



Η Γεωγραφία σε έναν Κόσμο που Αλλάζει

ΛΕΣΒΟΣ 2-4 ΙΟΥΝΙΟΥ 2021

# Σύγχρονες μέθοδοι συλλογής γεωμετρικών στοιχείων του γεωγραφικού χώρου

Ιωάννης. Ν. Χατζόπουλος, Ομότιμος καθηγητής  
Τοπογραφίας Πανεπιστημίου Αιγαίου

# Περίληψη

Τα γεωμετρικά στοιχεία συνθέτουν δομές του γεωγραφικού χώρου.

Σύγχρονοι μέθοδοι συλλογής στοιχείων: ποιότητα, ταχύτητα, κόστος, αλληλοσυμπλήρωση.

Κλασσική τοπογραφία, ΣμηΕΑ, επαυξημένη πραγματικότητα (ΕΠ).

Σπουδαία σημασία: δέκτες, αισθητήρες διαρκής εξέλιξη, ελαχιστοποίηση μεγέθους, κόστους και μεγιστοποίηση ποιότητας, ταχύτητας, ακρίβειας.

Μέτρηση αποστάσεων με ΗΜΑ.

Μέτρηση θέσης με INS/IMU, GNSS/GPS.

Μέτρηση τριών διαστάσεων νέφους σημείων του γεωγραφικού χώρου με: φωτογραμμετρία, LIDAR, και IfSAR.

Επαυξημένη πραγματικότητα (Augmented Reality)

Προσπάθεια σύγκρισης μεθόδων / τεχνολογιών → βέλτιστη χρήση για γεωμετρικές δομές του γεωγραφικού χώρου.

# Εισαγωγή

Στη σύγχρονη εποχή έχουν γίνει μεγάλα άλματα στην εξέλιξη των μεθόδων συλλογής γεωμετρικών στοιχείων του γεωγραφικού χώρου και επίσης έχουν εμφανισθεί νέες μέθοδοι.

Παρουσιάζονται τα συστήματα:

(α) Κλασσικής τοπογραφίας με ολικό / γεωδαιτικό σταθμό.

(β) Συστήματα παγκοσμίου πλοήγησης με τη χρήση δορυφόρων (Global Navigation Satellite System - GNSS) ή όπως είναι γνωστά σαν GPS και συνεργαζόμενα με αυτά αδρανειακά και γυροσκοπικά συστήματα (INS/IMU).

(γ) Συστήματα φωτογραμμετρίας.

(δ) Συστήματα LIDAR.

(ε) Συστήματα IfSAR.

(στ) Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ).

(ζ) Συστήματα επαυξημένης πραγματικότητας (ΕΠ).

# Συστήματα κλασσικής τοπογραφίας

## Ολικός σταθμός

οριζόντιες και κατακόρυφες γωνίες και αποστάσεις με ηλεκτρονική ακτινοβολία

## Γεωδαιτικός σταθμός.

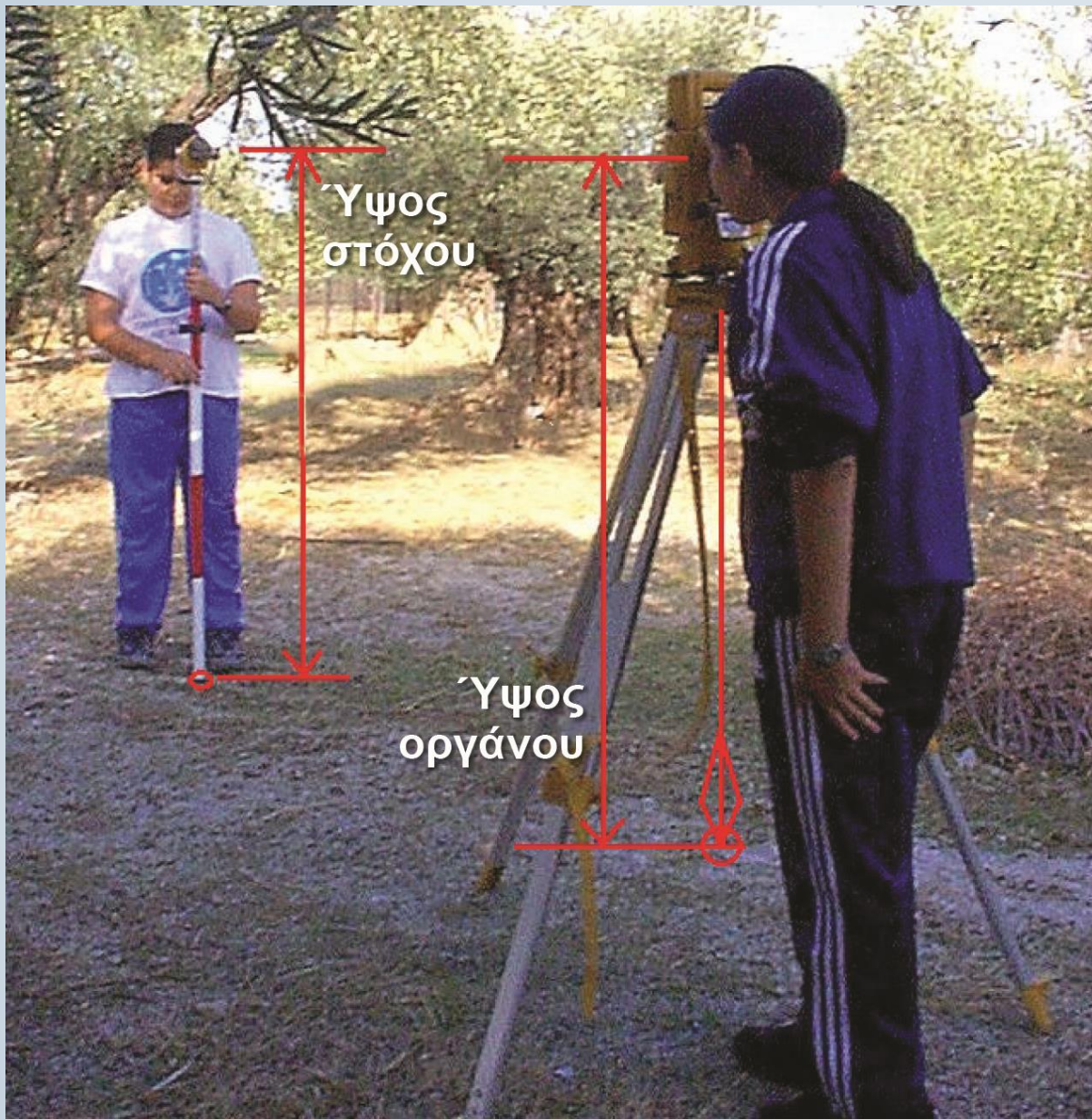
έχει τις ίδιες δυνατότητες με τον ολικό σταθμό με επιπλέον ενσωματωμένο GNSS σύστημα.

## Μετρήσεις πολύ υψηλής ακρίβειας

Μετρήσεις εκεί όπου το σύστημα GNSS δεν μπορεί να λειτουργήσει, απρόσιτα σημεία του γεωγραφικού χώρου και πολλές άλλες περιπτώσεις.

Για παράδειγμα, η **φωλιά ενός αητού** μέθοδος εμπροσθοτομίας





**Ολικός σταθμός**



**GNSS - GPS**

# Το θεοδόλιχο

Τη βασική δομή του θεοδόλιχου χρησιμοποιεί ο ολικός σταθμός δύο δίσκοι οριζόντιος και κατακόρυφος, όπου μετρούνται η οριζόντια και κατακόρυφη γωνία αντίστοιχα.

Οι αποστάσεις μετρούνται με ένα παλμό λέιζερ που φεύγει από το τηλεσκόπιο και πηγαίνει στο στόχο, όπου ανακλάται και μέρος αυτού επιστρέφει στο τηλεσκόπιο όπου μετράται με ακρίβεια ο χρόνος και με γνωστή την ταχύτητα του φωτός, που επηρεάζεται από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, μετρείται με ακρίβεια η απόσταση.





# Συστήματα παγκοσμίου πλοήγησης με τη χρήση δορυφόρων (GNSS-Global Navigation Satellite System)

Σύστημα τεχνητών δορυφόρων που καλύπτει ολόκληρη τη Γη, Από κάθε σημείο της γης να είναι ανά πάσα στιγμή ορατοί τουλάχιστο τέσσερεις δορυφόροι.

Υπάρχουν τέσσερα παγκόσμια συστήματα GNSS σε πλήρη λειτουργία.

1. NAVSTAR / GPS, ΗΠΑ
2. GLONASS. Ρωσία
3. BEIDOU (37 δορυφόρους), Κίνα
4. GALILEO, 28 δορυφόρους αλληλοσυμπληρώνει το NAVSRAR και GLONAS. ΕΕ
5. Ιαπωνικό σύστημα Quasi-Zenith Satellite (QZS), το οποίο λειτουργεί με λιγότερους δορυφόρους και καλύπτει την περιοχή Ιαπωνίας και Αυστραλίας.

Συντεταγμένες X, Y, Z, χρόνος GNSS

Μέτρηση τουλάχιστο τεσσάρων αποστάσεων από το δορυφόρο στο δέκτη και τη δημιουργία τεσσάρων εξισώσεων με τέσσερεις αγνώστους.

Οι σημερινοί δέκτες χρησιμοποιούν GNSS συστήματα

$$(R_i + t) + v_i = \sqrt{(X - X_i)^2 + (Y - Y_i)^2 + (Z - Z_i)^2}$$

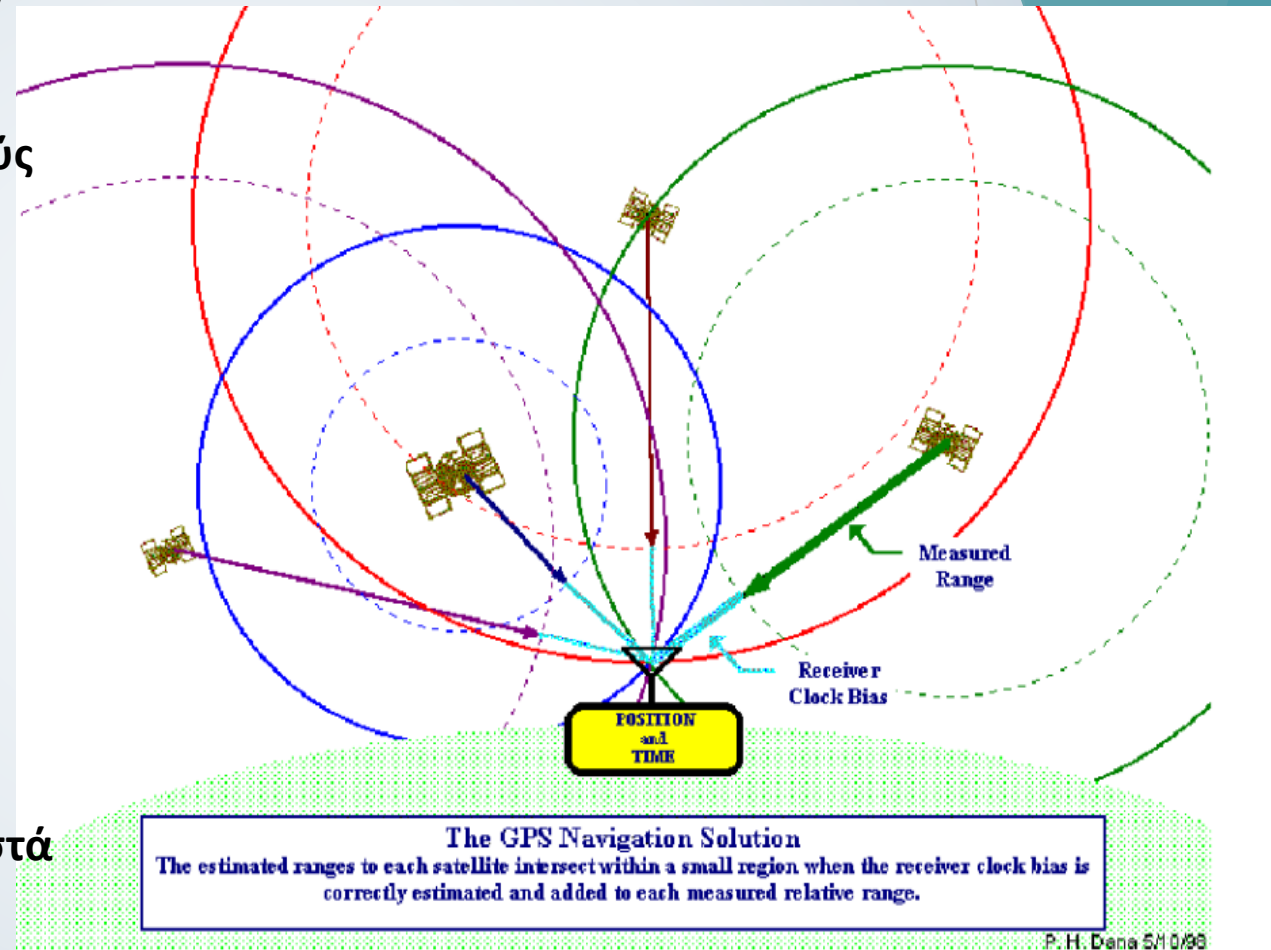
Κωδικοποιημένο σήμα, με πολλές πληροφορίες όπως της θέσης  $X_i, Y_i, Z_i$ , του δορυφόρου.

Περιέχει ένα κώδικα αποτελούμενο από πολλούς μικροκυματικούς παλμούς και ο κώδικας αυτός περιέχει τις εν λόγω πληροφορίες.

Μετρήσεις είτε στην φάση κώδικα με ακρίβεια 3-5 μέτρα

ή, στους μικροκυματικούς παλμούς (φέρουσα φάση) με ακρίβεια από μερικά χιλιοστά του μέτρου μέχρι μερικά εκατοστά του μέτρου.

