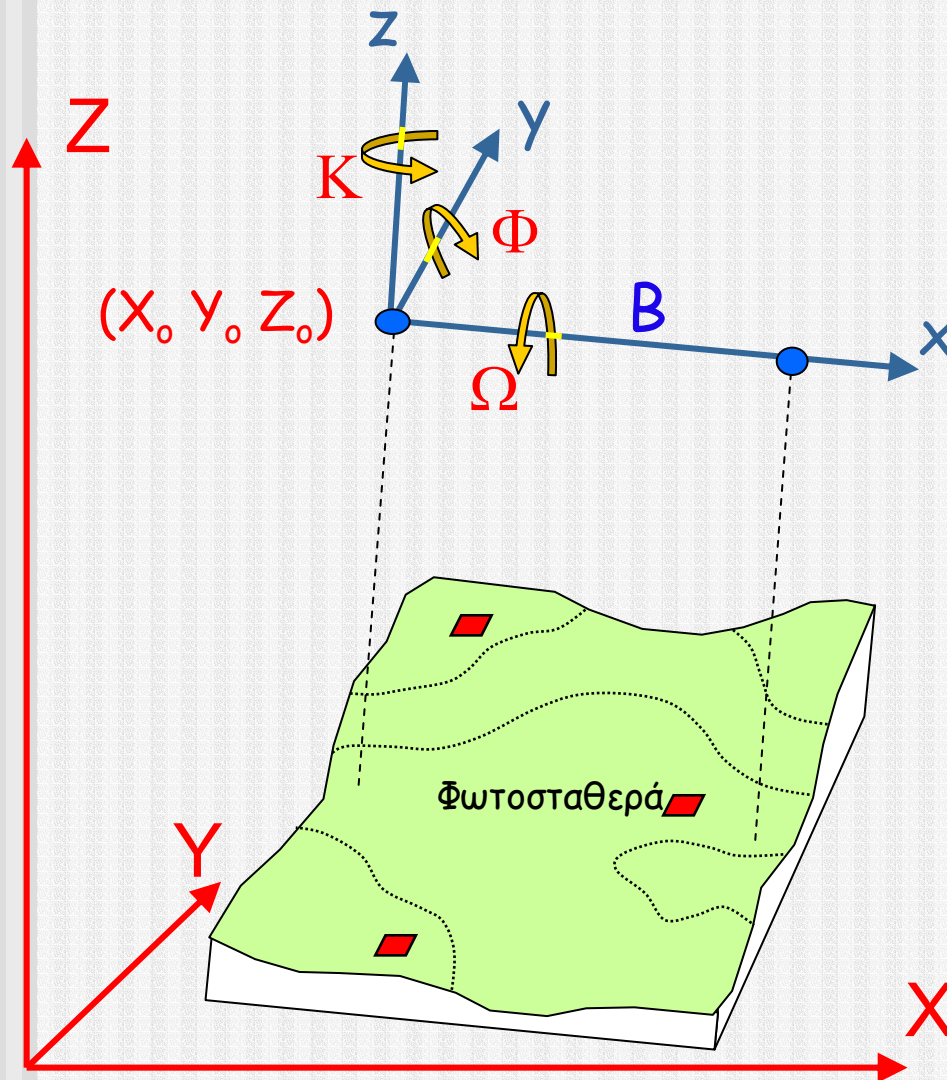
$$P_y = (\underline{dby_1} - \underline{dby_2}) - \frac{Y_M}{Z_M} (\underline{dbz_1} - \underline{dbz_2}) + \\ + \underline{X_M dk_1} + (\underline{X_M - b}) \underline{dk_2} + \frac{X_M Y_M}{Z_M} \underline{d\varphi_1} - \frac{(X_M - b)Y}{Z_M} \underline{d\varphi_2} - Z_M \left(1 + \frac{Y_M^2}{X_M^2}\right) (\underline{d\omega_1} - \underline{d\omega_2})$$

... συνδέει τις διαφορικές μετακινήσεις των δύο δεσμών (απαραίτητες για να επιτευχθεί η αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων, δηλαδή ο Σχετικός Προσανατολισμος) με συντεταγμένες είτε σε αυθαίρετο σύστημα αναφοράς του μοντέλου (βλ. παραπάνω) είτε ακόμα και με εικονοσυντεταγμένες.

