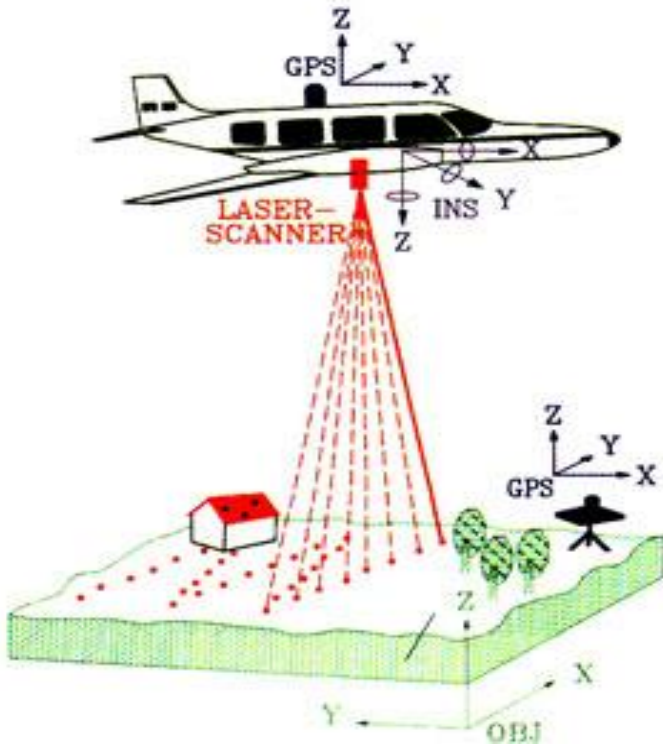


Διατάξεις συλλογής τοπογραφικών δεδομένων

- Τα τοπογραφικά στοιχεία είναι ο πυρήνας οποιουδήποτε προγράμματος σχετικού με γεωγραφικά συστήματα πληροφοριών (GIS).
- Η ακρίβεια και η λειτουργία προγραμμάτων GIS αλλά και το κόστος τους στηρίζονται σε μεγάλο βαθμό στην ακρίβεια των τοπογραφικών στοιχείων και στην ταχύτητα με την οποία μπορούν να συλλεχθούν.
- Είναι λοιπόν απαραίτητη η ανάπτυξη ευέλικτων, γρήγορων και μεγάλης ακρίβειας συστημάτων συλλογής τοπογραφικών δεδομένων.
- Τα συστήματα LIDAR έχουν αποδειχθεί ιδιαίτερα πρωτόπορα.

Λήψη τοπογραφικών δεδομένων.

LASER-SCANNING

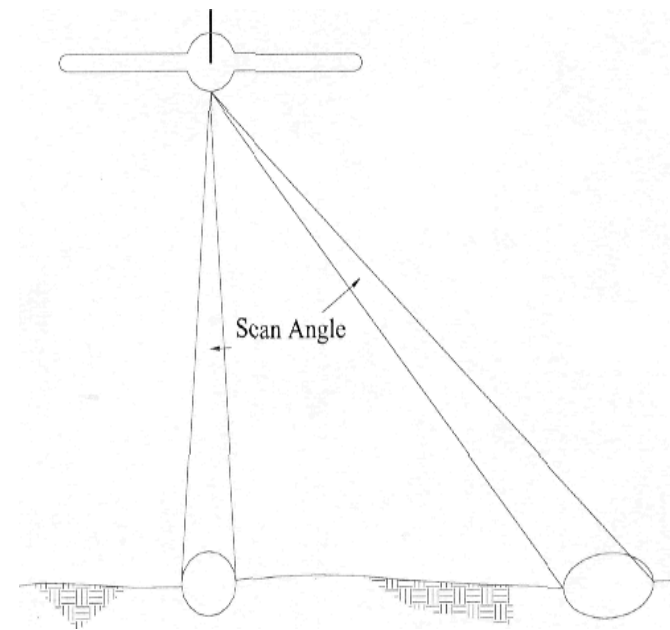


- Τα συστήματα LIDAR (Laser Altimetry) αποτελούνται από: laser, σύστημα ανίχνευσης, σύστημα δορυφορικού εντοπισμού (GPS) και αδρανειακό σύστημα μέτρησης (IMU).

- Το laser είναι τοποθετημένο σε ένα αεροσκάφος και η δέσμη του στέλνεται προς τη γη. Η δέσμη που αντανακλάται από το έδαφος και περιέχει πληροφορίες για τα χαρακτηριστικά γνωρίσματα του εδάφους, συλλέγεται από ένα δέκτη στο αεροσκάφος.

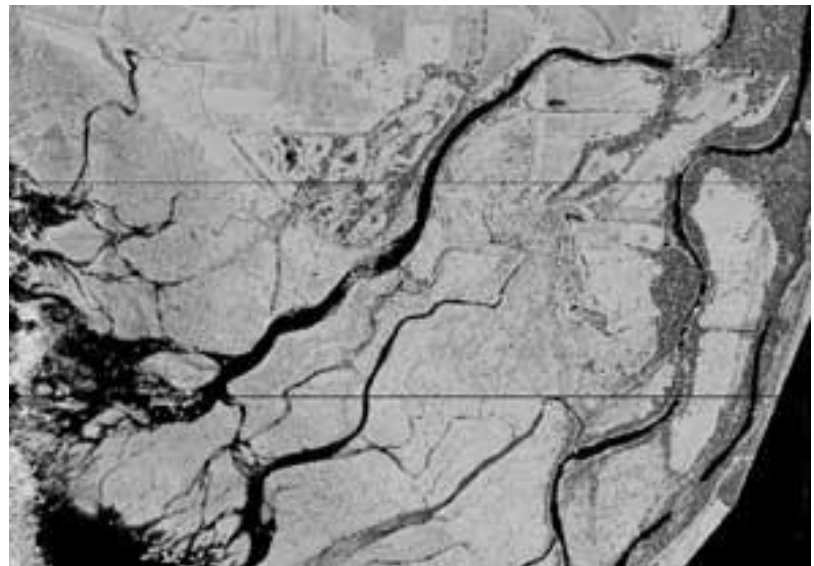
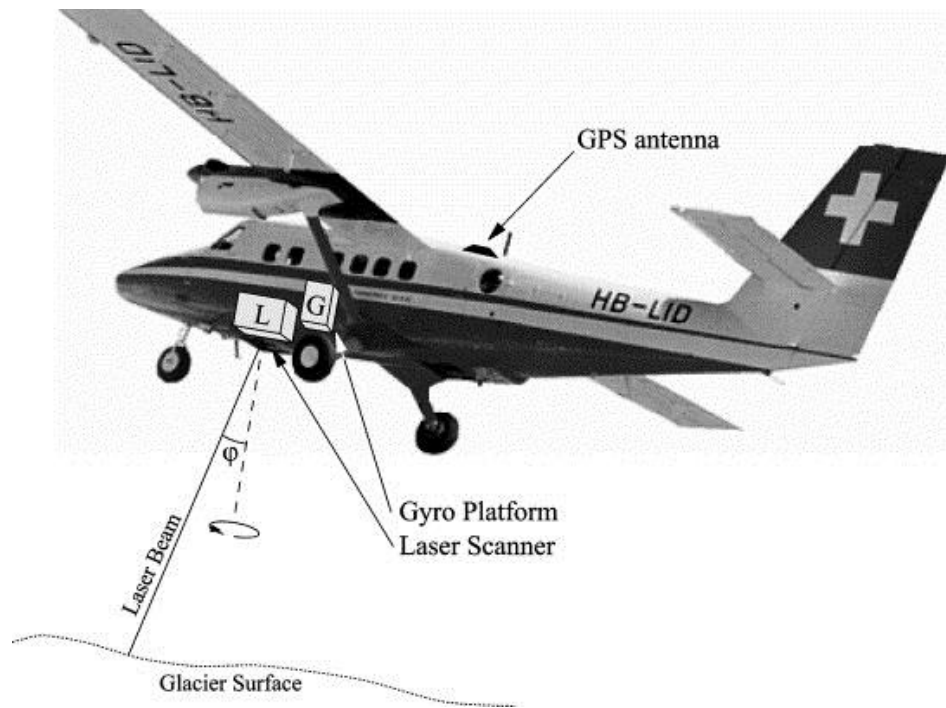
- Από το χρόνο που απαιτείται το σήμα να ταξιδέψει από το αεροσκάφος στο αντικείμενο και πίσω μπορεί να χαρτογραφηθεί το ανάγλυφο του εδάφους.

