



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τηλεπισκοπική Παρακολούθηση Θαλάσσιων Συνόρων με Χρήση της Τεχνολογίας Smart Buoy

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θοδωρής Ε. Καρακώστας

Επιβλέπων : Παναγώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Αθήνα, Ιούλιος 2014



ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΣΧΟΛΗ ΗΛΕΚΤΡΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ
ΚΑΙ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ
ΤΟΜΕΑΣ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΜΕΤΑΔΟΣΗΣ ΠΛΗΡΟΦΟΡΙΑΣ
ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΛΙΚΩΝ

Τηλεπισκοπική Παρακολούθηση Θαλάσσιων Συνόρων με Χρήση της Τεχνολογίας Smart Buoy

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Θοδωρής Ε. Καρακώστας

Επιβλέπων : Παναγώτης Κωττής
Καθηγητής Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή την 24^η Ιουλίου 2014.

.....

Π.Κωττής

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Χ.Καψάλης

Καθηγητής Ε.Μ.Π

.....

Γ.Φικιώρης

Αναπληρωτής Καθηγητής

Αθήνα, Ιούλιος 2014

.....

Καρακώστας Ε. Θεόδωρος

Διπλωματούχος Ηλεκτρολόγος Μηχανικός και Μηχανικός Υπολογιστών Ε.Μ.Π

Copyright © Θεόδωρος Καρακώστας, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος.All rights reserved

Απαγορεύεται η αντιγραφή, αποθήκευση και διανομή της παρούσας εργασίας ,εξ ολοκλήρου ή τμήματος αυτής, για εμπορικό σκοπό. Επιτρέπεται η ανατύπωση, αποθήκευση και διανομή για σκοπό μη κερδοσκοπικό, εκπαιδευτικής ή ερευνητικής φύσεως, υπό την προϋπόθεση να αναφέρεται η πηγή προέλευσης και να διατηρείται το παρόν μήνυμα. Ερωτήματα που αφορούν την χρήση της εργασίας για κερδοσκοπικό σκοπό πρέπει να απευθύνονται προς τον συγγραφέα.

Οι απόψεις και τα συμπεράσματα που περιέχονται σε αυτό το έγγραφο εκφράζουν τον συγγραφέα και δεν πρέπει να ερμηνευθεί ότι αντιπροσωπεύουν τις επίσημες θέσεις του Εθνικού Μετσόβιου Πολυτεχνείου.

Περίληψη

Οι μεταβαλλόμενες και εξελισσόμενες περιπτώσεις απειλής αυξάνουν την ανάγκη για ευελιξία και προσαρμοστικότητα στον τρόπο που οι χώρες υλοποιούν και διαχειρίζονται τα αμυντικά τους συστήματα. Επομένως, γίνεται φανερό το ολοένα και αυξανόμενο πρόβλημα προστασίας των θαλάσσιων εθνικών συνόρων και τον έλεγχο της κίνησης μεταξύ χωρών. Η τεχνολογία των Smart Buoy αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει, με τη βοήθεια και άλλων τεχνολογιών, υπηρεσίες λήψης πληροφορίας άμεσου χρόνου από απομακρυσμένες θαλάσσιες περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος.

Σκοπός της εργασίας είναι η μελέτη της πλατφόρμας Smart Buoy στην επιτήρηση και έλεγχο θαλάσσιων συνόρων. Αρχικά, παρουσιάζεται το αντικείμενο της τηλεπισκόπησης και των αρχών της οπτικής επιστήμης. Επίσης, παρουσιάζονται τα είδη και οι λειτουργίες των τηλεπισκοπικών αισθητήρων. Τέλος, μελετάται η λειτουργία των Smart Buoy, το προτεινόμενο δίκτυο παρακολούθησης άμεσου χρόνου των θαλάσσιων συνόρων και αξιολογείται η αποτελεσματικότητά του.

Λέξεις Κλειδιά

Τηλεπισκόπηση, τηλεπισκοπικοί αισθητήρες, έξυπνες σημαδούρες (Smart Buoy), μη-επανδρωμένα οχήματα.

Abstract

The changing and evolving threat situations increase the need for flexibility and adaptability in how countries implement and manage their defence systems. Therefore, it becomes obvious the ever increasing problem of protection of maritime borders and the control of movement between countries. The Smart Buoy technology was developed to support, with the assistance of other technologies, real-time observation services of remote maritime regions of high interest.

The purpose of this thesis is the study of the Smart Buoy platform in the surveillance and control of maritime borders. Firstly, the principles of remote sensing and optical science are presented. Furthermore, the types and functions of remote monitoring sensors are mentioned. Finally, the effectiveness of the Smart Buoy platform and that of the proposed network for real-time remote monitoring of maritime borders are evaluated.

Key words

Remote sensing, remote monitoring sensors, smart buoy, unmanned surface vehicles, unmanned aerial vehicles.

Θα ήθελα να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου στον καθηγητή και επιβλέποντα της συγκεκριμένης εργασίας κ. Παναγιώτη Κωττή για την άριστη συνεργασία μας, την πολύτιμη βοήθειά του και τις γνώσεις που μου πρόσφερε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στη σχολή. Επίσης, θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κ.Χρήστο Παπαχρήστο, στέλεχος του Hellas Sat, για τις πολύτιμες πληροφορίες και βοήθειά του στην εκπόνηση της παρούσας εργασίας. Τέλος, θα ήθελα να ευχαριστήσω την δεκαμελή οικογένειά μου για τη αμέριστη και ανιδιοτελή συμπαράσταση που μου προσφέρει όλα αυτά τα χρόνια.