Η πιο δημοφιλής μέθοδος μέτρησης είναι η real time kinematic - RTK με ακρίβεια μερικά εκατοστά του μέτρου και προσδιορίζει τις συντεταγμένες σημείου μετακινώντας το δέκτη από σημείο σε σημείο σε πραγματικό χρόνο.

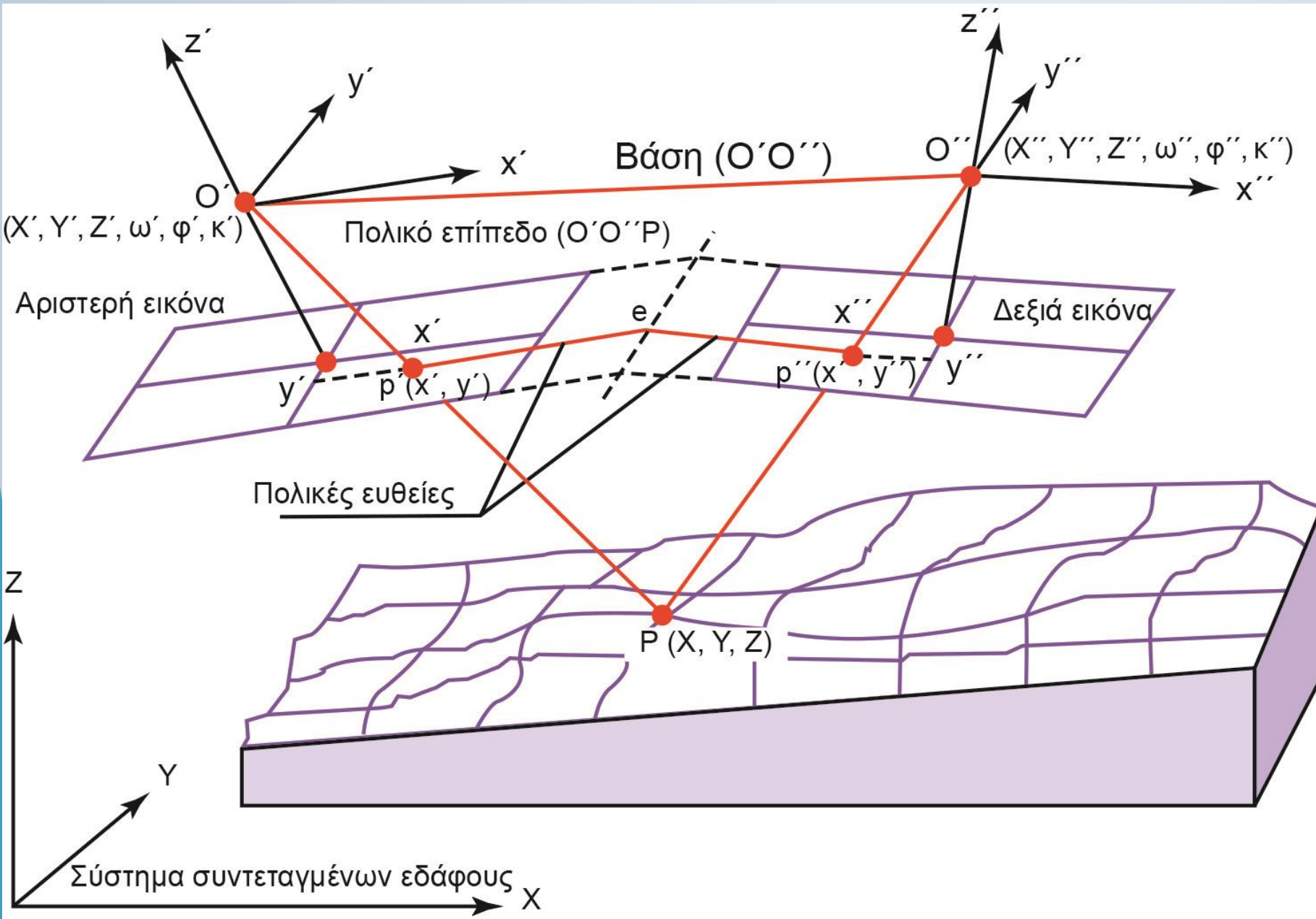




## Συστήματα φωτογραμμετρίας

Η φωτογραμμετρία βασίζεται στο γεγονός ότι όταν ένα σημείο του γεωγραφικού χώρου εμφανίζεται σε δύο ή περισσότερες φωτογραφίες παρμένες από διαφορετικά σημεία λήψης είναι δυνατόν με μαθηματικό τρόπο να ξαναδημιουργηθούν οι ακτίνες που σχημάτισαν την εικόνα του σημείου και να υπολογισθούν οι συντεταγμένες του σημείου από την μαθηματική τομή των ακτίνων αυτών στο χώρο.

# φωτογραμμετρία



# Η Συνθήκη Συγγραμμικότητας

$$\overline{O'p'} = k.M.\overline{OP}$$

$$\begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = kM \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix} \quad \begin{bmatrix} x \\ y \\ -f \end{bmatrix} = k \begin{bmatrix} m_{11} m_{12} m_{13} \\ m_{21} m_{22} m_{23} \\ m_{31} m_{32} m_{33} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} X - X_L \\ Y - Y_L \\ Z - Z_L \end{bmatrix}$$

$$x = k[m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)]$$

$$y = k[m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)]$$

$$-f = k[m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)]$$

$$x = -f \frac{m_{11}(X - X_L) + m_{12}(Y - Y_L) + m_{13}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)}$$

$$y = -f \frac{m_{21}(X - X_L) + m_{22}(Y - Y_L) + m_{23}(Z - Z_L)}{m_{31}(X - X_L) + m_{32}(Y - Y_L) + m_{33}(Z - Z_L)}$$

$m_{11}$  = συνφ.συνκ

$m_{12}$  = συνω.ημκ + ημω.ημφ.συνκ

$m_{13}$  = ημω.ημκ - συνω.ημφ.συνκ

$m_{21}$  = -συνφ.ημκ

$m_{22}$  = συνω.συνκ - ημω.ημφ.ημκ

$m_{23}$  = ημω.συνκ + συνω.ημφ.ημκ

$m_{31}$  = ημφ

$m_{32}$  = - ημω.συνφ

$m_{33}$  = συνω.συνφ



# φωτογραμμετρία

Η κύρια απόσταση  $f$ , η συμπεριφορά του φακού ή μοντέλο αισθητήρα, είναι γνωστά από τη βαθμονόμηση της μηχανής.

Υπόψη ότι οι αποστάσεις μεταξύ των σημείων λήψης που καλούνται και βάσεις ( $B$ ) παίζουν σημαντικό ρόλο για την ακρίβεια τομής των ακτίνων στο χώρο, μάλιστα η ακρίβεια αυξάνεται όταν ο λόγος  $B/H$  είναι κοντά στη μονάδα, όπου  $H$  είναι η απόσταση του φακού από το αντικείμενο.

Οι συντεταγμένες  $X_L, Y_L, Z_L$  του σταθμού λήψης καθώς και οι αντίστοιχες γωνίες στροφής  $\omega_L, \varphi_L, \kappa_L$ , Αποτελούν τον εξωτερικό προσανατολισμό της μηχανής στον αντίστοιχο σταθμό λήψης.

## Παράδειγμα:

Έστω ότι έχουμε 100 σημεία στο έδαφος σε τρία από τα οποία έχουμε μετρήσει με GNSS όργανο τις X, Y, Z

Έστω ότι με αυτόματο τρόπο έχουν μετρηθεί οι εικονοσυντεταγμένες των ομολόγων σημείων σε δύο φωτογραφίες τότε θα έχουμε:

$4 \times 100 = 400$  εξισώσεις συγγραμμικότητας με  $3 \times (100 - 3) + 2 \times 6 = 291 + 12 = 303$  αγνώστους, έχουμε δηλαδή ένα δείγμα με  $400 - 303 = 97$  βαθμούς ελευθερίας.

# Συστήματα LIDAR

Lidar → Light Detection And Ranging (φωτοτοβολιστική ανίχνευσης και απόστασης),

Ενεργητικός δέκτης με φωτεινό παλμό λέιζερ,

Στέλνει προς το στόχο όπου και ανακλάται και καταγράφει το χρόνο αναχώρησης, το χρόνο επιστροφής και την ένταση του παλμού.

Η διαφορά του χρόνου επιστροφής μείον του χρόνου εκπομπής του παλμού δίνει την απόσταση ενώ η ένταση δίνει πληροφορίες για τις ιδιότητες του στόχου.

Καλές καιρικές συνθήκες χωρίς νέφη μέρα και νύχτα.

Μπορεί να καταγράψει π. χ., την ορατή φυλλωσιά των δένδρων σε ένα δάσος αλλά και το έδαφος όπου τα δένδρα αφήνουν κενά και φαίνεται το έδαφος.

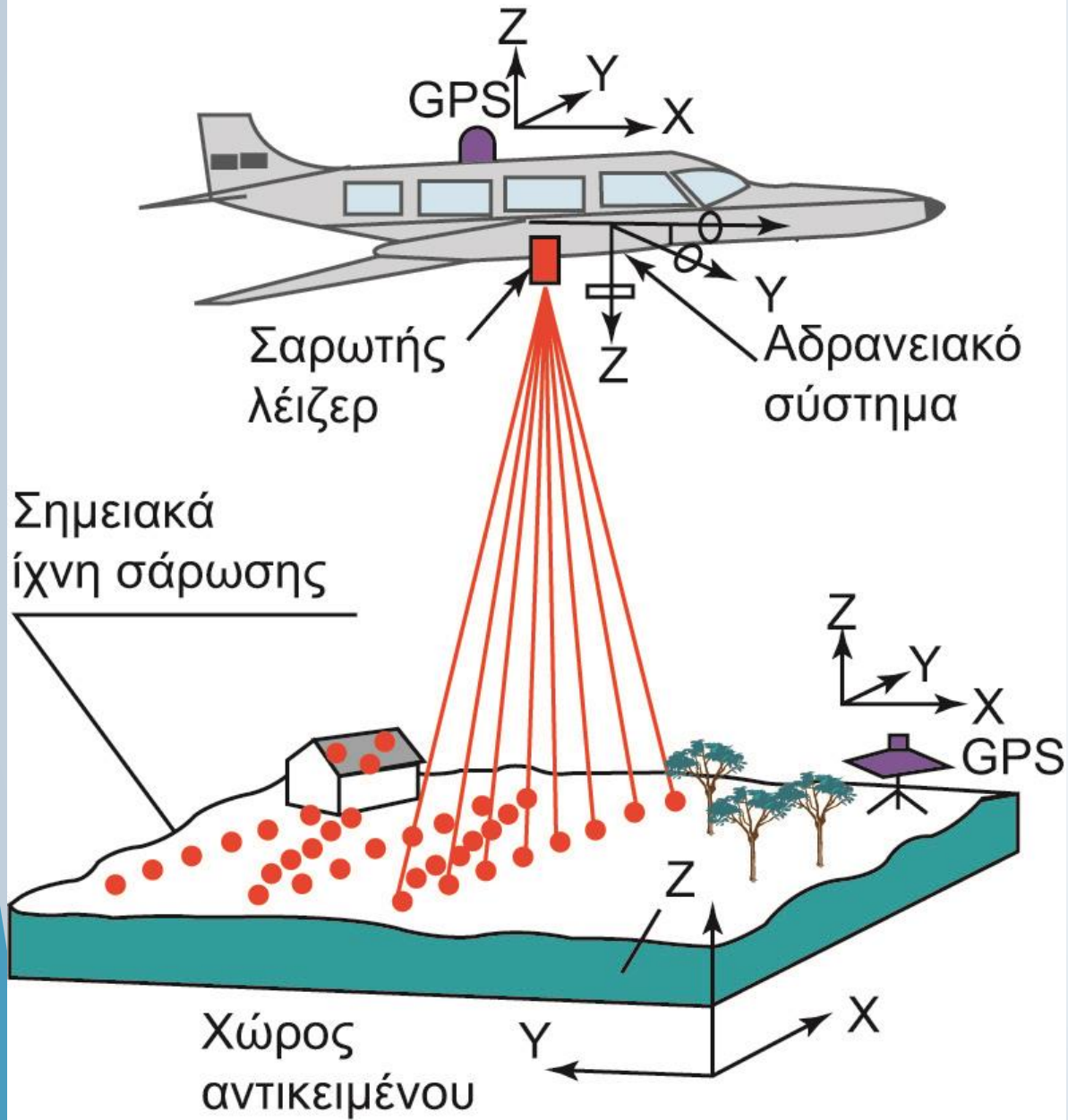
Πολλαπλές επιστροφές του παλμού ~ 5 επιστροφές

Με ένα παλμό το έδαφος και τις φυλλωσιές των δένδρων εφόσον αυτά είναι ορατά.