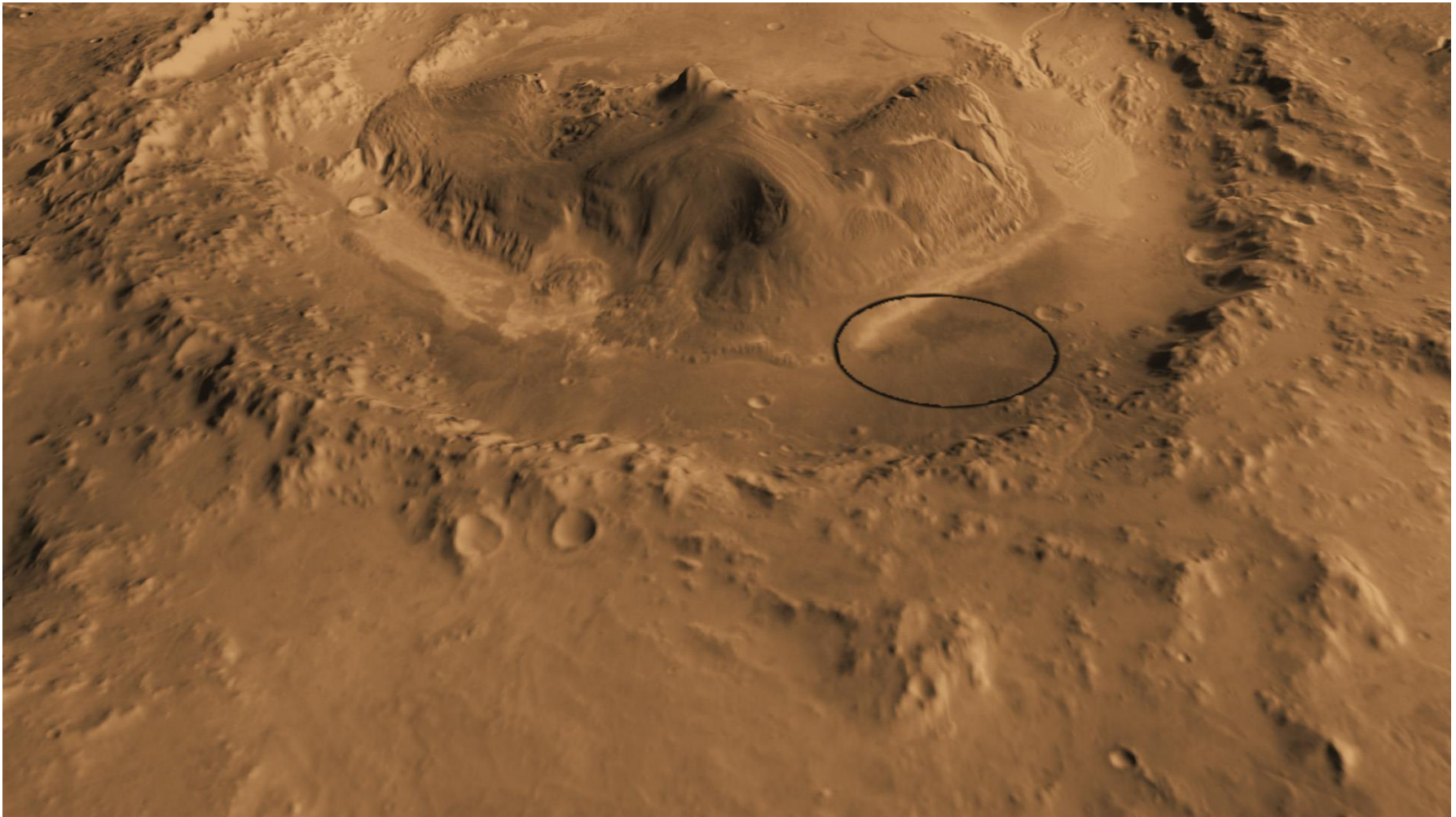
- Για τις εφαρμογές χαρτογράφησης μπορεί να χρησιμοποιηθεί είτε παλμικό είτε συνεχές laser.
- Στην πρώτη περίπτωση υπάρχει η δυνατότητα ακριβέστερου καθορισμού του χρόνου ταξιδιού της δέσμης, όμως, λόγω της μικρής χρονικής διάρκειας του παλμού, το ίχνος που καλύπτεται στο έδαφος είναι σχετικά μικρό. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα την δυσκολία επίτευξης αποδεκτών αποτελεσμάτων από πυκνούς και σύνθετους δασικούς θόλους.
- Αντίθετα, το σήμα επιστροφής από συνεχές laser καλύπτει ένα ευρύτερο ίχνος του εδάφους.
- Στην πράξη έχει βρεθεί ότι τα συστήματα laser που λειτουργούν με ρυθμό επανάληψης της τάξης μερικών kHz έχουν ικανοποιητική απόδοση για την λήψη των δεδομένων.



- Ο ανιχνευτής laser τοποθετείται σε ένα αεροσκάφος όπως μια εναέρια φωτογραφική μηχανή.
- Τα σήματα-ανακλάσεις συλλέγονται με καθρέφτη ανίχνευσης που περιστρέφεται κάθετα στην κατεύθυνση της πτήσης. Η γωνία ανίχνευσης είναι γενικά μικρότερη από 20° από την κατακόρυφο, δηλαδή γίνεται σάρωση με γωνία 40° .
- Το σήμα ανίχνευσης laser αντιστοιχεί σε ένα ίχνος στο έδαφος, το οποίο αναφέρεται ως στιγμιαίο οπτικό πεδίο (IFOV). Το πεδίο IFOV θα είναι ένας κύκλος μόνο αν το αεροσκάφος είναι επίπεδο και η ακτίνα ανίχνευσης κατακόρυφη, διαφορετικά το IFOV επιμηκύνεται διαμορφώνοντας μια ένα ελλειπτική διατομή.
- Πολύ συχνά, αντί για κινούμενο καθρέφτη χρησιμοποιείται ένα περιστρεφόμενο πρίσμα, που διατηρεί σταθερή ταχύτητα περιστροφής σε αντίθεση με τον καθρέφτη ο οποίος όταν πλησιάζει στο τέλος της ανίχνευσης επιβραδύνει, σταματά, αντιστρέφει την κατεύθυνσή του και επιταχύνεται ξανά, διαδικασία που περιορίζει την ακρίβεια καταγραφής.
- Πολλοί κατασκευαστές όμως θεωρούν ότι το σύστημα ανίχνευσης λέιζερ με καθρέφτες παράγει ακριβέστερα αποτελέσματα και χρησιμοποιούν ειδικό λογισμικό για να διορθωθεί η επίδραση της επιβράδυνσης.

- Το τοπογραφικό σύστημα LIDAR δεν καλύπτει μόνο ένα σημείο αλλά μάλλον μια περιοχή, οι διαστάσεις της οποίας εξαρτώνται από παραμέτρους όπως η απόκλιση της δέσμης και η διαστρέβλωση της.
- Γενικά, το μέγεθος του σήματος επάνω στο έδαφος είναι της τάξης 0.60 έως 3 m.
- Τα δεδομένα που συλλέγονται, αποτελούν ένα «σύνολο σημείων» που μοιάζει με μία σημειακή αναπαράσταση του εδάφους. Είναι όμως τρισδιάστατη και μπορεί κανείς να την δει από οποιαδήποτε προοπτική, ακόμα και κατά την διάρκεια της σάρωσης.
- Κάθε σημείο έχει μία τρισδιάστατη συντεταγμένη, επομένως το «σύνολο σημείων» δημιουργεί μία πλούσια ψηφιακή πληροφορία και δεδομένα για πολλές και ποικίλες εφαρμογές .
- Η ανίχνευση πρέπει όμως να είναι αρκετά γρήγορη για να αποτρέψει μεγάλα χάσματα ανάμεσα στα σημεία ανίχνευσης. Απαιτείται καλή ομοιόμορφη κατανομή των σημείων ανίχνευσης στην υπό μελέτη περιοχή.
- Σε κάθε περίπτωση βέβαια απαιτούνται ειδικά λογισμικά ώστε μετά από κατάλληλη επεξεργασία των δεδομένων να επιτυγχάνεται η σωστή απεικόνιση του ανάγλυφου των υπό μελέτη περιοχών.