Σχετικός Προσανατολισμός

1. Ο σχετικός προσανατολισμός επιτυγχάνεται με την αλληλοτομία των ομόλογων ακτίνων ή - ισοδύναμα - με την εξάλειψη της γ -παράλλαξης.
2. Στα φωτογραμμετρικά όργανα πραγματοποιείται με αναλυτικό τρόπο, αφού έχουν μετρηθεί οι κατά γ παραλλάξεις σε πέντε τουλάχιστον σημεία του επικαλυπτομένου.
3. Μετά την επίτευξή του έχει (α) αποκατασταθεί το σχήμα του αντικειμένου και (β) διασφαλιστεί η στερεοσκοπική αντίληψη.

Απόλυτος Προσανατολισμός



$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = m * R_{\Omega\Phi K} * \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

Ουσιαστικά πρόκειται για τον μετασχηματισμό από ένα τρισδιάστατο σύστημα (του **μοντέλου**) σε ένα άλλο (στο **γεωδαιτικό**).

Οι επτά παράμετροι είναι οι τρεις μετατοπίσεις (X_0, Y_0, Z_0), οι τρεις στροφές (Ω, Φ, K) και η κλίμακα m .

Απόλυτος Προσανατολισμός

$$\begin{bmatrix} X \\ Y \\ Z \end{bmatrix} = m * R_{\Omega\Phi\kappa} * \begin{bmatrix} x_M \\ y_M \\ z_M \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} X_0 \\ Y_0 \\ Z_0 \end{bmatrix}$$

Η αναλυτική σχέση του Απόλυτου Προσανατολισμού έχει κάποιες ιδιαιτερότητες συγκρινόμενη με τη Συνθήκη Συγγραμμικότητας.

- Αφορά σε τρισδιάστατο σύστημα και όχι σε ένα σημείο
- Η κλίμακα είναι γενική και όχι σημειακή

Κατά συνέπεια δεν απαιτείται η εξάλειψη του συντελεστή m και για κάθε φωτοσταθερό σημείο η σχέση δίνει τρεις εξισώσεις παρατήρησης.

Απαιτείται όμως πάλι γραμμικοποίηση για τους αγνώστους και η λύση της συνόρθωσης είναι προσεγγιστική

Φωτογραμμετρικοί Προσανατολισμοί

1. Εσωτερικός Προσανατολισμός

Ανάπλαση δέσμης ακτίνων
Απαιτούνται στοιχεία της γεωμετρίας της μηχανής
Όλες οι μετρήσεις πραγματοποιούνται στην εικόνα

2. Εξωτερικός Προσανατολισμός

εναλλακτικά ...

Προβολικός μετασχηματισμός
Απαιτούνται γνωστά φωτοσταθερά
Υπολογισμοί στο 3D χώρο
Χρήση Συνθήκης Συγγραμμικότητας

2α. Σχετικός Προσανατολισμός

Δημιουργία στερεομοντέλου
Δεν απαιτούνται γνωστά φωτοσταθερά
Υπολογισμοί στο 3D χώρο
Χρήση εξίσωσης παράλλαξης ή συνθήκης συνεπιπεδότητας

2β. Απόλυτος Προσανατολισμός

Προσανατολισμός στερεομοντέλου
Απαιτούνται γνωστά φωτοσταθερά
Υπολογισμοί στο 3D χώρο
Χρήση εξίσωσης 3D μετασχηματισμού ομοιότητας

Καλό Διάβασμα
και
Καλή Επιτυχία στις
προσπάθειές σας