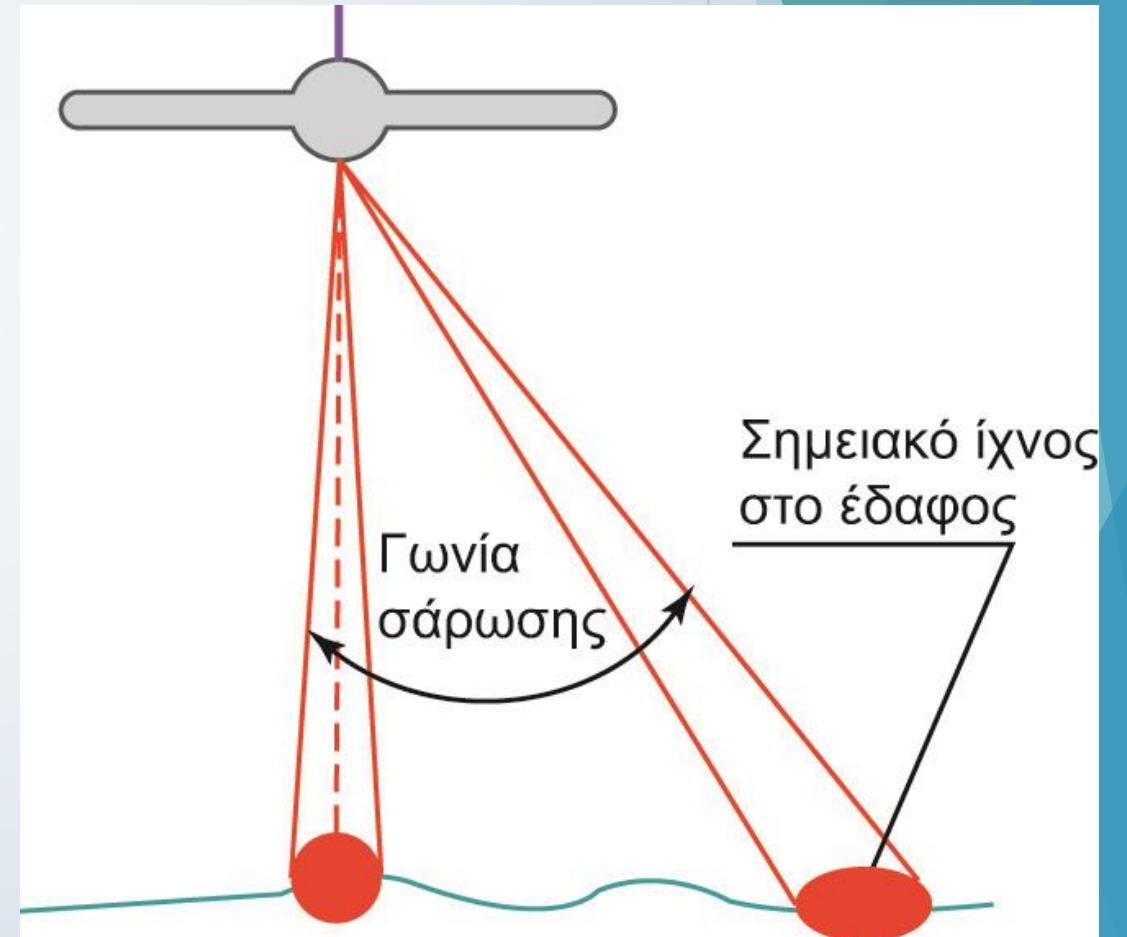
**Τοπογραφικά – 50000 Hz / Βυθομετρικά – 500 Hz**



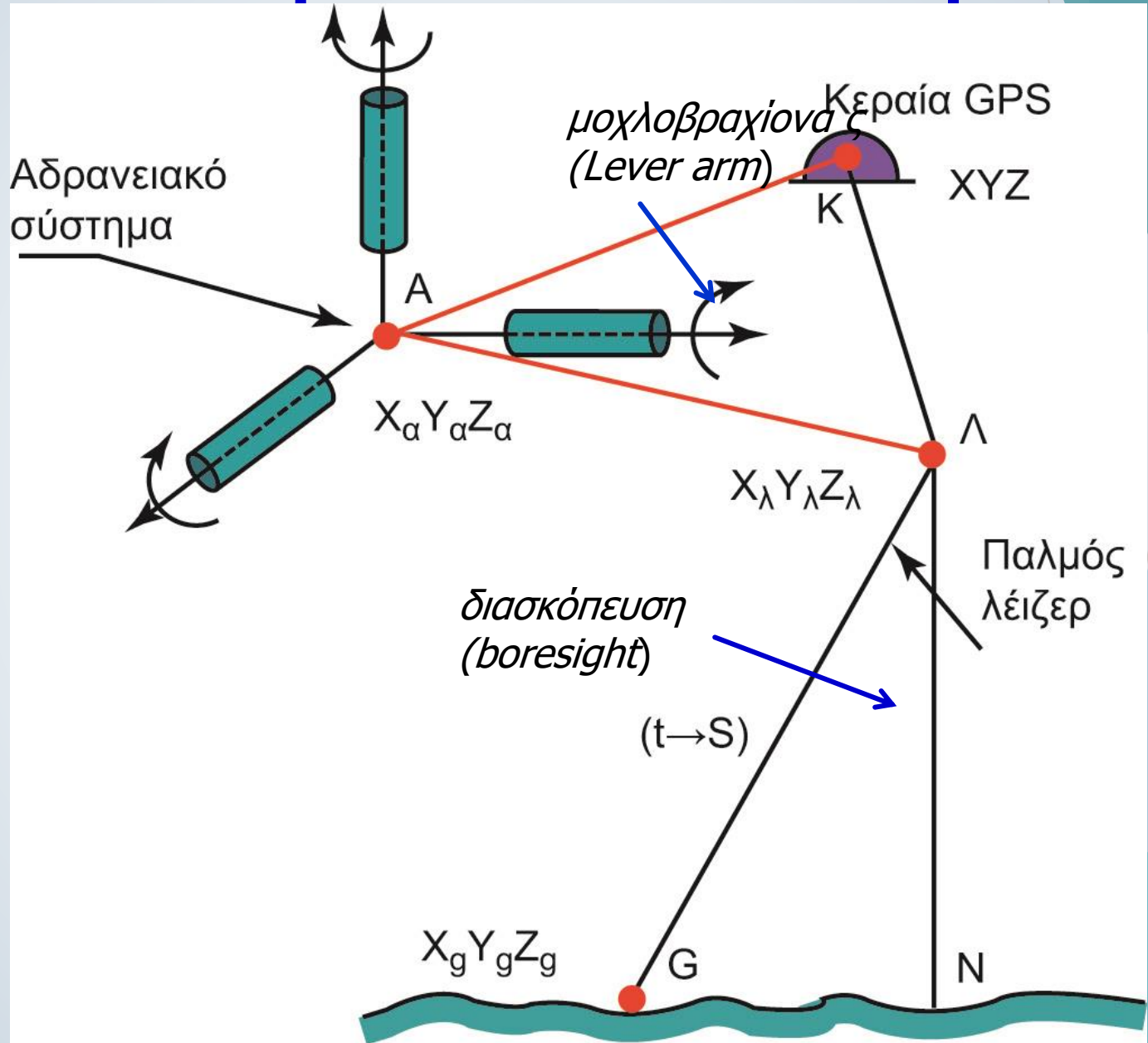
## Σάρωση με λέιζερ



# Βασικές αρχές του Λίνταρ (Lidar)



# Το αδρανειακό σύστημα



Αδρανειακό σύστημα

μοχλοβραχίονα (Lever arm)  
Κεραία GPS  
XYZ

διασκόπηση (boresight)  
(t→S)

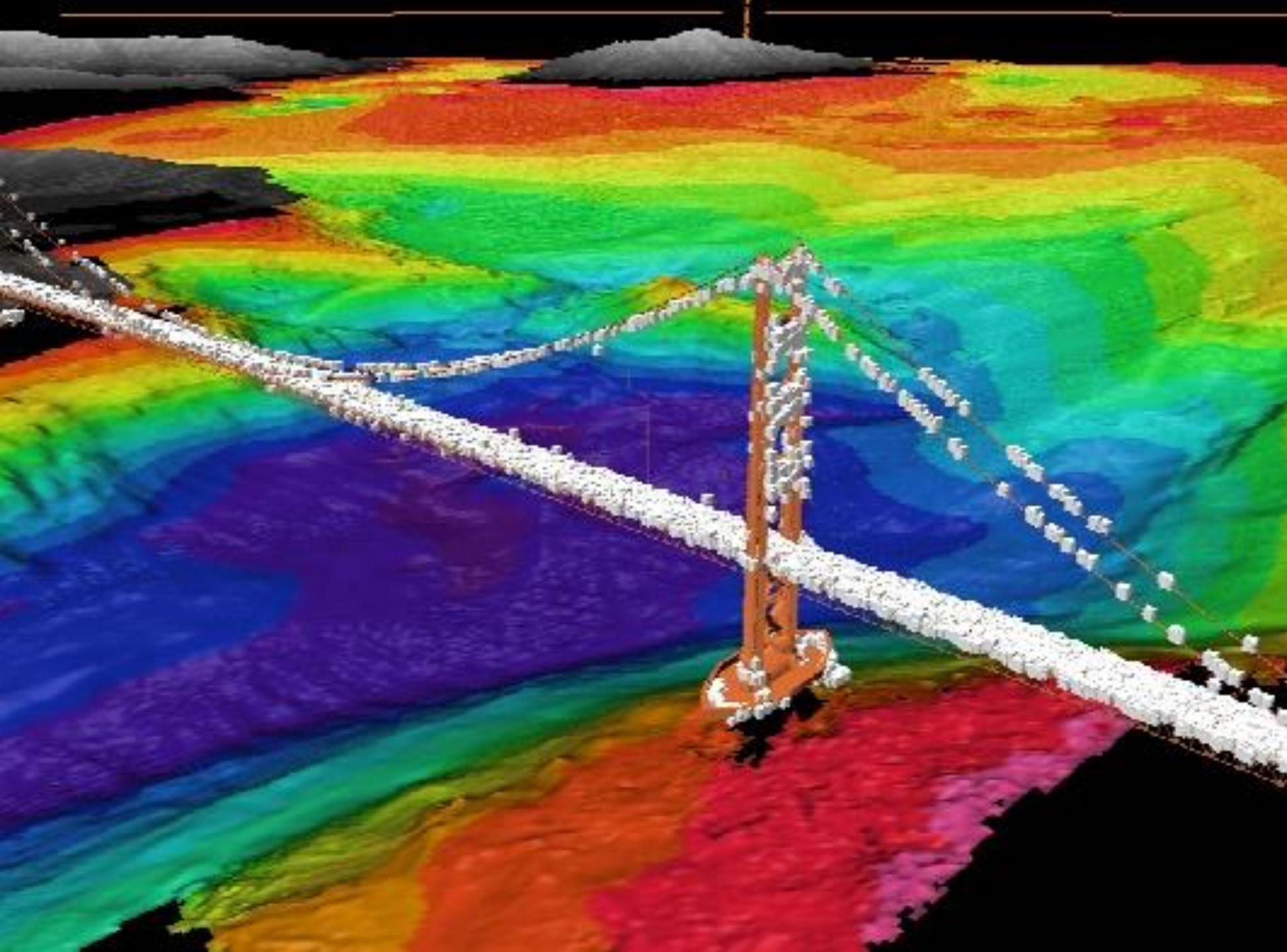
Παλμός λέιζερ

Πάνω σε κάθε ένα από τους τρεις αυτούς άξονες είναι τοποθετημένο ένα γυροσκόπιο δακτυλίου με λέιζερ καθώς και ένα επιταχυνσιόμετρο (accelerometer).

Τα γυροσκόπια μετρούν τρεις αντίστοιχες γωνίες στροφής γύρω από τον κάθε άξονα ενώ τα τρία επιταχυνσιόμετρα καταγράφουν το μέγεθος και τη χρονική διάρκεια της γραμμικής επιτάχυνσης κατά μήκος του κάθε άξονα αντίστοιχα.

Οι διαστάσεις του IMU είναι περίπου 8x8x8 cm







# Ταυτόχρονη τοπογράφηση βυθού και παράκτιας ζώνης



# Συστήματα IfSAR InterFerometric Synthetic Aperture Radar (Ραντάρ συμβολομετρίας με συνθετική κεραία)

Το ραντάρ *Radiation Detection and ranging* (ανίχνευση ακτινοβολίας και μέτρηση απόστασης)

Συστήματα εθνικής άμυνας για την ανίχνευση αεροπλάνων και άλλων αντικειμένων.

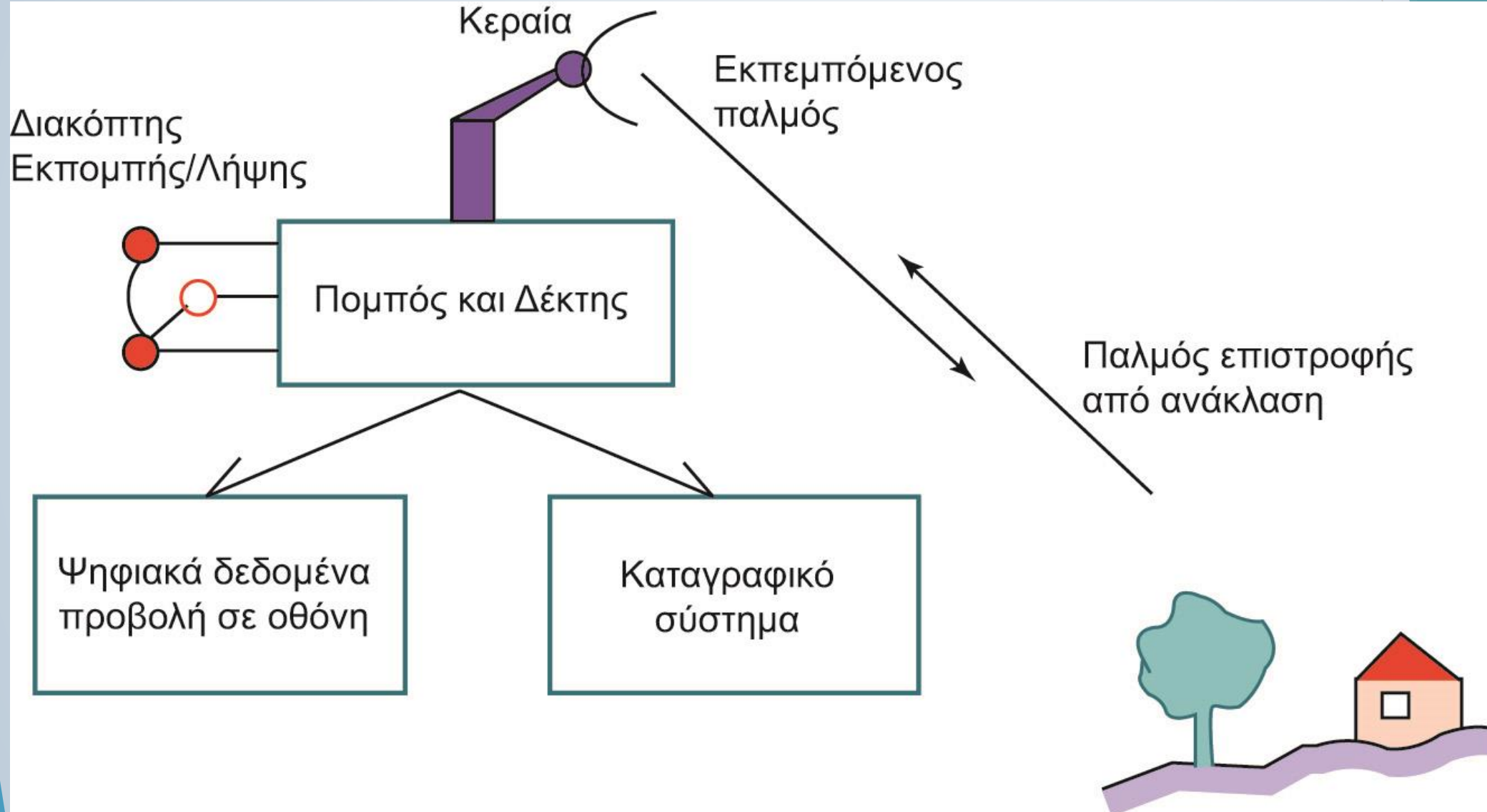
Πλεονέκτημα: μέρα ή νύκτα παντός καιρού

Βασικές αρχές: ένας ηλεκτρονικός διακόπτης εναλλάσσει στην κεραία την αντίστοιχη κατάσταση εκπομπής ή λήψης.