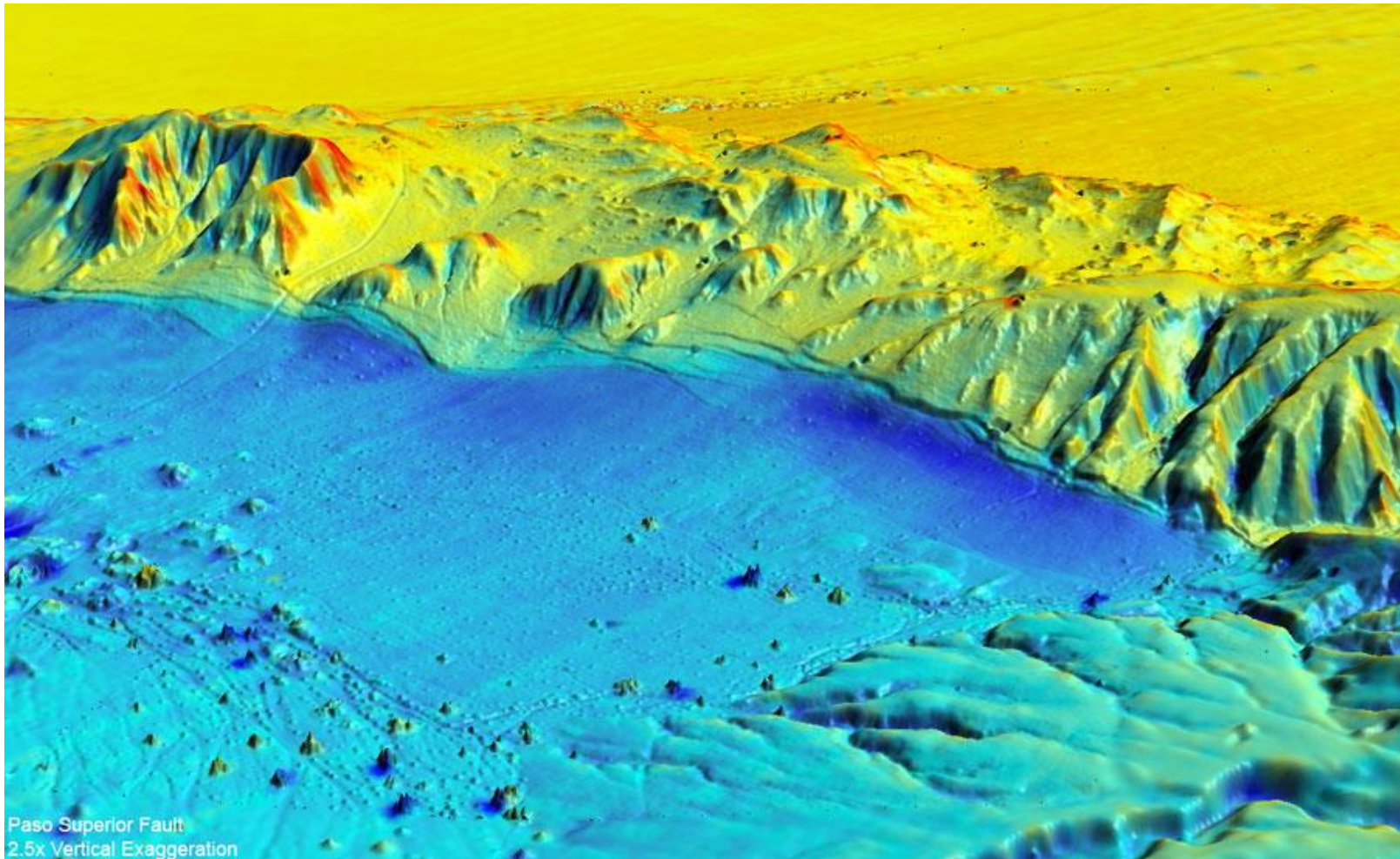




Ο κρατήρας Gale στον Άρη. Η εικόνα προέρχεται από συνδυασμό οπτικής απεικόνισης με Thermal Emission Imaging System camera και Laser Altimeter, τοποθετημένα το πρώτο στο δορυφόρο Mars Odyssey orbiter ενώ το δεύτερο στο Mars Global Surveyor

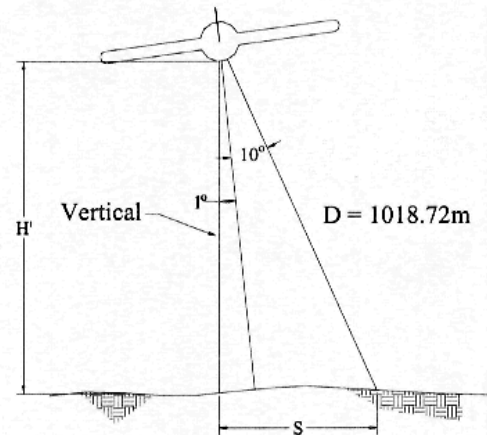
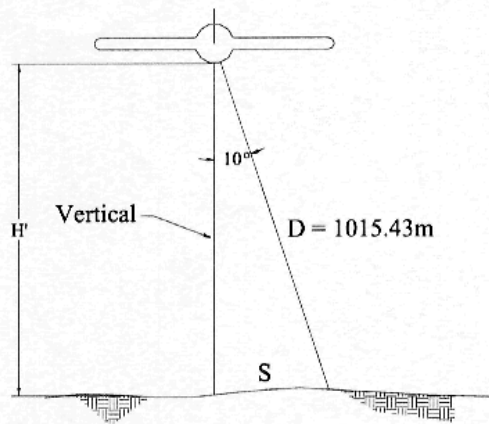


Σχισμή 18 μιλίων στον παγετώνα το νησιού Pine στην Ανταρκτική καταγραμμένη με σύστημα laser altimetry της ΝΑΣΑ.

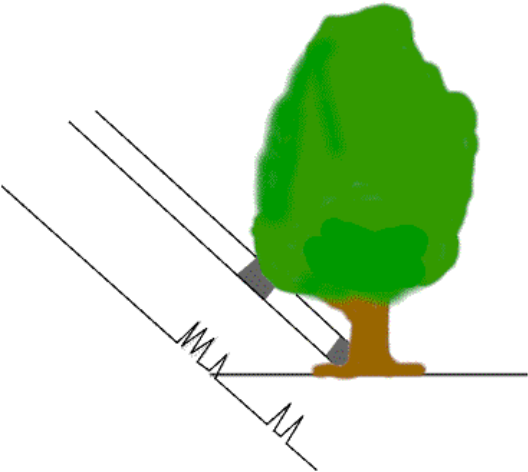


Χρήση laser altimetry για την διερεύνηση του πως αλλάζει η τοπογραφία εδάφους μετά από σεισμό (σεισμός Μεξικού 2010 7,2 ρίχτερ, μπλε δείχνει κίνηση προς τα κάτω και κόκκινο προς τα πάνω)

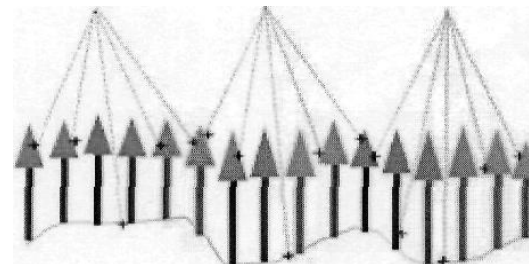
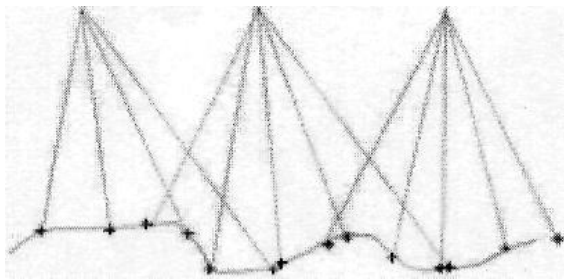
- Το GPS απαιτείται για να εντοπίζει ακριβώς τη θέση του ανιχνευτή κατά τη διάρκεια των μετρήσεων, πληροφορία απαραίτητη για την εύρεση της ακριβούς θέσης του IFOV στο έδαφος.
- Η λειτουργία του δέκτη GPS βασίζεται σε μια σειρά δορυφόρων που εκπέμπουν σήματα σε ραδιοσυχνότητες και συλλαμβάνονται από το δέκτη. Η απόσταση από το δορυφόρο στο δέκτη μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας τις ίδιες βασικές σχέσεις που χρησιμοποιούνται για την λειτουργία ενός συστήματος LIDAR, ενώ η θέση του δέκτη βρίσκεται με την χρήση τριών δορυφόρων, η θέση των οποίων είναι γνωστή.
- Για την λήψη δεδομένων με μεγάλη ακρίβεια απαιτούνται τουλάχιστον δύο δέκτες GPS, από τους οποίους, ο ένας είναι τοποθετημένος σε γνωστό σημείο του εδάφους και ο δεύτερος στο αεροσκάφος δίπλα στο σύστημα ανίχνευσης. Ο συνδυασμός αυτών των δύο δεκτών χρησιμοποιείται για να γίνει διαφορική διόρθωση της θέσης του κινητού δέκτη του αεροσκάφους. Ταυτόχρονα, είναι πολύ σημαντικός καθώς βοηθά να επιλυθεί οποιαδήποτε αβεβαιότητα στοιχείων που θα υπάρξει στη μέτρηση GPS.
- Συχνά χρησιμοποιούνται δύο επίγειοι δέκτες τοποθετημένοι σε γνωστά σημεία μέσα στην περιοχή ανίχνευσης. Με τον τρόπο αυτό, τα αποτελέσματα μπορούν να ελεγχθούν εύκολα για την ακρίβειά τους.



- Καθώς το αεροσκάφος κινείται, υφίσταται μικρές γωνιακές παραλλαγές λόγω αλλαγών στο ύψος του και των παρεκκλίσεων αριστερά δεξιά.
- Το IMU (Αδρανειακό Σύστημα Μέτρησης) μετρά γωνιακές αλλαγές ώστε να επιτρέπεται στον χρήστη να καθορίζει ακριβώς τον προσανατολισμό του σε κάθε στιγμή. Χωρίς αυτό, η ακρίβεια των μετρήσεων θα ήταν περιορισμένη.
- Για παράδειγμα, ας εξετάσουμε γωνία ανίχνευσης 10° δεξιά της κατεύθυνσης πτήσης, ύψος πτήσης 1000 m και απόσταση του σημείου ανάκλασης 1015.43m. Η θέση του κέντρου του IFOV σε σχέση με την κατακόρυφο είναι 176.33m.
- Αν το αεροσκάφος υποστεί κλίση 1° προς τα δεξιά κατά τη διάρκεια της μέτρησης, τότε η απόσταση του σημείου ανάκλασης είναι 1018.72 m. Αν χρησιμοποιηθεί η αρχική γωνία 10° , η απόσταση S υπολογίζεται 176.90 m, ενώ για 11° και η απόσταση είναι 194.38m.
- Βλέπουμε δηλαδή ότι υπάρχει μια διαφορά πάνω από 17 m στη μέτρηση καθώς η κλίση του αεροσκάφους επηρεάζει τον προσδιορισμό του κέντρου του IFOV και τη χαρτογράφηση. Επομένως, είναι πολύ σημαντικό η μονάδα IMU να μετρά ακριβώς τη γωνιακή αλλαγή που εμφανίζεται και στις τρεις κατευθύνσεις και να κάνει τις απαραίτητες διορθώσεις με τον αλγόριθμο του συστήματος.

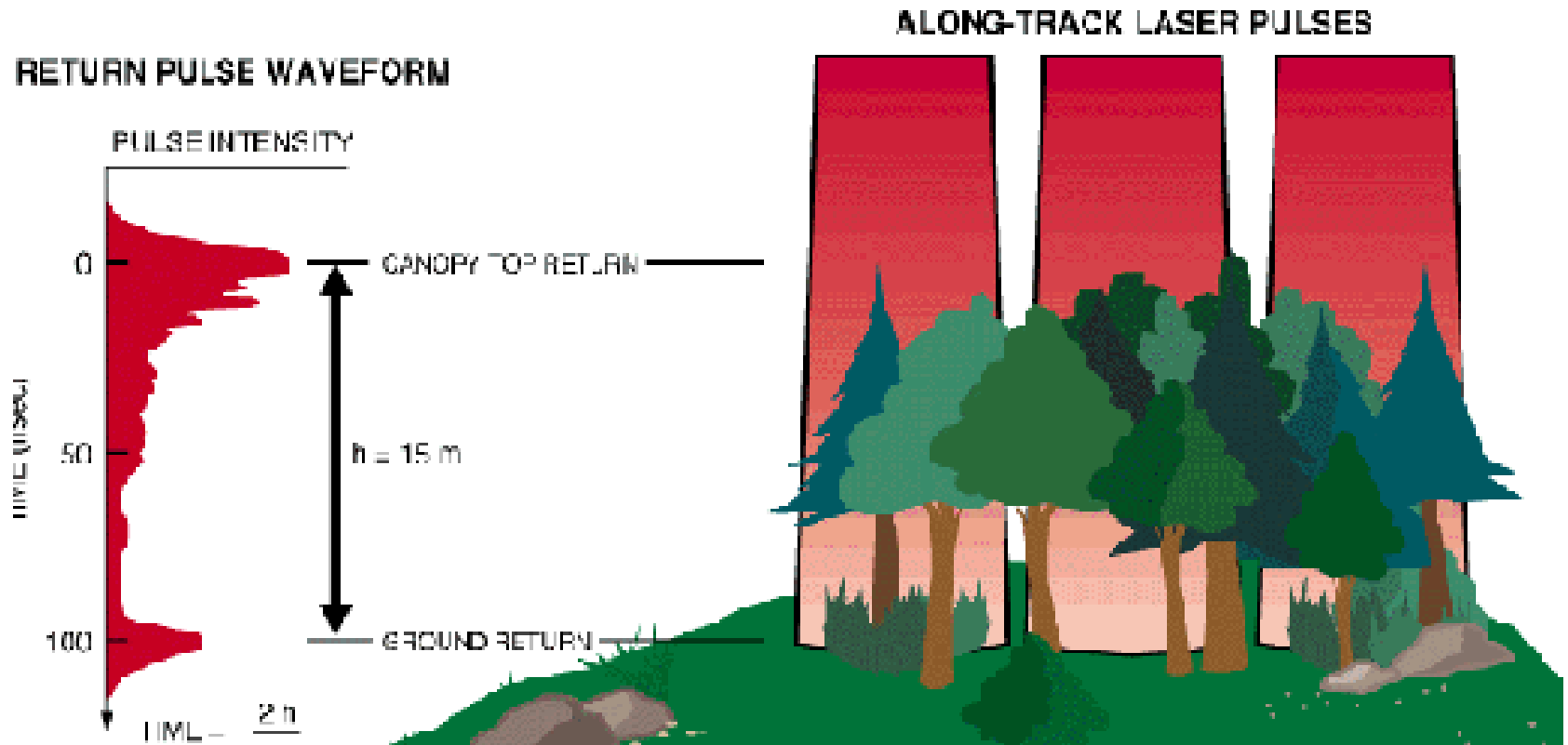


- Όταν μία δέσμη λέιζερ στέλνεται προς το έδαφος, μπορεί να υποστεί πολλαπλές ανακλάσεις ανάλογα με τα αντικείμενα που συναντά.
- Σαν παράδειγμα, στο σχήμα παρουσιάζεται την πορεία της δέσμης προς το έδαφος, όπου συναντά φυλλώματα, κορμό και τελικά έδαφος. Σαν συνέπεια, το σύστημα ανίχνευσης μπορεί να συλλέξει πολλούς παλμούς ταυτόχρονα, ο πρώτος από τους οποίους αφορά το υψηλότερο σημείο ανάκλασης (φύλλωμα) ενώ ο τελευταίος το έδαφος.
- Επομένως η χαρτογράφηση του εδάφους θα προέλθει από την τελευταία επιστροφή καθώς η συλλογή μόνο αρχικής ή ενδιάμεσης ανάκλασης μπορεί να οδηγήσει σε προβλήματα.



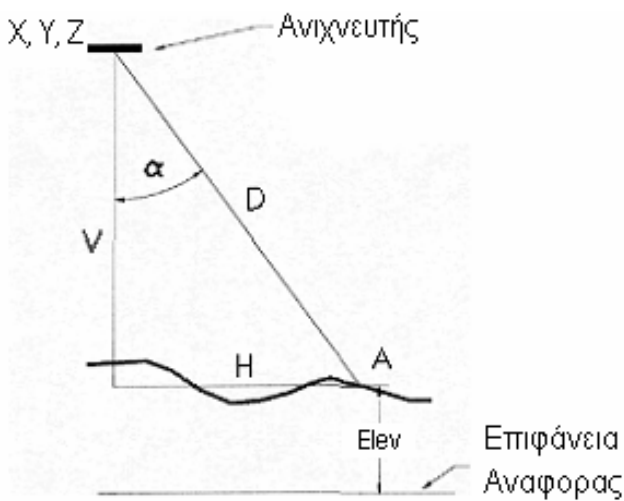
LASER ALTIMETER PULSE SPREADING

FOR MEASUREMENT OF VEGETATION HEIGHT AND SUB-CANOPY TOPOGRAPHY



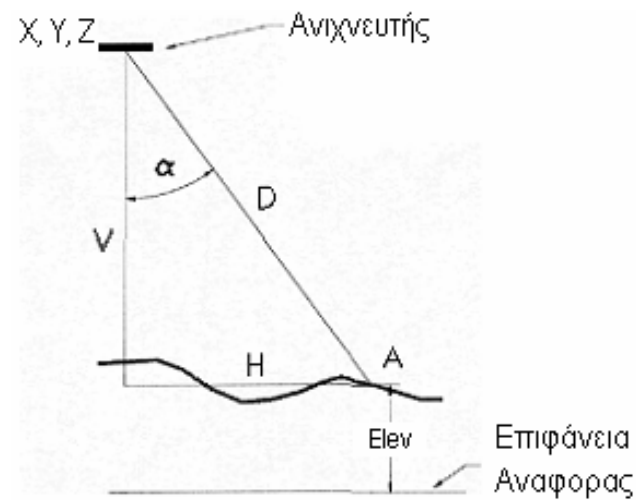
- Αν θέλουμε χαρτογράφηση εδάφους με δένδρα και πάρουμε τις πρώτες ανακλάσεις, τότε η καμπύλη χαρτογράφησης δεν θα έχει καμία σχέση με το πραγματικό ανάγλυφο του εδάφους.
- Για τη σωστή χαρτογράφηση του εδάφους είναι απαραίτητο να εξαλειφθούν οι επιδράσεις της βλάστησης και άλλων αντικειμένων από τα δεδομένα.
- Εξίσου σημαντικά είναι τα προβλήματα κατά την χαρτογράφηση κατοικημένων περιοχών όπου τα σημεία που προκαλούν ανάκλαση είναι πολύ περισσότερα.
- Επομένως, μετά την λήψη των δεδομένων, είναι απαραίτητη πάντοτε η σωστή επεξεργασία τους.