Ένας παλμός εκπέμπεται σε κατάσταση εκπομπής του συστήματος.



# Βασικές αρχές του Ραντάρ





# Το ραντάρ μετρά

Το ραντάρ μετρά: χρόνο, απόσταση, ισχύ του επιστρεφόμενου παλμού, πόλωση σε δύο κάθετα επίπεδα ένα οριζόντιο-Η και ένα κατακόρυφο-V. ΗΗ, ΗV, VH, VV

Η συνθετική κεραία πετυχαίνεται όταν από το ίδιο σημείο στο έδαφος παίρνονται πολλές επιστροφές, συνήθως μέχρι πέντε, οπότε το μήκος της συνθετικής κεραίας ισούται με την απόσταση που διάνυσε το αεροπλάνο στο χρονικό διάστημα να γίνουν οι πέντε επιστροφές.

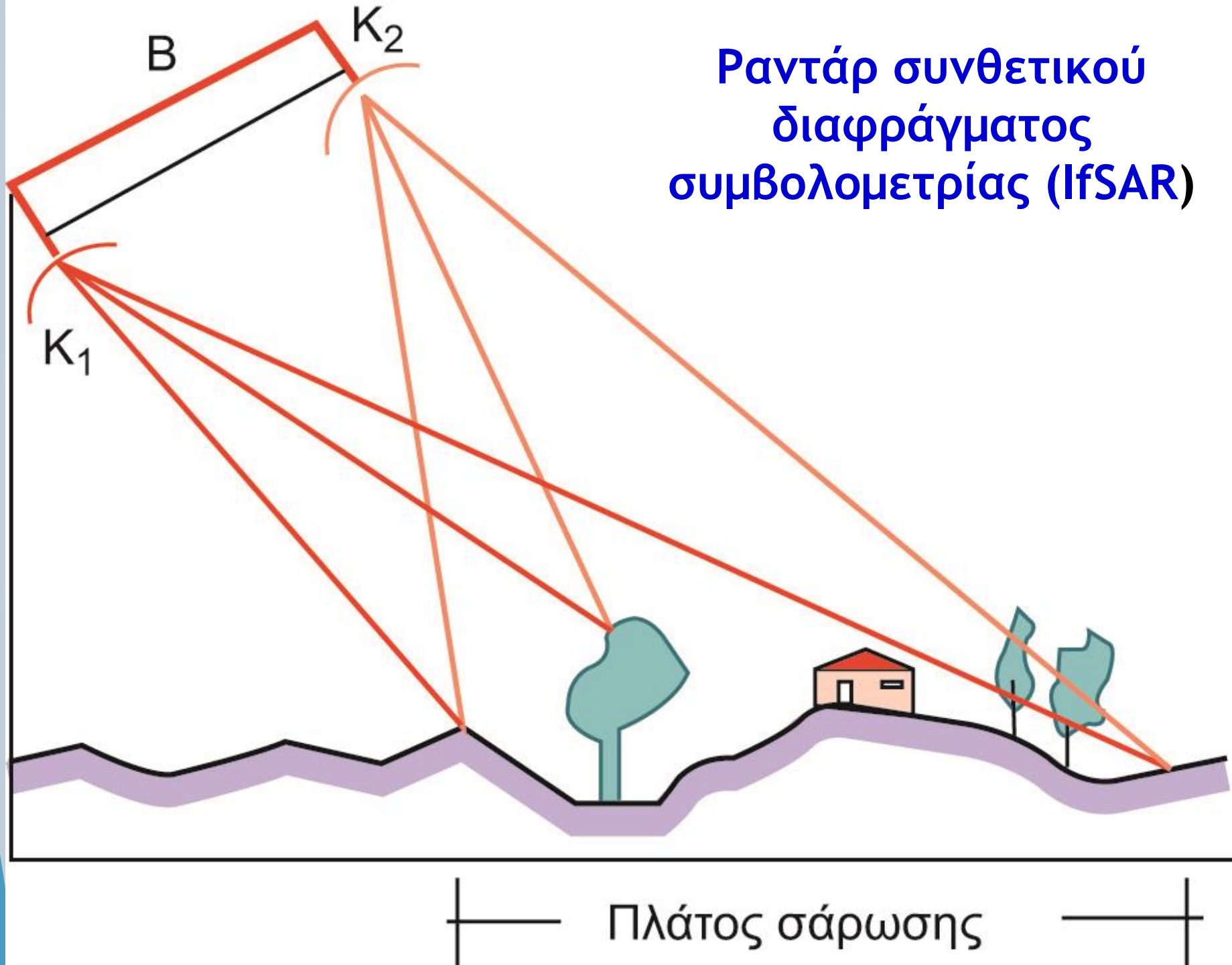
Το μήκος της κεραίας είναι σημαντικό γιατί όσο μεγαλύτερο είναι τόσο η ακρίβεια προσδιορισμού της θέσης του σημείου αυξάνει.

# Συμβολομετρία

Η συμβολομετρία πετυχαίνεται με δύο κεραίες, ή με δύο διαδοχικές διαδρομές από μία κεραία.

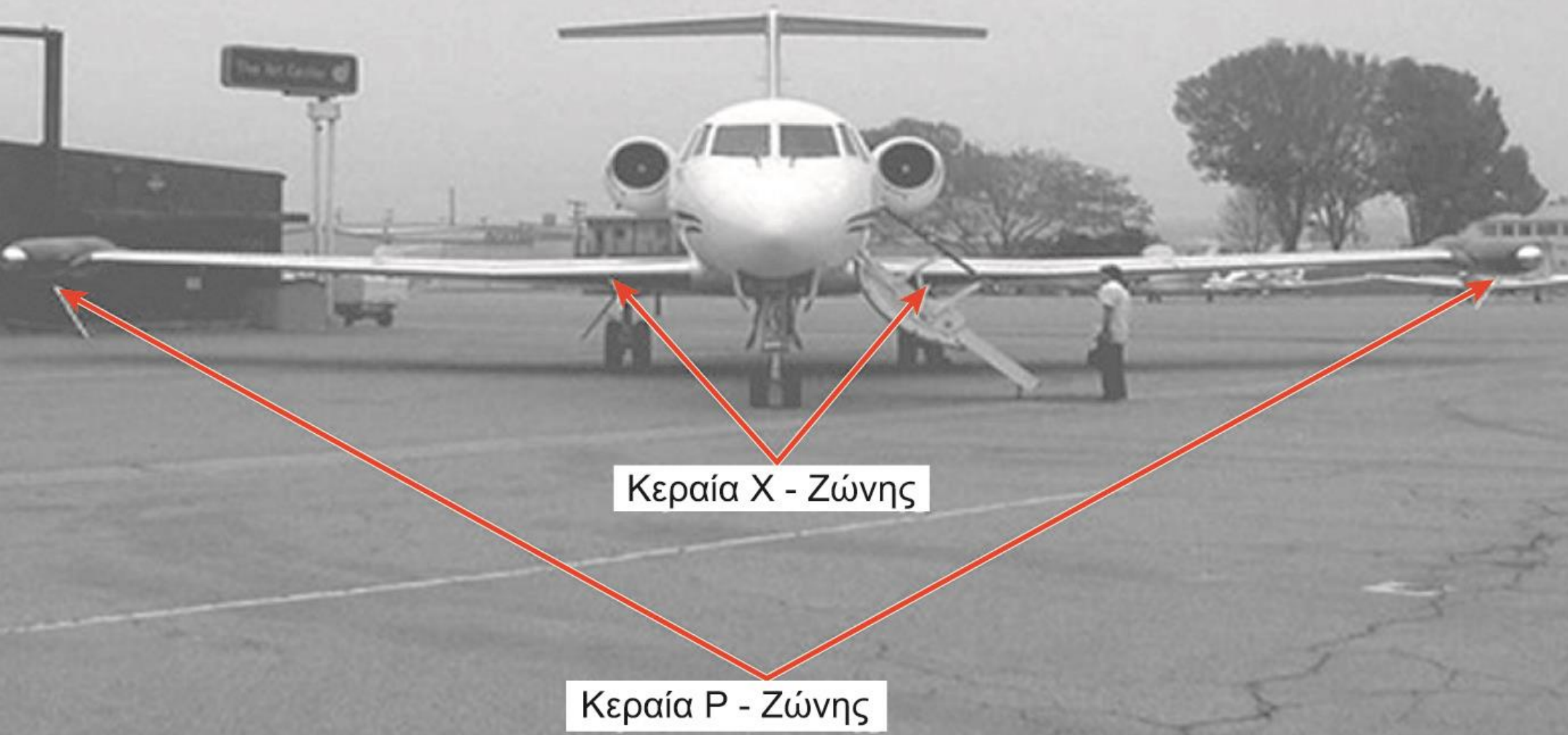
Σε πολλές χρησιμοποιούνται τέσσερις κεραίες, δύο στην μπάντα-P για να συλλέγουν δεδομένα από την ανάκλαση του παλμού στο έδαφος και άλλες δύο στην μπάντα-X, για την ανάκλαση του παλμού από τη φυλλωσιά που καλύπτει το έδαφος

# Ραντάρ συνθετικού διαφράγματος συμβολομετρίας (IfSAR)





# Σύστημα GeoSAR

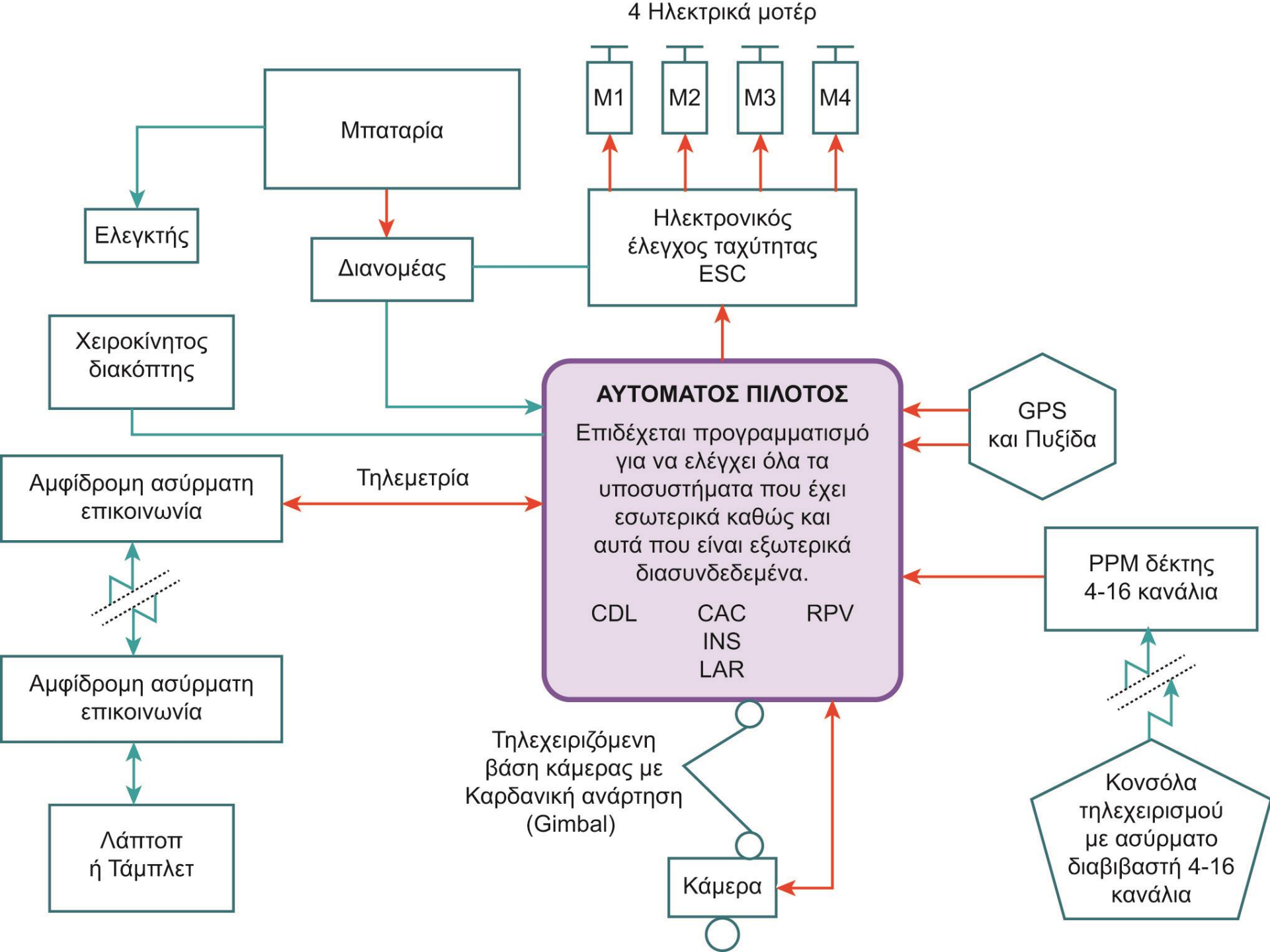


# Συστήματα μη Επανδρωμένων Αεροσκαφών (ΣμηΕΑ)

Η χρήση συστημάτων μη επανδρωμένων αεροσκαφών (ΣμηΕΑ) - (*Unmanned Aerial Vehicles UAV / Unmanned Aerial Systems UAS, drones*), όπως αεροπλάνων (*fixed wing planes*), ελικοπτέρων και πολυκοπτέρων (*multicopters*), όπως είναι τα τετρακόπτερα (*quadcopters*), οκτακόπτερα (*octocopters*), ελικοπτέρων, κλπ., έχουν ενισχύσει τις δυνατότητες της συλλογής γεωμετρικών στοιχείων του γεωγραφικού χώρου.