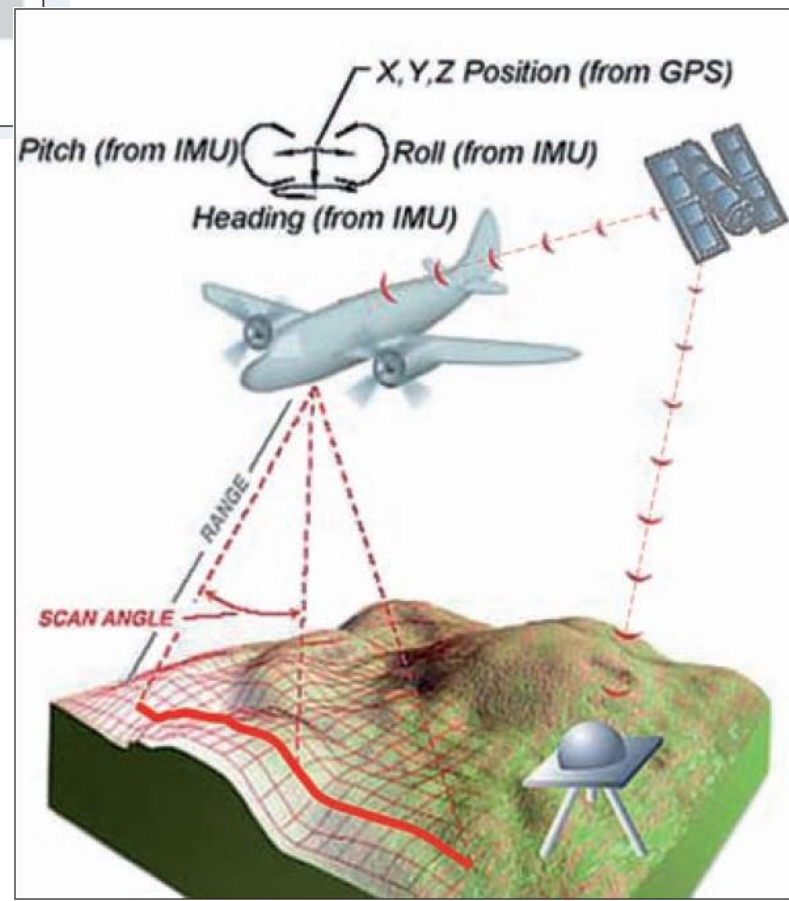
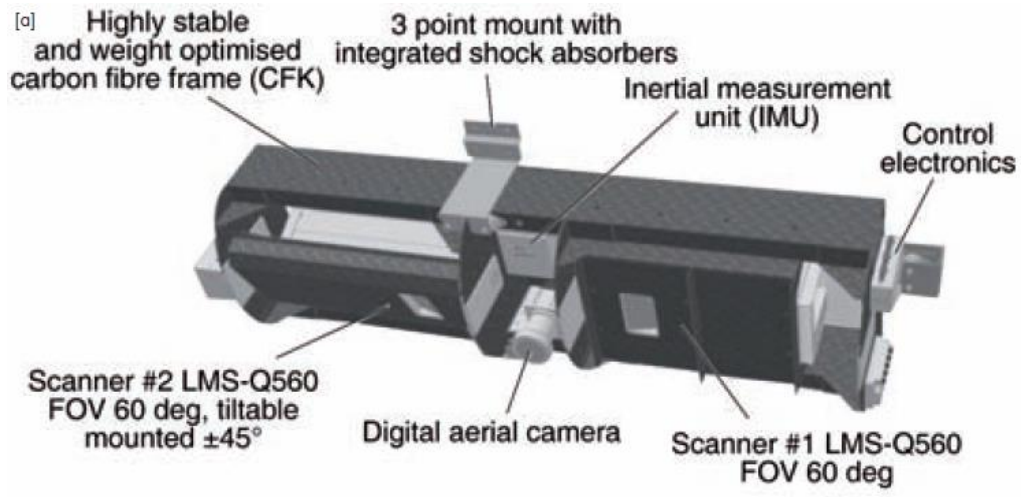
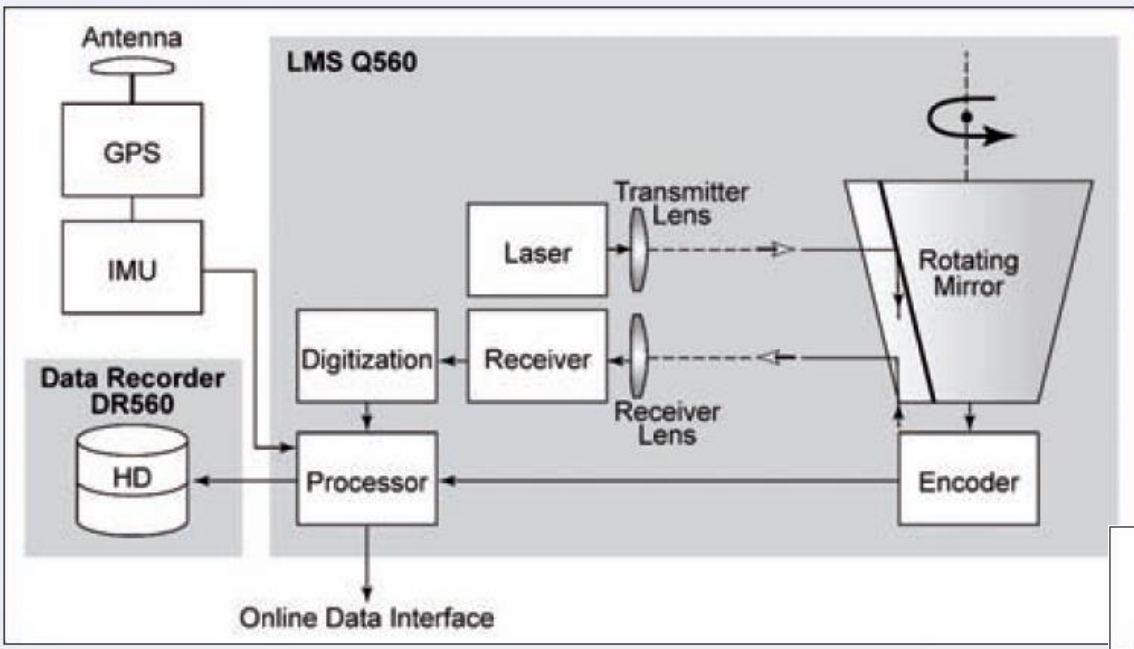
- Αρχικά, υπολογίζεται η απόσταση για κάθε επιστρεφόμενο σήμα. Μετά γίνονται οι διορθώσεις σε σχέση με τα στοιχεία πτήσης (IMU). Τέλος, χρησιμοποιώντας τη θέση του αισθητήρα (GPS) και τη γωνία της δέσμης για κάθε ανίχνευση, μπορεί να υπολογιστεί εύκολα το υψόμετρο και η ακριβής θέση κάθε επίγειου σημείου.