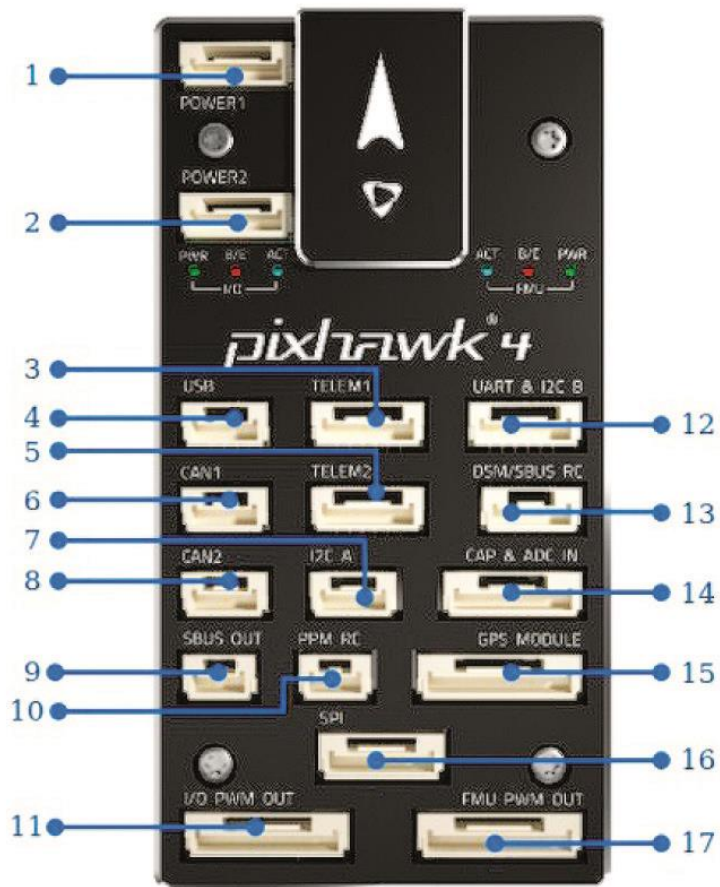
Τα ΣμηΕΑ έχουν σχετικά χαμηλό κόστος και σε μεγάλο βαθμό τείνουν να πλησιάσουν σχεδόν όλες τις δυνατότητες που έχει η αεροφωτογράφιση.

Το μεγαλύτερο πλεονέκτημα είναι ότι δεν χρησιμοποιούν ιπτάμενο πιλότο, αλλά χειριστή στο έδαφος και προγραμματισμένη πτήση, η οποία εκτελείται με αυτόματο τρόπο.



**Σχηματικό διάγραμμα με τις συνιστώσες που ελέγχει ο αυτόματος πιλότος**





1. Power module 1
2. Power module 2
3. Telemetry 1 (radio telemetry)
4. USB
5. Telemetry 2 (companion computer)
6. CAN1 (controller area network) bus
7. I<sup>2</sup>C (for I<sup>2</sup>C splitter to use additional sensors)
8. CAN2 (controller area network) bus
9. S.BUS out for S.Bus servos
10. Radio Control Receiver Input (PPM)
11. Main outputs (I/O PWM out)
12. UART and I2C (for additional GPS)
13. Radio Control Receiver Input (DSM/SBUS)
14. Input Capture and ADC IN
15. GPS module
16. SPI (serial peripheral interface) bus
17. AUX outputs (FMU PMU out)

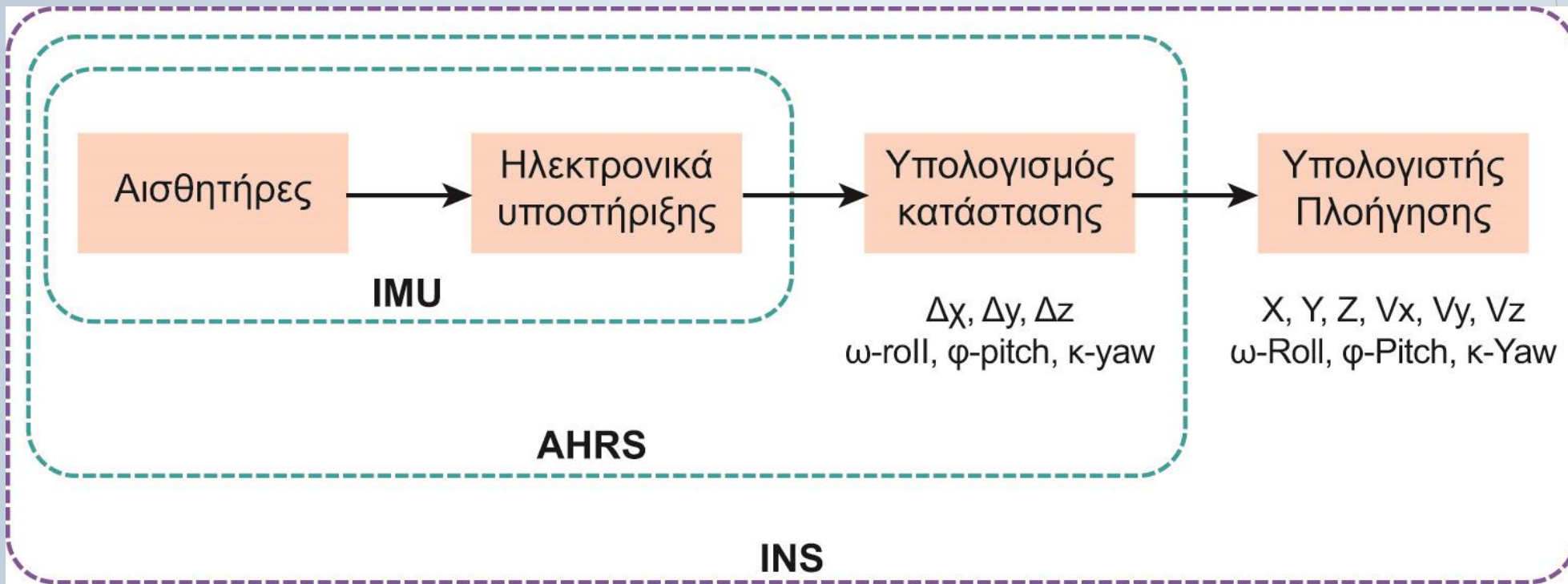


1. Micro-USB Port
2. IO Reset button
3. SD card
4. FMU Reset button



Το τσιπ του αυτόματου πιλότου mRo Pixhawk Flight Controller (Pixhawk 1). Να σημειωθεί ο μεγάλος αριθμός διασυνδέσεων που μπορεί να έχει και η αντίστοιχη μεγάλη δυνατότητα να ελέγχει ταυτόχρονα πολλά υποσυστήματα και λειτουργικές μονάδες

# Το Αδρανειακό Σύστημα Πλοήγησης (INS)



Η επεξεργασία των δεδομένων και η έξυπνη μείξη των πληροφοριών από ποικίλους αισθητήρες  
→ AHRS πλοήγησης για τα UAV,

άλλα συστήματα μπορούν να αποτύχουν να αντισταθμίσουν τις λανθασμένες αναγνώσεις, από μετρήσεις σειράς ή την έλλειψη δεδομένων εισόδου σε ένα συγκεκριμένο περιβάλλον (π.χ. πετώντας σε ένα περιβάλλον χωρίς σήμα GPS).

Το σύστημα πλοήγησης στο UAV επιτρέπει την εκτέλεση του ακριβούς και αξιόπιστου ελέγχου πτήσης κάτω από ιδιαίτερα δυναμικές συνθήκες, καθώς επίσης και σε υποβαθμισμένα περιβάλλοντα

# Γενική προετοιμασία της πτήσης

Η αποστολή αεροφωτογράφισης πρέπει να έχει άδεια πτήσης και να έχει πληροφορίες για τα εξής ζητήματα:

1. Το σύνολο του έργου που το ΣμηΕΑ καλείτε να φέρει εις πέρας
2. Τα Παραδοτέα Προϊόντα
3. Το Χρόνο διεξαγωγής και προετοιμασίας
4. Τις επικρατούσες συνθήκες κατά την διεξαγωγή του Έργου



# Η προετοιμασία και οι διαδικασίες καταγραφής περιλαμβάνουν:

## 1. Το σχεδιασμό πτήσης που περιλαμβάνει:

- 1) τον αριθμό των εικόνων που θα ληφθούν από την πλατφόρμα.
- 2) τη χωρική διακριτική ικανότητα.
- 3) τις διαστάσεις των φωτογραφιών στο έδαφος (*footprint*).
- 4) το χρόνο πτήσης.
- 5) το μήκος των γραμμών πτήσης και η μεταξύ τους απόσταση.

## 2. Τα σημεία ελέγχου και τη σήμανση τους

# Έλεγχος καιρικών συνθηκών

- Η μέγιστη ταχύτητα του αέρα να μην ξεπερνάει το *Airspeed* x 1.5.
- Να μην υπάρχει βροχόπτωση στην περιοχή.
- Στην ηλιοφάνεια να επιλέγεται η κατάλληλη ταχύτητα του κλείστρου (shutter speed) και φωτοευαισθησίας (ISO).
- Η θερμοκρασία περιβάλλοντος να είναι εντός των ορίων των αισθητήρων.
- Να ελέγχεται αν υπάρχει στην περιοχή Solar Radiation και σκιές.
- Να μην υπάρχουν ανοδικά ρεύματα πάνω από 5 m/s.

# Έλεγχος πριν την έναρξη της πτήσης (Check list)

- Έλεγχος της/των προπέλας/ων ότι είναι σωστά τοποθετημένη/ες.
- Έλεγχος της/των μπαταρίας/ων ότι είναι σωστά φορτισμένη/ες.
- Έλεγχος των κινούμενων μερών για την ελεύθερη κίνησή τους.
- Έλεγχος των κινήσεων (throttle/pitch, aileron, elevator, rudder).
- Περιμετρικός έλεγχος της πλατφόρμας ότι όλα τα εξαρτήματα είναι διασφαλισμένα πάνω στην πλατφόρμα.
- Έλεγχος του αυτόματου πιλότου ότι είναι σωστά τοποθετημένος στην θέση του.
- Έλεγχος του πεδίου από/προσγειώσεως.



# Η διαδικασία με την οποία ξεκινάει κάθε μια πτήση θα πρέπει κάθε φορά να τηρείται προσεκτικά:

- **Camera connected and On** Η κάμερα είναι συνδεδεμένη και σε λειτουργία
- **Power on Transmitter (if not 2.4Ghz, check other frequencies on the field)**  
Διαβιβαστής (αν δεν είναι 2.4Ghz, να ελεγχθούν άλλες συχνότητες στο πεδίο)
- **Check Transmitter for throttle down, flight modes: manual or stabilized.**  
Έλεγχξε διαβιβαστή με ελάχιστο γκάζι, πτήση: χειριστής ή σταθεροποιημένη
- **Power on the UAV platform** Δώσε ισχύ στην πλατφόρμα
- **Telemetry connection from ground station.** Διασύνδεση τηλεμετρίας με σταθμό εδάφους
- **Check the sensors for normal operation.** Έλεγχξε λειτουργία αισθητήρων
- **GPS Satellites >8 and HDOP <1.8.** Αριθμός δορυφόρων >8 και HDOP <1.8
- **Check flight plan and secure that have written on the autopilot.**  
Έλεγχξε το σχέδιο πτήσης και σιγουρέψου ότι έχει διαβιβαστεί στον autopilot
- **Secure the field.** Ασφάλισε την περιοχή
- **Arm the autopilot.** Όπλισε τον αυτόματο πιλότο

# Εργασία με ΣμηΕΑ σταθερών πτερύγων (fixed wind)

Στόχευε στη χαρτογράφηση του Κάστρου της Μυτιλήνης με αεροφωτογράφιση.

Τελικά προϊόντα είναι οι αεροφωτογραφίες, το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο και η ορθοφωτογραφία.

Άδεια ΥΠΑ, και ειδική άδεια από την Κ' Υπηρεσία Βυζαντινών Αρχαιοτήτων.

Το ΣμηΕΑ Ελληνικής κατασκευής (<http://ucandrone.com/>) και έφθασε λυμένο σε σακίδιο για εύκολη μεταφορά αεροπορικώς ή με το καράβι και συναρμολογήθηκε επί τόπου το βάρος του αεροπλάνου ήταν δύο κιλά.