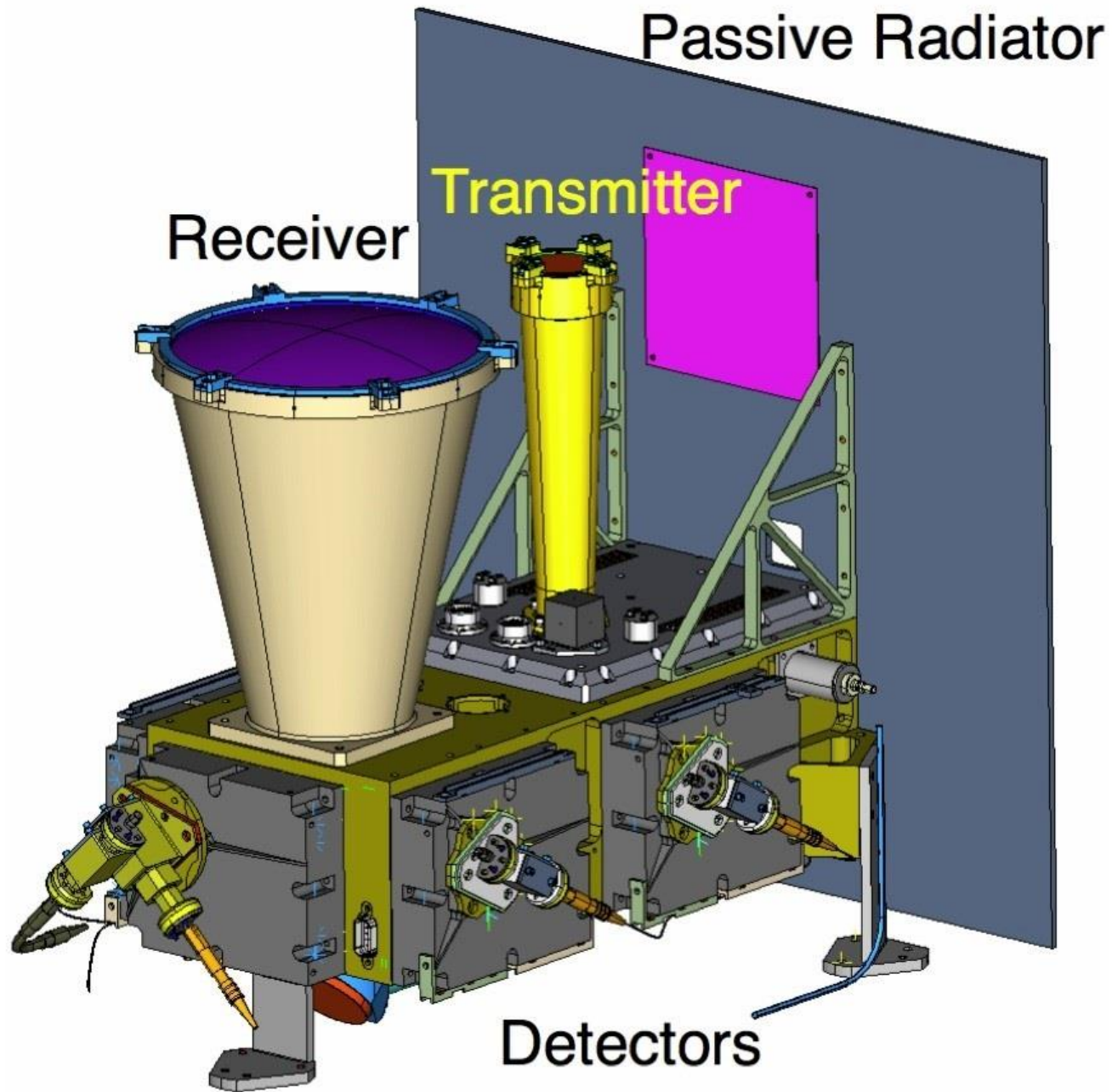


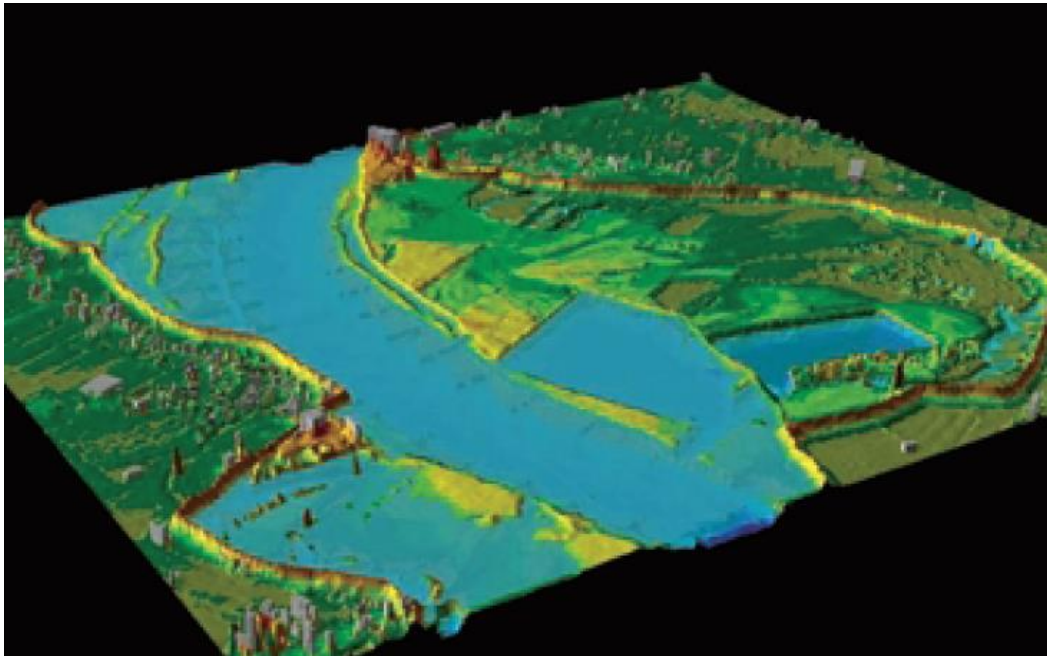
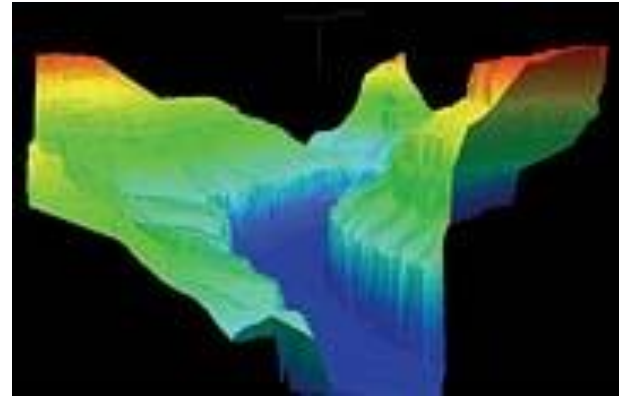
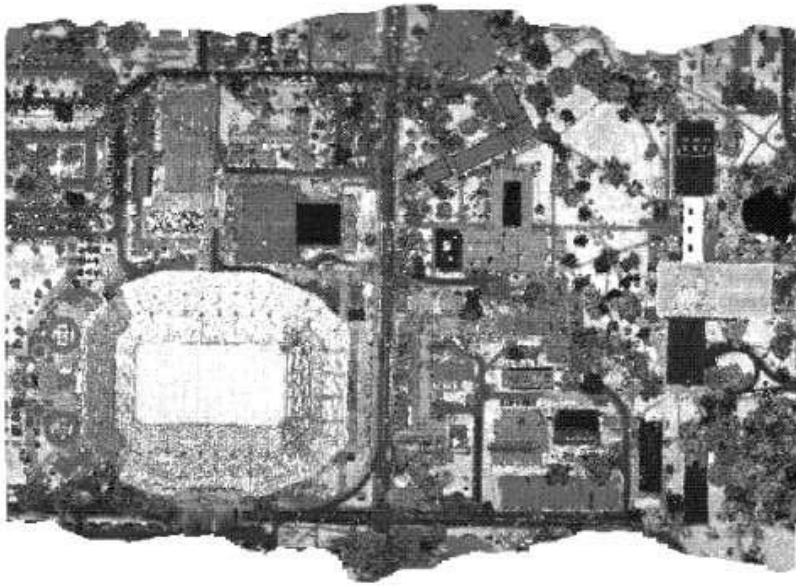
Ας υποθέσουμε ότι η δέσμη εκπέμπεται σε γωνία 10° ως προς την κατακόρυφο, ότι ο προσανατολισμός των αισθητήρων είναι ακριβής (καμία αλλαγή ύψους ή παρέκκλιση και ότι η απόσταση που μετρήθηκε από τον ανιχνευτή βρέθηκε να είναι $D=1387.5$ m. Χρησιμοποιώντας απλή τριγωνομετρία, η κάθετη απόσταση V από τον αισθητήρα μέχρι το έδαφος βρίσκεται 1366.42 m. Ταυτόχρονα, το GPS καθόρισε τη θέση του αισθητήρα ανίχνευσης την στιγμή που στάλθηκε το σήμα με συντεταγμένες: $X_{\text{Sensor}}=1268471.13\text{m}$, $Y_{\text{Sensor}}=588614.47$ m, $Z_{\text{Sensor}}=1806.59\text{m}$.