# Απογείωση με χειροκίνητο πέταγμα του ΣμηΕΑ, δεξιά η κονσόλα πλοήγησης

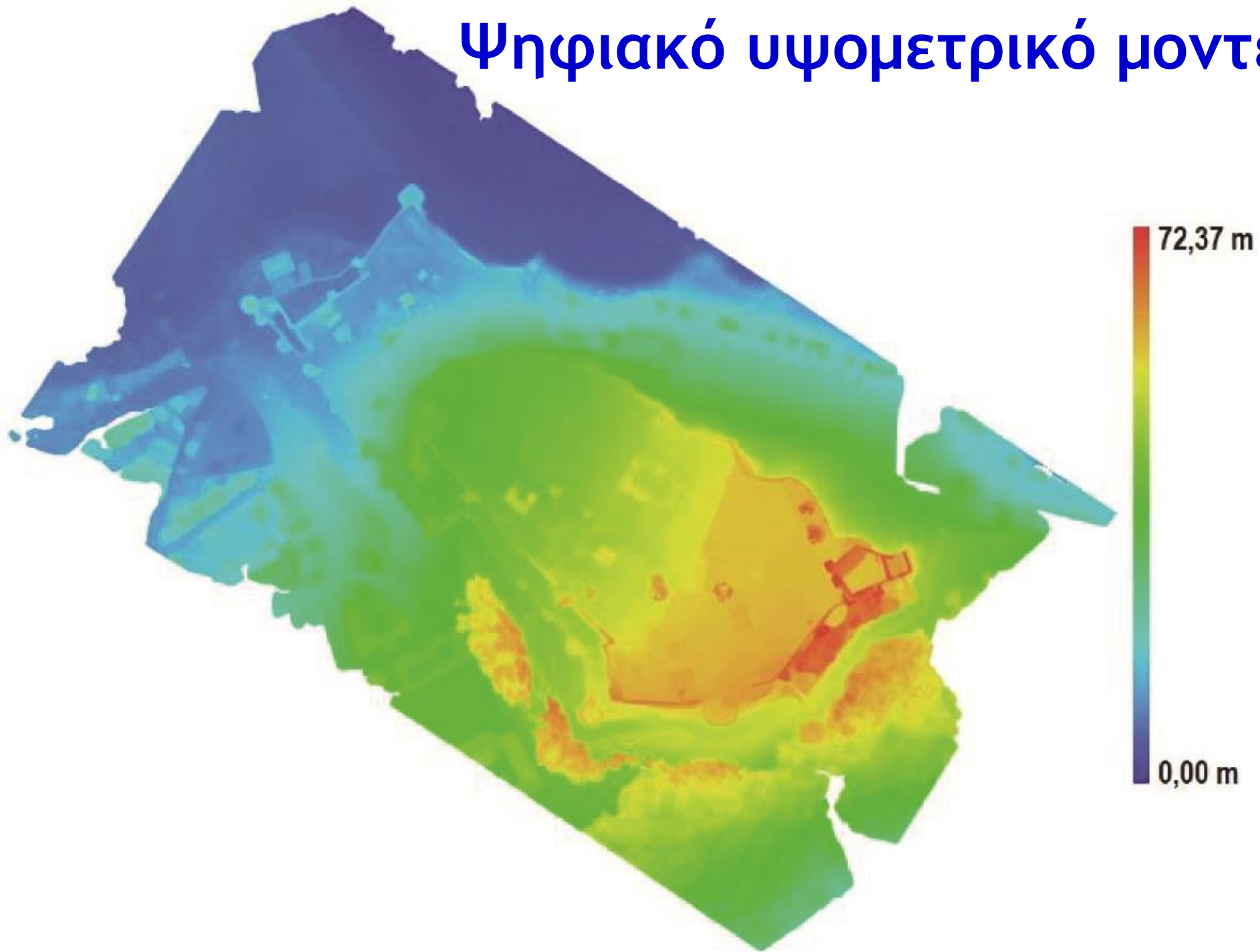






Ένα  
χαρακτηριστικό  
εδάφους που  
φαίνεται σε  
τουλάχιστο 4  
εικόνες παρμένες  
από δύο  
διαφορετικές  
λωρίδες

# Ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο





# Η ορθοφωτογραφία





# Εργασία με ΣμηΕΑ οκτακόπτερο (octocopter)

Η εργασία αυτή στόχευε στη χαρτογράφηση του μνημείου Θόλος στους Δελφούς με αεροφωτογράφιση για συντήρηση του μνημείου και του περιβάλλοντα χώρου και για αποκατάσταση.

Ήταν μέρος της άσκησης μεταπτυχιακών φοιτητών στην Αρχαιομετρία του Τμήματος Μεσογειακών σπουδών του Πανεπιστημίου Αιγαίου με υπεύθυνο τον Καθηγητή Ιωάννη Λυριτζή.

Τελικά προϊόντα είναι οι αεροφωτογραφίες, το ψηφιακό υψομετρικό μοντέλο και η ορθοφωτογραφία.

Άδεια από την ΥΠΑ, και ειδική άδεια από την Αρχαιολογική Υπηρεσία Φωκίδος. Παράλληλα με την αεροφωτογράφιση χρησιμοποιήθηκε σε συνεργασία με το Εργαστήριο Φωτογραμμετρίας του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου (Υπεύθυνος καθηγητής Ανδρέας Γεωργόπουλος), και επίγειος σαρωτής λέιζερ καθώς και επίγεια φωτογραμμετρία για τη χαρτογράφηση κατακόρυφων επιφανειών.

# Ο Θόλος

είναι ένα μνημείο των Δελφών αφιερωμένο στην Αθηνά Προναία ή Μαρμαρία.

Η κατασκευή του εκτιμάται μεταξύ 400-375 π. Χ., από τον αρχιτέκτονα Θεοδώρου από τη Φώκεια της Μικράς Ασίας.

Έχει μια κυκλική βάση διαμέτρου 13,50 m, που περικλείεται από 20 δωρικού ρυθμού κολώνες στον εξωτερικό κύκλο και 10 στον εσωτερικό κύκλο.

Επί του παρόντος έχουν αποκατασταθεί τρεις κολώνες του εξωτερικού κύκλου με τις αντίστοιχες μετόπες.



# Το μνημείο Θόλος στους Δελφούς

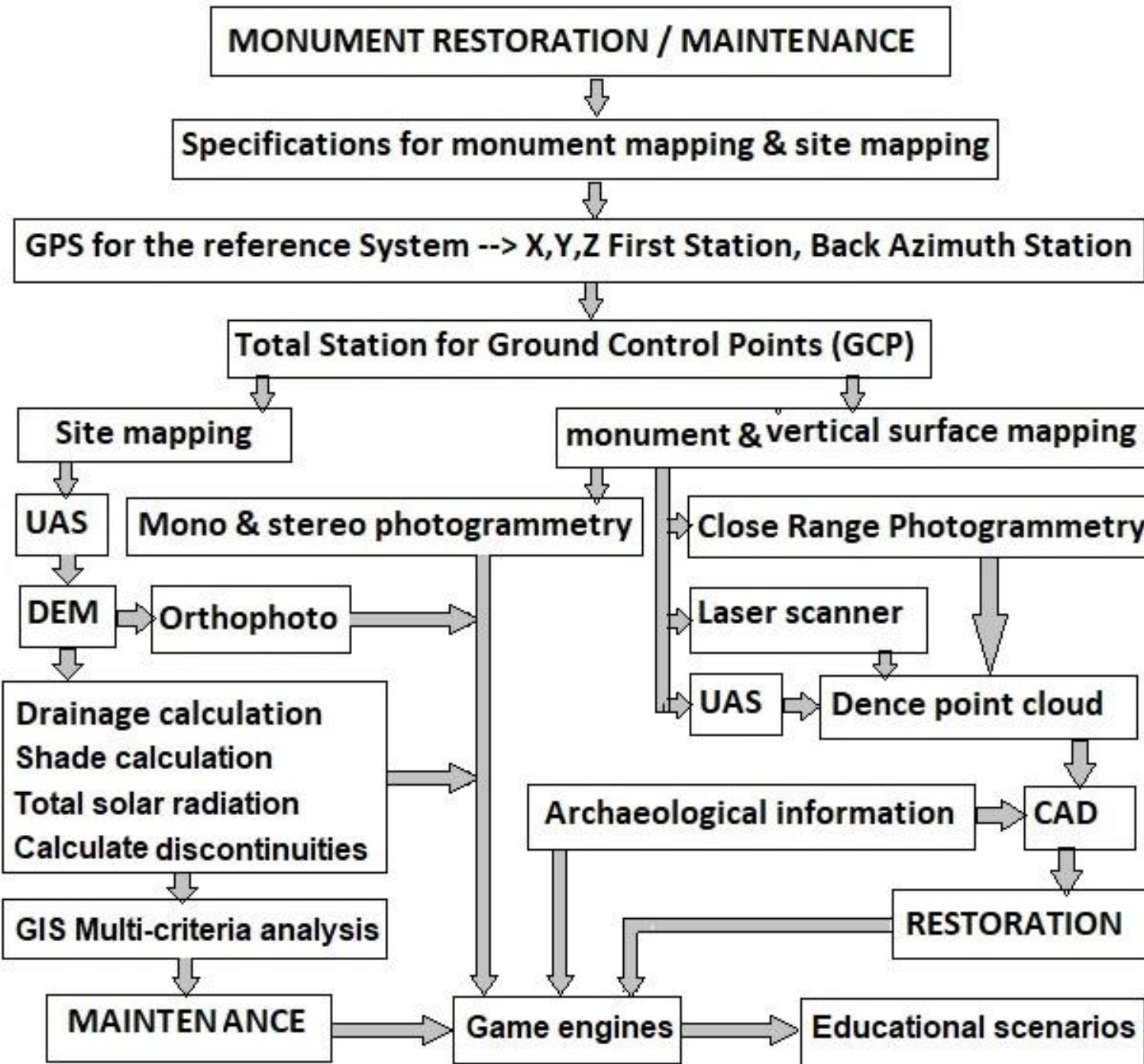
Από τις 20 κολώνες που είχε το  
μνημείο μόνο τρεις έχουν αναστηλωθεί





# Σχεδιασμός έργου και προδιαγραφές

Η ακρίβεια που αναμένεται από την επίγεια φωτογραμμετρία και από το σαρωτή λέιζερ είναι  $\pm 1$  cm. Τα σημεία ελέγχου στο έδαφος για το ΣμηΕΑ, την επίγεια φωτογραμμετρία και το σαρωτή λέιζερ θα μετρηθούν με ολικό σταθμό με μια ακρίβεια  $\pm 5$  mm. Το μοντέλο αποκατάστασης του θόλου θα έχει οριζόντια ακρίβεια  $\pm 1,0$  cm και κατακόρυφη ακρίβεια  $\pm 1,0$  cm.



## Το ΣμηΕΑ

που χρησιμοποιήθηκε ήταν οκτακόπτερο (octocopter) Ελληνικής κατασκευής (<http://ucandrone.com/>) και έφθασε λυμένο σε σακίδιο για εύκολη μεταφορά αεροπορικώς ή με το καράβι.

Στο επόμενο Σχήμα φαίνεται το οκτακόπτερο κατά τη στιγμή της απογείωσης.

Τα στοιχεία λήψης και η τεχνολογία που χρησιμοποιήθηκε δίνονται στον Πίνακα 1.

**Το οκτακόπτερο κατά τη στιγμή της απογείωσης, φαίνεται και η κάμερα**





# Λεπτομερή στοιχεία για τη λήψη αεροφωτογραφιών

<b>ΣμηEA Specific</b>	
ΣμηEA Airframe Type	Multicopter / octa-copter
Avionics - Autopilot	Opensource Hardware Software PIXHAWK 2.1
GPS Type	Dual Ublox NEO-M8P High Precision GNSS Modules
Payload Capacity	2 kg
Flight Time @ maximum payload and Cruise speed	19 minutes
Cruise Speed	5 m/s
Max Speed	16 m/s
Ground Station and ΣμηEA Category	A2, Line of Sight (LOS) With waypoint control
Radio Communications	Amateur License 433 band radio telemetry, 2.4GHz Control
<b>Payload Sensor</b>	
Sensor Type	42MP Full-Frame Exmor R BSI CMOS RGB
Image Width/Height [Pixels]	7952 x 5304
Sensor Width/Height [mm]	35.814 x 23.876
Lens Focal Length	28 mm
<b>Flight Plan and Derivatives</b>	
Flight Time	5 minutes (2'30'' excluding Take-off & Landing)
Area	8000 m <sup>2</sup>
Sidelap/Overlap	75%
Number of Captions	52
Min. Shutter speed	1/1249
Flight Altitude	50m
Ground Sample Distance	0,8cm
Triggering and Geotagging method	Sony-Multi port USB Trigger event via PWM and logging
Attribute logging	Active IMU and GPS logging (400Hz, 10Hz respectively)