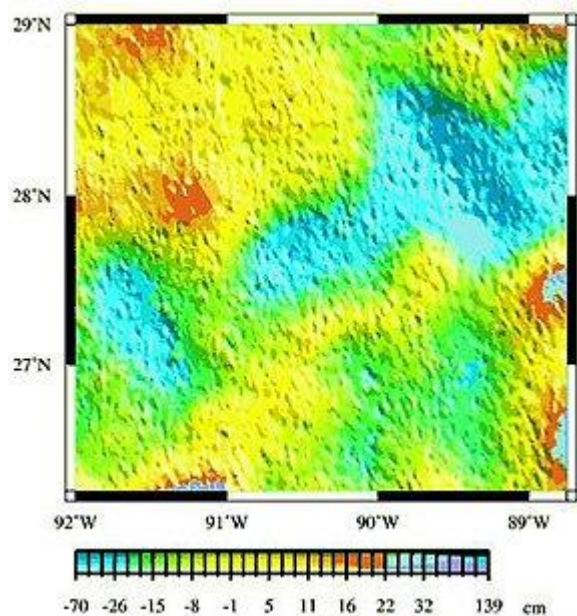
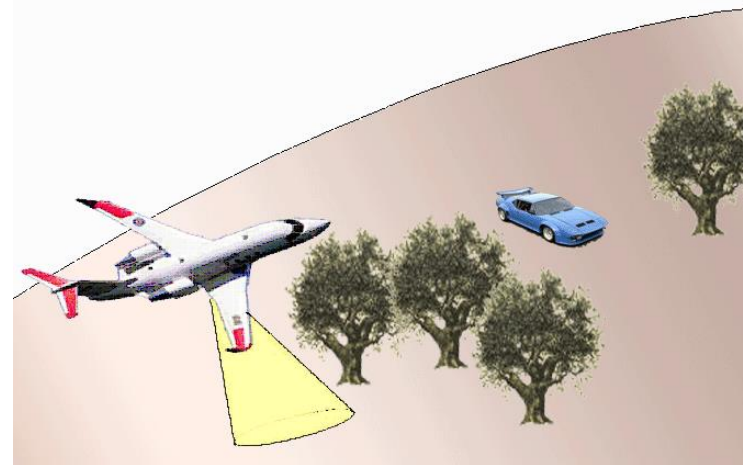
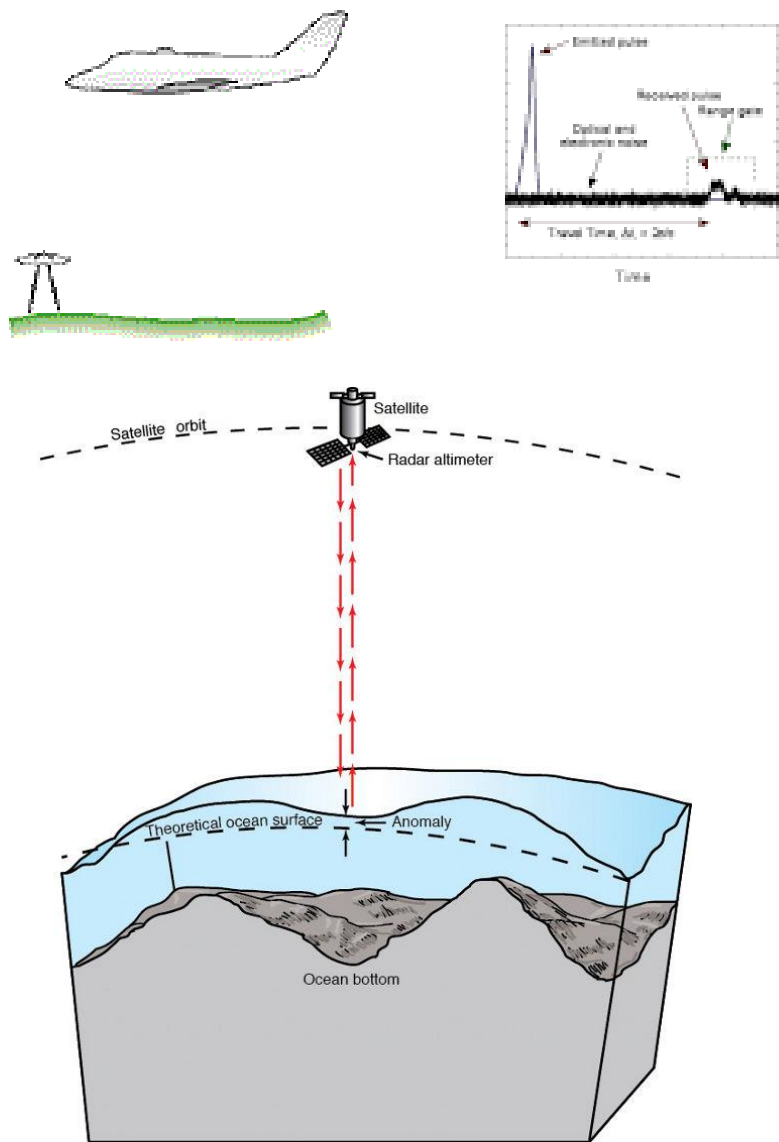
- Το υψόμετρο του σημείου A θα είναι: $E_{lev} = Z_{Sensor} - V = 1806.59m - 1366.42m = 440.17 m$.
- Με παρόμοιο τρόπο μπορούν επίσης να υπολογιστούν οι συντεταγμένες X και Y. Η οριζόντια απόσταση, H, από την κατακόρυφο μπορεί να υπολογιστεί χρησιμοποιώντας βασικό τριγωνομετρικό τύπο: $H = D \times \eta\mu\alpha = 1387.50m \times \eta\mu 10^\circ = 240.94 m$
- Τέλος, αν υποθέσουμε ότι το αεροσκάφος πετά προς τον Βορρά (Y-άξονας) και η γωνία ανίχνευσης είναι προς τα δεξιά (ανατολικά), τότε η Y-συντεταγμένη θα παραμένει η ίδια και η X-συντεταγμένη θα γίνει: $X = X_{sensor} + H = 1268471.13m + 240.94 m = 1268712.07 m$
- Επομένως, οι X, Y, Z συντεταγμένες του επίγειου σημείου A είναι 1268471.13 m, 588614.47 m και 240.94 m αντίστοιχα. Με αυτό τον τρόπο, χαρτογραφείται κάθε σημείο. Φυσικά, οι διαδικασίες είναι πιο περίπλοκες αλλά αντιμετωπίζονται εύκολα από το σύστημα επεξεργασίας.





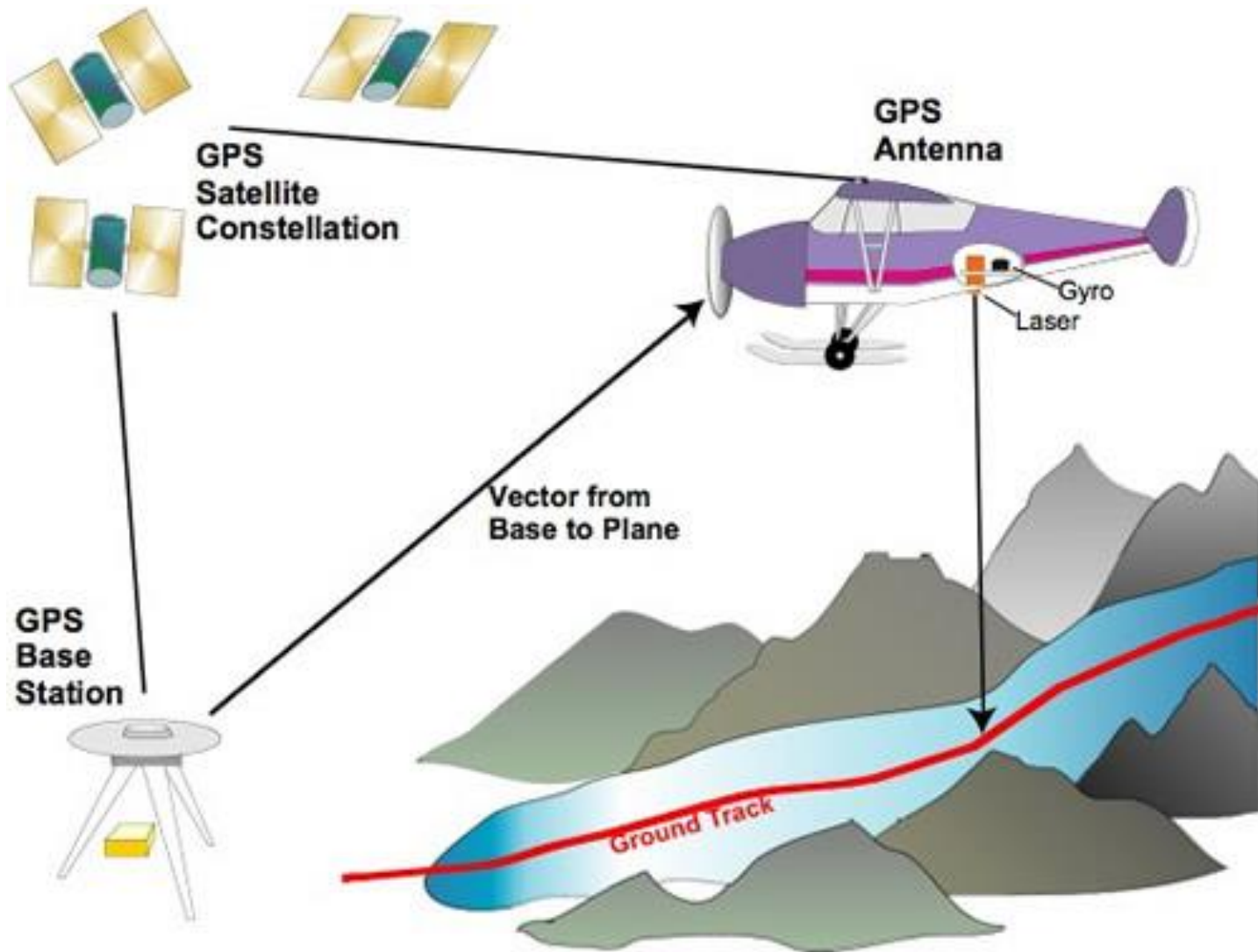






Μέτρηση από ESA επιπέδου θάλασσας

Βυθός κόλπου Μεξικού



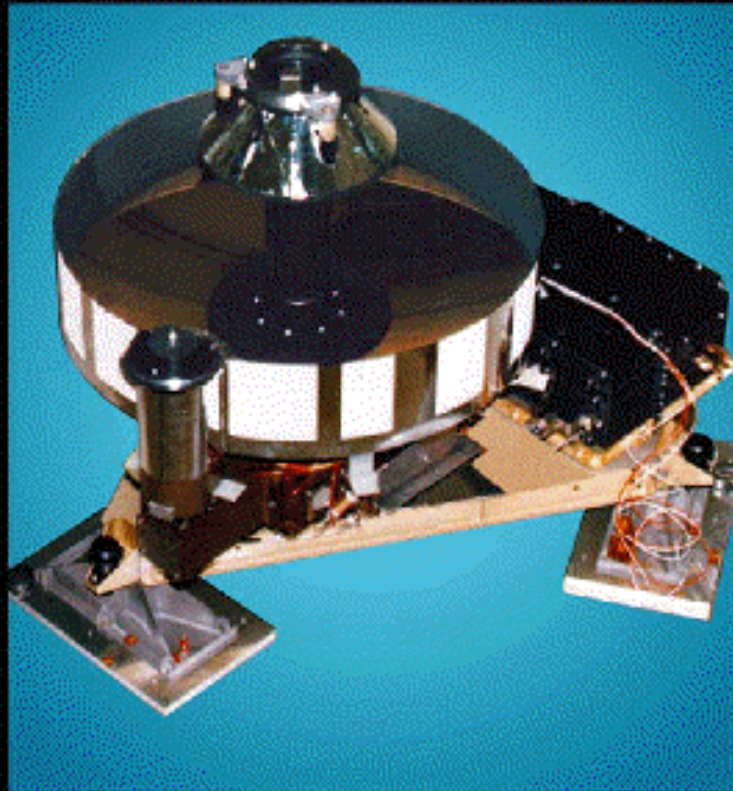
Μετρήσεις σε παγετώνα σε Αλάσκα

Mars Global Surveyor Project

Mars Orbiter Laser Altimeter



JPL



Measurements:

Altitude of Spacecraft above the Surface

Resolution:

Vertical: 2 m (local), 30 m (global)

Horizontal: 160 m

Laser Transmitter:

Diode Pumped, Q-Switched Nd:YAG Laser
40-45 mJ/pulse @ 10 pulses/sec continuous

Antenna Receiver:

50 cm Parabolic Antenna (0.85 mrad FOV)
with Si APD Detector
4 Electronic Filters (20, 60, 180 and 540 ns)

Electronics:

80C86 Microprocessor, 54HC Family Logic
Data Rate: 618 bits/sec

Physical Characteristics:

25.9 kg, 30.9 W (avg.), 34.9 W (peak)

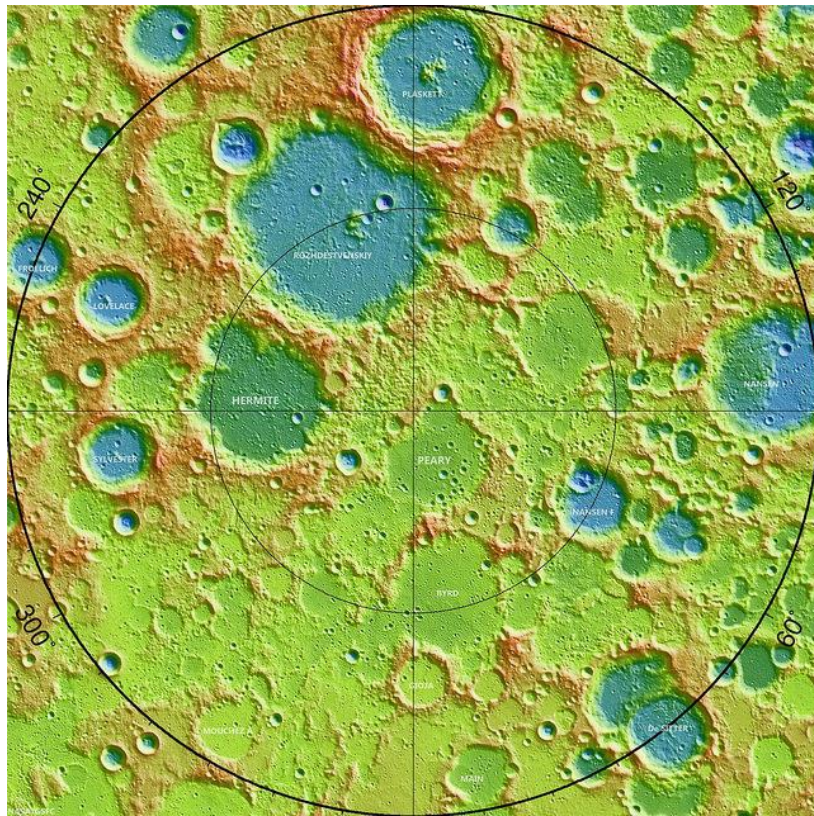
Τοπογραφικό σύστημα ALS-40

- Ένα τυπικό σύστημα συλλογής τοπογραφικών δεδομένων.
- Η λειτουργία του επιτρέπεται μέρα και νύχτα (με μόνο περιορισμό την ικανότητα πτήσης του αεροσκάφους) και βασίζεται σε laser Nd:YAG, μέγιστης ισχύος 12 kW περίπου, με χρόνο παλμού 12 nsec και ρυθμό επανάληψης 15 kHz.
- Έχει την δυνατότητα καταγραφής 5 ανακλάσεων ανά παλμό, προσφέροντας ένα τελικό ρυθμό δειγματοληψίας 45 kHz περίπου.
- Το σύστημα ανίχνευσης λειτουργεί με καθρέφτη κινούμενο με γαλβανικό μοτέρ και δίνει την δυνατότητα ανίχνευσης σε γωνία 75°.
- Λειτουργεί σε ύψος 600 έως 6000 m, επιτρέπει απόσταση σημείων ανίχνευσης 1.5 έως 12 m και προσφέρει ακρίβεια μέτρησης 0.15-1 m στο οριζόντιο επίπεδο και 0.15-0.60 m στο κατακόρυφο.

- Το σύστημα ALS-40 παρέχει τη δυνατότητα διάκρισης όχι μόνο των δασικών θόλων και του γυμνού εδάφους αλλά και των ενδιάμεσων επιφανειών.
- Αντίστοιχα, στις αστικές περιοχές, προσφέρεται η δυνατότητα διάκρισης των επιμέρους επιφανειών των κτιρίων αλλά και πολύπλοκων δομικών κατασκευών.
- Ανάλογα με την πολυπλοκότητα των επιφανειών (ύψη βλάστησης, αλλαγές εκτάσεων, κ.λ.π.), το σύστημα μπορεί να προσφέρει μέχρι και 200.000 σημεία ανά τετραγωνικό μίλι σε προαστιακές περιοχές ή 350.000 σημεία ανά τετραγωνικό μίλι σε δασικές περιοχές.
- Έχει την ικανότητα επίσης να ανιχνεύει την αλλαγή της έντασης του ανακλώμενου παλμού. Η τιμή του ποσοστού ανάκλασης διαφέρει ανάλογα με τον τύπο της επιφάνειας που προσπίπτει, π.χ. το χιόνι ανακλά 90% ενώ η μαύρη άσφαλτος μόνο 5%. και καλείται «ένταση του LIDAR». Επομένως, τα ποσοστά ανάκλασης μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία και να αναπαραχθεί μια εικόνα πολύ κοντά στην πραγματικότητα .

- Η τεχνολογία αυτή προσφέρει την δυνατότητα να συλλεχθούν στοιχεία από περιοχές σκοτεινές και με απότομες κλίσεις (π.χ. μεγάλα φαράγγια) και από απρόσιτες περιοχές (μεγάλα επίπεδα λάσπης και λιμενοβραχίονες).
- Το σύστημα LIDAR ALS-40 έχει καθιερωθεί για την χαρτογράφηση των αλλαγών των ακτογραμμών, για την διαχείριση πλημμύρων, για τον έλεγχο της διάβρωσης, για το σχεδιασμό δικτύων ασύρματων επικοινωνιών και γραμμών μεταφοράς ενέργειας, για εφαρμογές δασονομίας, για το καθορισμό των ιδιοτήτων των δασικών θόλων και για την εξαγωγή του ανάγλυφου του εδάφους κάτω από τους θόλους.
- Αντίστοιχο σύστημα μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την χαρτογράφηση των θαλασσών. Τυπικό παράδειγμα τέτοιου συστήματος είναι το SOALS, το οποίο λειτουργεί με δύο μήκη κύματος, ένα στην υπέρυθρη περιοχή ($1.064 \mu\text{m}$) που ανακλάται από την επιφάνεια του νερού και ένα στην γαλαζοπράσινη ($0.532 \mu\text{m}$) που εισχωρεί στο νερό και ανακλάται από τον πυθμένα. Κατά τα άλλα, η λειτουργία του είναι παρόμοια με τα συστήματα χαρτογράφησης για την ξηρά.

- Σχετικά με τις δυνατότητες του συστήματος SOALS, παρέχει ικανότητα ανίχνευσης αντικείμενων με διαστάσεις 2x2x2 m, έχει υψηλό ποσοστό κάλυψης μέχρι 70 km²/hr, λειτουργεί σε ύψη από 200 έως 400 μέτρα, έχει μέγιστη διείσδυση σε βάθος 40-50 m σε καθαρά ύδατα, 20-40 m στα παράκτια ύδατα και λιγότερο από 20 m σε περισσότερο θολά κλειστά ύδατα.
- Μπορεί να συλλέξει πυκνά σύνολα δεδομένων εκεί όπου η συμβατική ακουστική έρευνα είναι ελάχιστα αποδοτική ενώ διαθέτει και αυτοματοποιημένο λογισμικό για την επεξεργασία των στοιχείων σε πραγματικό χρόνο.
- Επίσης, απλοποιεί τις παράκτιες έρευνες κατά μήκος των ακτογραμμών αφού μπορεί να εκτελέσει ταυτόχρονη ανίχνευση και στο έδαφος και στο νερό.
- Τέλος, παρέχει χάρτες γρήγορα και με λεπτομέρειες, αποδίδοντας έναν μεγάλο όγκο δεδομένων που μπορούν να υποβληθούν σε επεξεργασία για να δώσουν αποτιμήσεις για ζημιές και τις εκτιμήσεις εκβάθυνσης σε ελάχιστο χρόνο.



Satellite image of Columbia Glacier taken September 16 2010. Ice calves from the glacial terminus and drifts away on the waters of Alaska's Prince William Sound.

Laser altimetry map of the Moon's northern polar region, north of 80° at 20 meters resolution.