Το διάγραμμα πτήσης, σχεδιάστηκε από το Mission Planner πάνω στο Google Earth





# Επεξεργασία

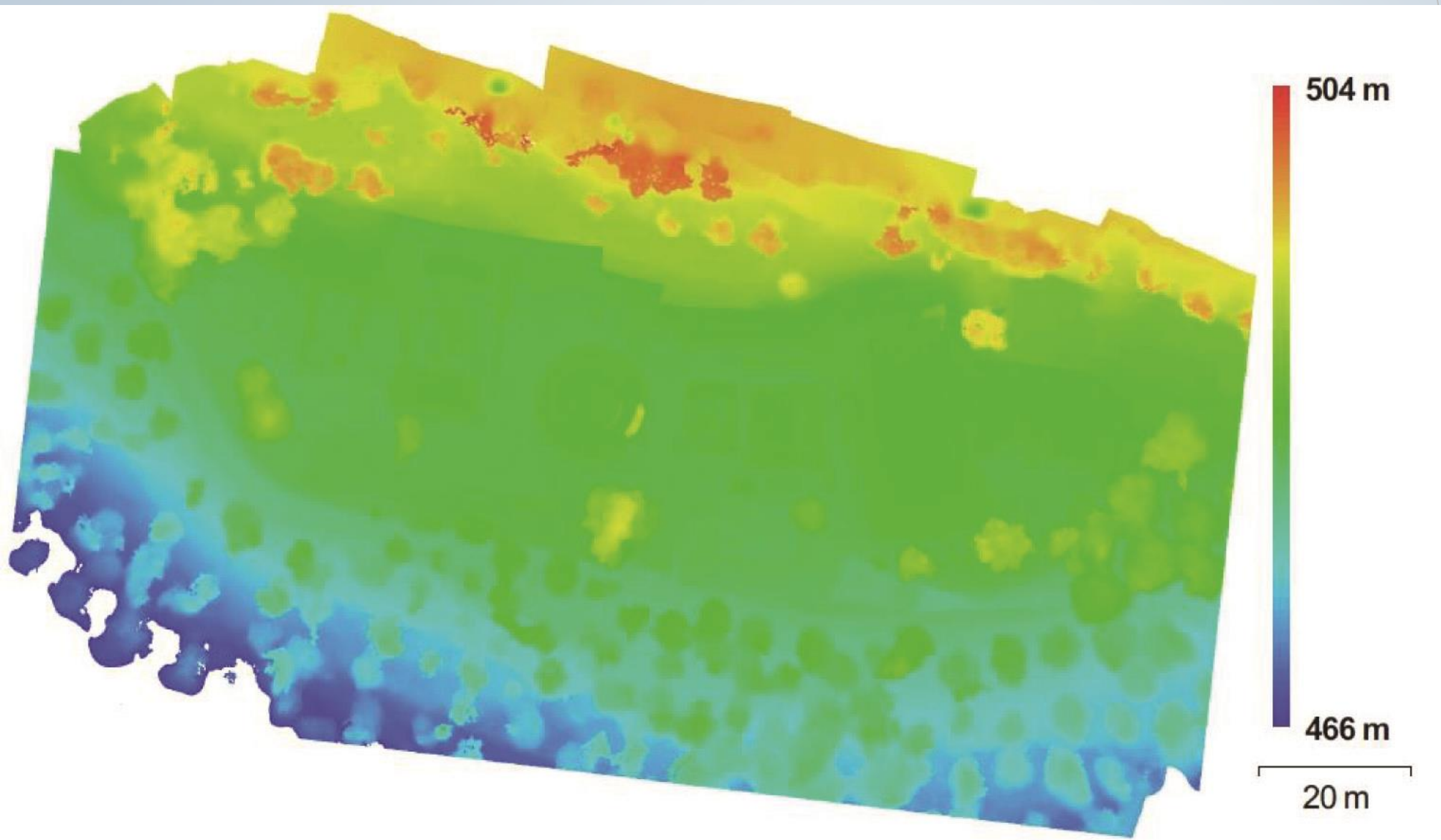
**Το λογισμικό που χρησιμοποιήθηκε και εδώ είναι το Agisoft Photoscan.**

**Αρχικά γίνεται η σύνθεση του φωτομωσαϊκού ολόκληρης της περιοχής με τη βοήθεια του Data Log file**

**Στη συνέχεια αναγνωρίζονται τα μετρημένα στο έδαφος με ολικό σταθμό σημεία ελέγχου (ground control points - GCP) σε όλες τις φωτογραφίες, που αυτά εμφανίζονται και έτσι συμβάλουν στη γεωαναφορά της περιοχής στο ενιαίο σύστημα αναφοράς ΕΓΣΑ 87 και σε μια πρώτη εκτίμηση του σφάλματος.**



# Το ψηφιακό μοντέλο εδάφους DTM





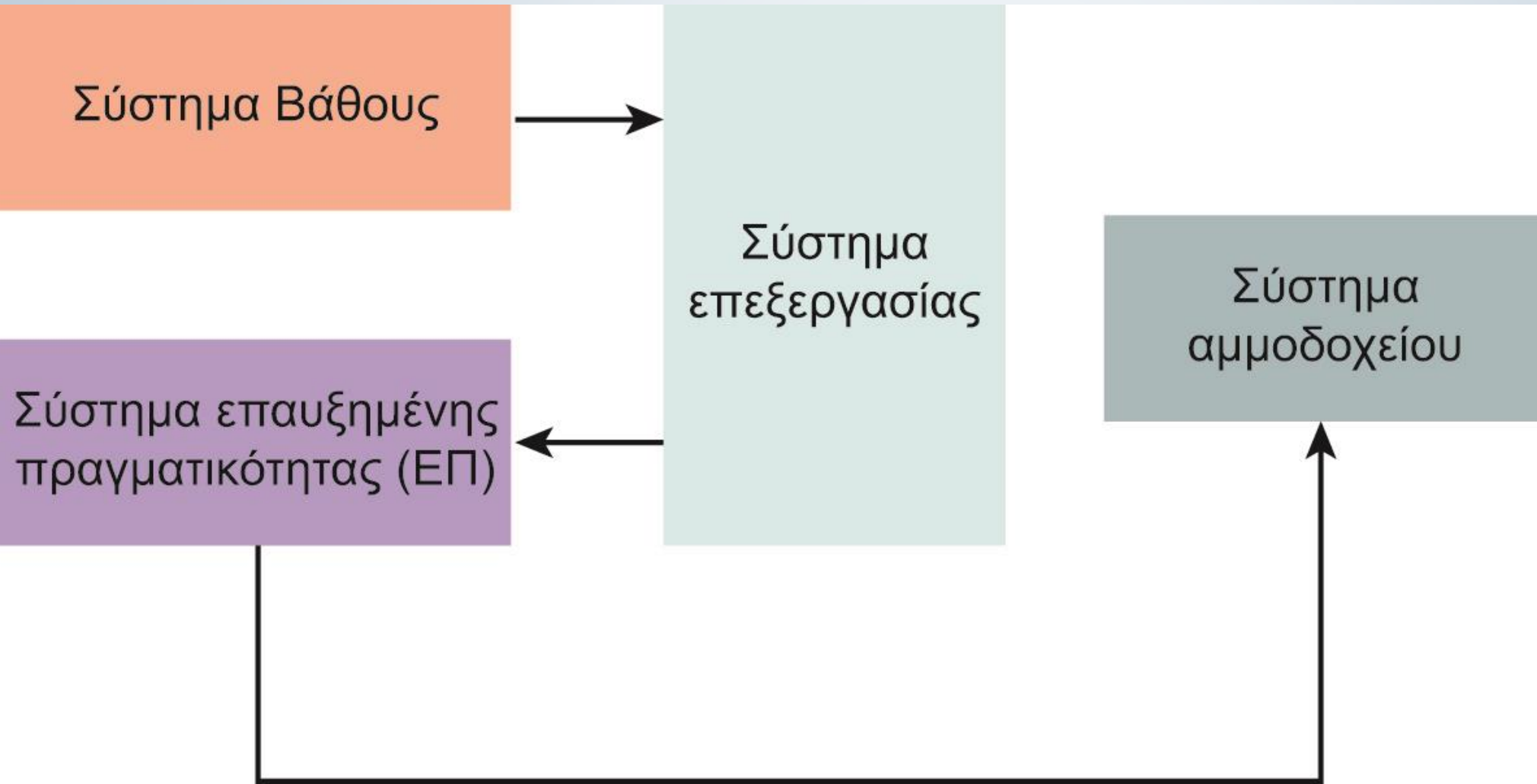
Model DSC00056.jpg

Παράθυρο 3D

# Ορθοφωτογραφία από τη δημιουργία πυκνού νέφους σημείων ((5.417.319 σημεία).

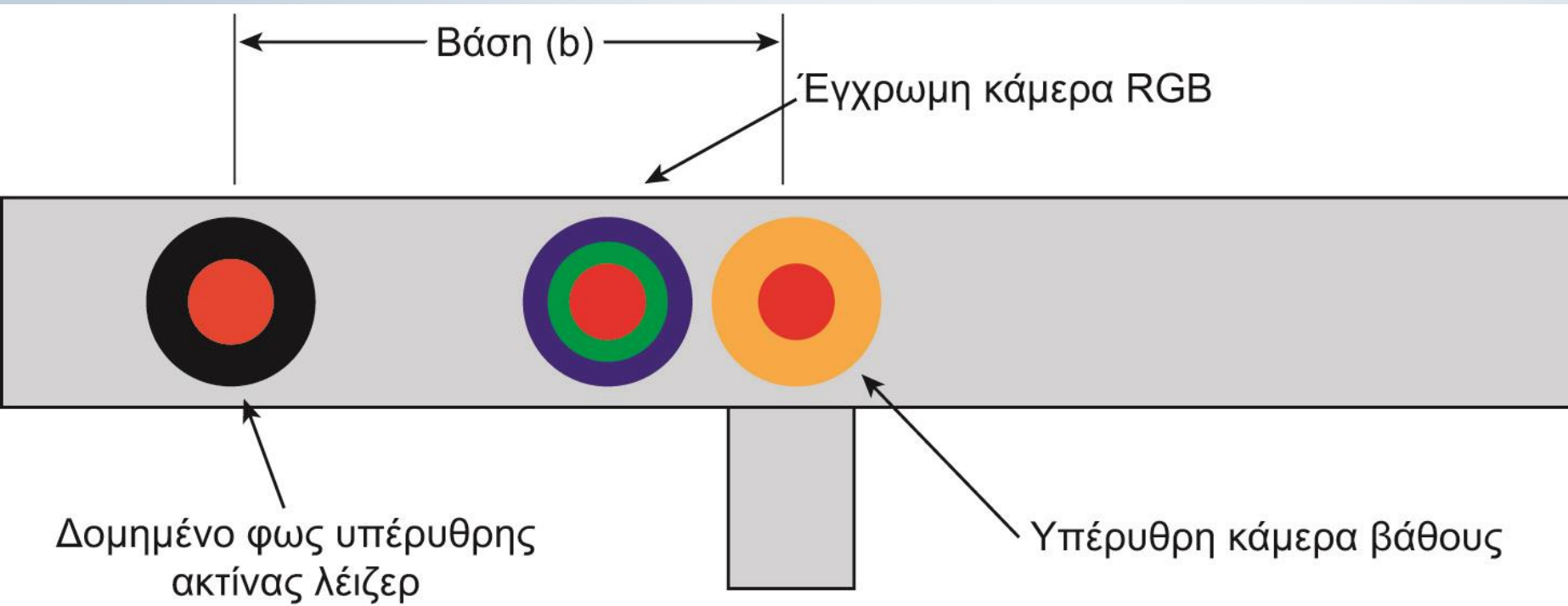


# Επισκόπηση του συστήματος επαυξημένης πραγματικότητας





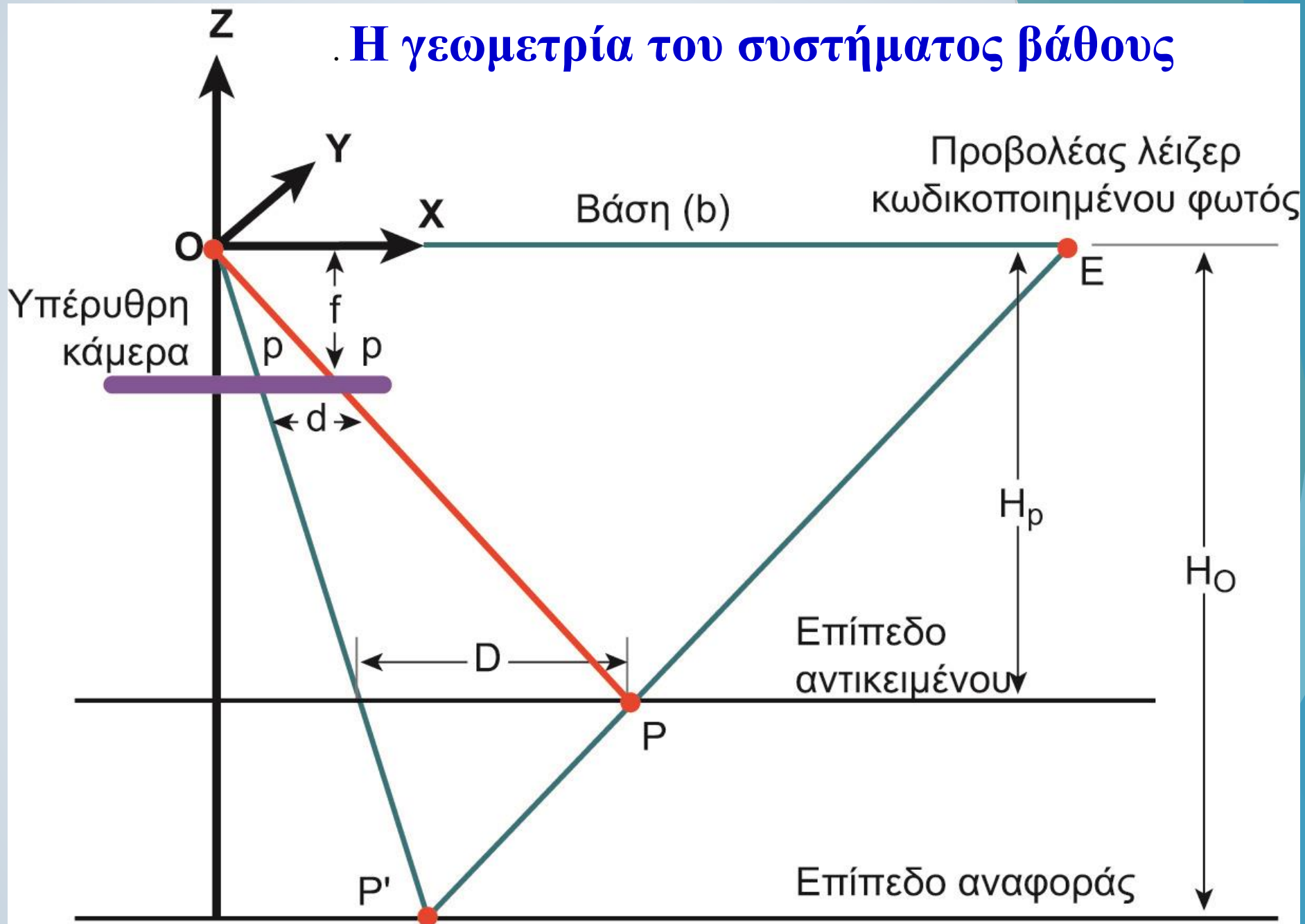
# Το σύστημα μέτρησης βάθους



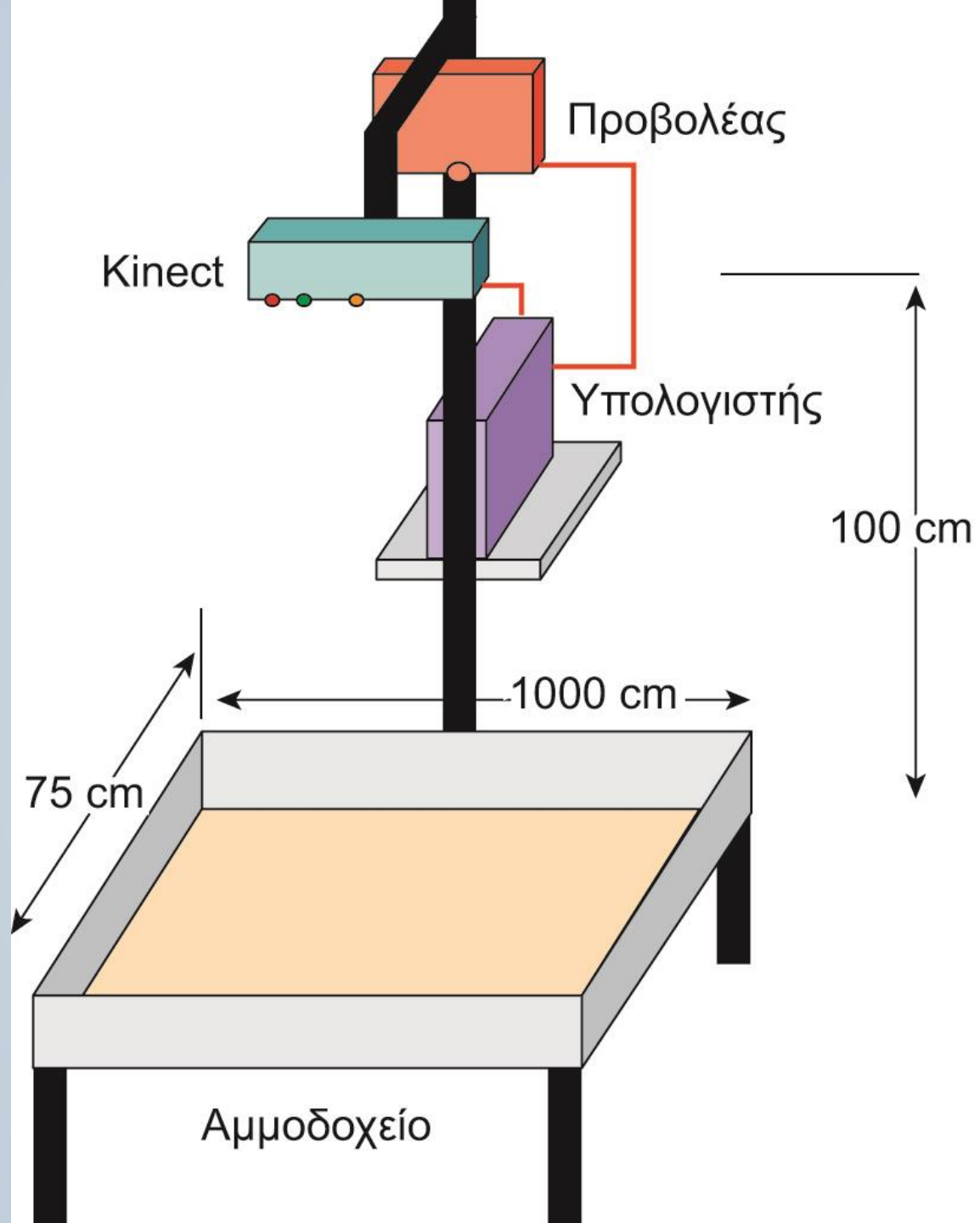


**Ένα πραγματικό  
πρόσωπο μαζί με  
μια εικόνα  
επαυξημένης  
πραγματικότητας  
στα δεξιά στον  
ίδιο τρισδιάστατο  
χώρο**

# Η γεωμετρία του συστήματος βάθους

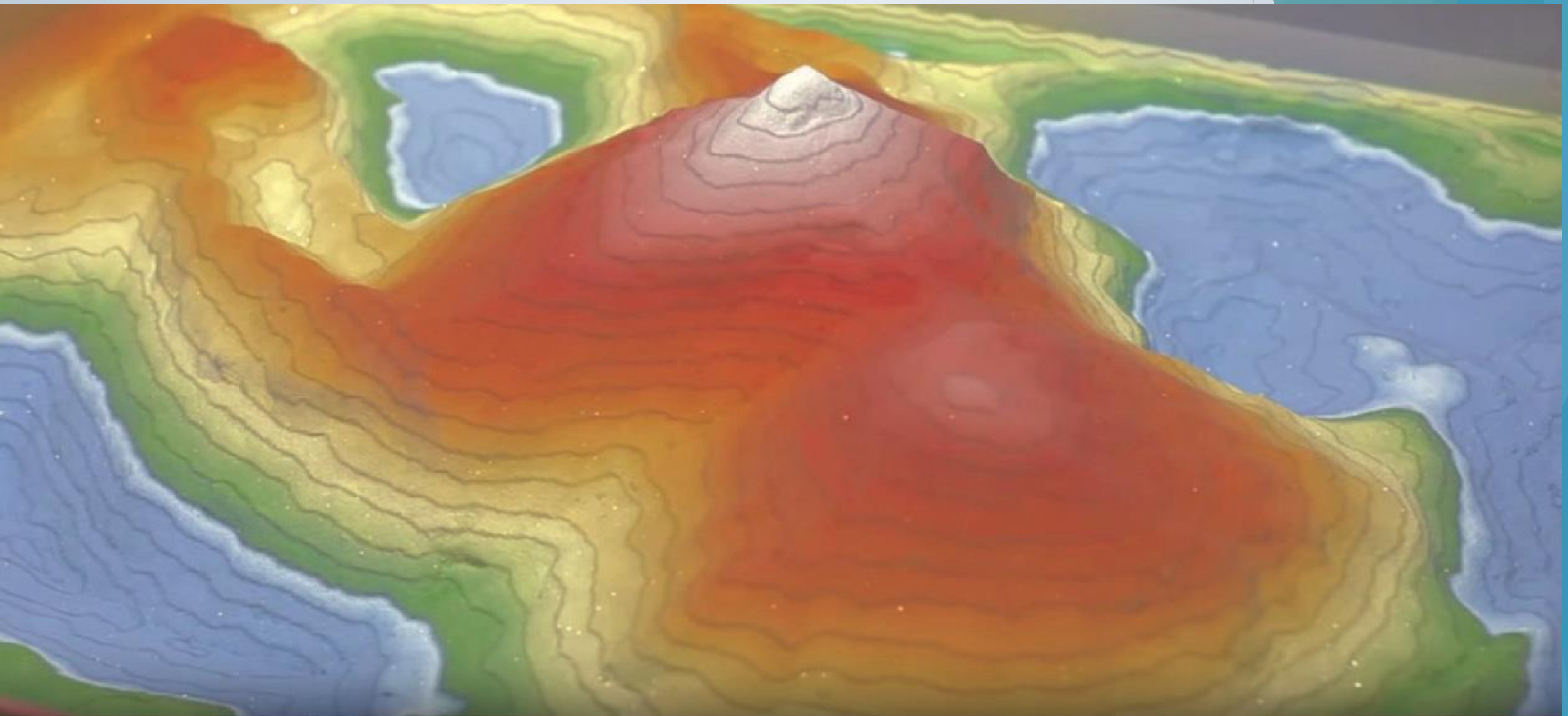






## Η διάταξη του αμμοδοχείου

# Το οπτικό αποτέλεσμα της τοπογραφίας του εδάφους και της συμπεριφοράς του ύδατος στο αμμοδοχείο



Source: <https://www.youtube.com/watch?v=uTPOE2XceEA>



# iSandBox για στρατιωτική εκπαίδευση





	IFSAR	LIDAR	Φωτογραμμετρία
Δέκτης	Μικροκυματικός συνήθως στην X-Band, 3cm μήκος κύματος. Ενεργό, σύγχρονο σύστημα	Κοντινό υπέρυθρο περίπου 1 μm μήκος κύματος. Ενεργό, σύγχρονο σύστημα	Παθητικός οπτικός δέκτης
Γεωμετρία εικόνας	Βλέπει πλάγια, τυπικές γωνίες όρασης είναι από: 30° μέχρι 60°. 1.Λόγω της γωνίας όρασης περιορίζεται η διαπερατότητα στο δάσος	Ναδίρ, με τυπική γωνία πρόσπτωσης: +/- 20°(max 35°) Άμεσος προσδιορισμός πολικών συντεταγμένων. Καλύτερη διαπερατότητα στο δάσος με γωνίες σάρωσης κοντά στο Ναδίρ – έτσι δημιουργείται καλύτερο ΨΜΕ.	Ναδίρ. Απαιτείται εμπροσθοτομία για προσδιορισμό 3-D συντεταγμένων. Περιορισμένη διαπερατότητα λόγω της φύσης της εμπροσθοτομίας κοντά στο Ναδίρ.
Τυπικές συνθήκες λειτουργίας	1. Σχεδόν ανεξάρτητο καιρού και φωτισμού. 2. Προδιαγραφές STAR-3i: 3. Ύψος πτή: 6000 to 10000 m. 4. Ταχύτητα: 750 km/hour. Εύρος σάρωσης: 6 – 10 km, εξαρτάται από ύψος πτήσης.	1. Εξαρτάται από τον καιρό. 2. Ύψος πτήσης: 300 to 2000 m. 3. Ταχύτητα: 200 km/hour 4. Εύρος σάρωσης: έως 1 km, εξαρτάται από το ύψος πτήσης.	1. Εξαρτάται από τον καιρό και τον φωτισμό. 2. έχει πολλές επιλογές για ταχύτητα και ύψος πτήσης
On-board GPS/INS	1. Απαραίτητο για άμεση γεωαναφορά	1. Απαραίτητο για άμεση γεωαναφορά	Όχι απαραίτητο αλλά αν χρησιμοποιηθεί μειώνει τον αριθμό σημείων ελέγχου
Συνήθης τρόπος λήψης δείγματος	‘Τμήμα επιφάνειας’, συμπλήρωση της εικόνας με ψηφίδες άμεση συναρμολόγηση της εικόνας στην έξοδο σε κανονικό πλέγμα, π. χ., 5 x 5 m.	‘Σημειακό’, ακανόνιστη λήψη δείγματος. Διάμετρος σημείου: 10 – 100 cm, ανάλογα με ύψος πτήσης. Απόσταση σημείων: 1 – 5 m. Απαιτείται παρεμβολή για τη δημιουργία κανονικού πλέγματος	‘σημειακό - γραμμικό’ για συλλογή με χειριστή. Ο χειριστής ελέγχει τον τρόπο δειγματοληψίας. ‘εκτατικό’ για αυτόματο ταίριασμα εικόνας. Η απόσταση δείγματος στο έδαφος εξαρτάται από την ανάλυση της σάρωσης (μέγεθος εικονοστοιχείου).
Φύση του ΨΥΜ	DSM (Digital Surface Model). Απαιτείται επεξεργασία για παραγωγή ΨΜΕ.	1. DSM. 2. Απαιτείται επεξεργασία για παραγωγή ΨΜΕ.	DTM/DSM από το χειριστή. DSM από συσχέτισμό εικόνων. Απαιτείται επεξεργασία για παραγωγή ΨΜΕ.
Υψομετρική ακρίβεια	30 cm to 3 m RESE	1. 15-50 cm RMSE	Εξαρτάται από την κλίμακα εικόνας και μπορεί να φθάσει σε ακρίβεια εκατοστού
Κόστος	1.Πολύ οικονομικό.	1.Σχετικά ακριβό	Ακριβό
Ενδείκνυται για	1. Απαιτήσεις σε: Ταχύτητα, μεγάλη έκταση και υψηλή ακρίβεια	Κατάλληλο για: ακρίβεια και απόδοση λεπτομέρειας χαρακτηριστικών εδάφους ή δασικές εκτάσεις	Πολύ μεγάλες εκτάσεις

## Σύγκριση των νέων τεχνολογιών Lidar, IfSAR με τη φωτογραμμετρία

# Βιβλιογραφία

1. Ιωάννης Ν. Χατζόπουλος, 2020, [Γεωχωροπληροφορική Τοπογραφία, 2η Έκδοση](#), Α. ΤΖΙΟΛΑ & ΥΙΟΙ Ο.Ε. Εκδόσεις, ISBN 978-960-418-653-2, 704 σελίδες Α4 τετράχρωμες, Κωδικός Βιβλίου στον Εύδοξο: 86054829.  
Περιλαμβάνει επιπλέον της Τοπογραφίας τα εξής: Τοπογραφία με Ντρονς (ΣμηΕΑ), Επαυξημένη πραγματικότητα, Διαδικτυακό ΓΣΠ (GIS) με σχεδιασμό διακομιστή, Συνοδευτικό υλικό 27 εκπαιδευτικά προγράμματα υπολογιστή ανάμεσα τους φωτογραμμετρία με αεροφωτογραφίες και Ντρονς (ΣμηΕΑ), συνόρθωση επίπεδων και κατακόρυφων δικτύων με MET, προβολικό μετασχηματισμό.
2. Hatzopoulos J., D. Stefanakis, A. Georgopoulos, S. Tapinaki, P. Volonakis, I. Liritzis , 2017, “[Use of Various Surveying Technologies to 3d Digital Mapping and Modelling of Cultural Heritage Structures for Maintenance and Restoration Purposes](#): The Tholos in Delphi, Greece”, Mediterranean Archaeology and Archaeometry, Vol. 17, No 4, (2017), pp. 311-336.