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1	Κεφάλαιο 1 - Αρχές Τηλεπισκόπησης.....	11
1.1	Τι είναι τηλεπισκόπηση	12
1.2	Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα : Φωτόνια	13
1.2.1	Κατανομή ακτινοβολούμενης ενέργειας.....	15
1.2.2	Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα.....	17
1.2.3	Διάδοση - Απορρόφηση - Ανάκλαση	21
1.2.4	Ραδιομετρικά μεγέθη	23
1.2.5	Φασματικές υπογραφές	24
2	Κεφάλαιο 2 - Τηλεπισκοπικοί Αισθητήρες	27
2.1	Γενικά	27
2.2	Χαρακτηριστικά και είδη τηλεπισκοπικών αισθητήρων	28
2.2.1	Χωρική ανάλυση, μέγεθος ρικελ και κλίμακα.....	32
2.2.2	Φασματική ανάλυση.....	35
2.2.3	Ραδιομετρική ανάλυση.....	37
2.2.4	Χρονική ανάλυση.....	38
2.2.5	Πολυφασματική ανίχνευση	39
2.2.6	Υπερφασματική τηλεπισκόπηση	43
2.2.7	Θερμική απεικόνιση	46
2.2.8	Γεωμετρικές παραμορφώσεις στην απεικόνιση	47
3	Κεφάλαιο 3 - Τηλεπισκόπηση θαλάσσιων περιβαλλόντων – Smart Buoy	51
3.1	Ο πλανήτης των ωκεανών	51
3.2	Τεχνολογία Smart Buoy	51
3.2.1	Γενικά	51
3.2.2	Δομή Smart Buoy	52
3.2.3	Μη επανδρωμένα σκάφη και αεροσκάφη – USVs & UAVs.....	58
3.2.4	Το δίκτυο επικοινωνίας	60
3.2.5	Φασματική απόδοση	63
3.2.6	Χρονοδιαίρετική Πολλαπλή Πρόσβαση Πολλαπλών Συχνότητων (Multi-Frequency Time Division Multiple Access – MF-TDMA)	65
3.2.7	Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης - Automatic Identification System (AIS).....	66
3.2.8	Εφαρμογές και δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης	68
3.2.9	Smart Buoy στην Ελλάδα	70
3.2.10	Κυριότερα projects Smart Buoy εθνικής ασφάλειας.....	71
3.2.11	Οικονομικά μεγέθη.....	75

3.2.12	Πίνακας Ακρωνυμίων.....	77
4	Κεφάλαιο 4 - Σύστημα Συστημάτων – System of Systems (SoS)	79
4.1	Εισαγωγή.....	79
4.2	Τύποι SoS συστημάτων.....	79
4.3	Δικτυοκεντρικότητα	80
4.4	Διαχείριση και Επίβλεψη.....	81
4.5	Υλοποίηση.....	82
4.6	SoS επιτήρησης θαλάσσιων συνόρων	83
4.6.1	Παράδειγμα αντιμετώπισης απειλής από το SoS ασφαλείας της Ιταλίας.....	84
5	Κεφάλαιο 5 - Βιβλιογραφία	91

1 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 - ΑΡΧΕΣ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗΣ

Η τηλεπισκόπηση αποτελεί μια φυσική προέκταση της ανθρώπινης ανάγκης να εξερευνήσει και να κατανοήσει το περιβάλλον του. Ο άνθρωπος, τις τελευταίες δεκαετίες, με τους γοργούς ρυθμούς ανάπτυξης της τεχνολογίας, μπόρεσε να επεκτείνει τον τρόπο με τον οποίο παρατηρεί τον κόσμο σε μια προοπτική, η οποία ποτέ άλλοτε δεν ήταν τόσο χρήσιμη και αποτελεσματική. Χρησιμοποιώντας διαφόρων ειδών πλατφόρμες στον αέρα και στο διάστημα, και εφαρμόζοντας πολλαπλά πολύπλοκα τηλεπισκοπικά και απεικονιστικά συστήματα, μπορούμε πια να παρακολουθούμε τη γη, ξεπερνώντας τους περιορισμούς της ανθρώπινης όρασης. Μέσω αυτών των συστημάτων μπορούμε πλέον να «δούμε» μέσα από διαφορετικές φασματικές ζώνες, οι οποίες διαφορετικά ήταν αόρατες στο ανθρώπινο μάτι.

Η ικανότητα να συλλέξουμε πληροφορίες για τον κόσμο μας και να τις παρουσιάσουμε με τρόπους που μπορούν να γίνουν αντιληπτοί από την ανθρώπινη οπτική αντίληψη, αποτελεί τον υψηλότερο στόχο της απεικονιστικής επιστήμης στην τηλεπισκόπηση. Σε όλες τις εφαρμογές, από την περιβαλλοντική παρακολούθηση μέχρι τη συλλογή πληροφορίας για λόγους ασφαλείας και αντιμετώπισης εγκληματικών ενεργειών, αναφαίνεται η ανάγκη για απόκτηση ακριβέστερων πληροφοριών με γρήγορους και αποτελεσματικούς τρόπους. Ακριβώς αυτή η ανάγκη έχει οδηγήσει στη μελέτη και ανάπτυξη εξαιρετικών τεχνολογιών, που βοηθούν τους επιστήμονες στην κατανόηση και αντιμετώπιση φαινομένων που θα μπορούσαν ακόμη και να απειλούν τον πλανήτη μας.

Ποτέ πριν ο άνθρωπος δεν μπορούσε να εξετάσει τη γη καθώς και τα διάφορα περιβαλλοντικά φαινόμενα με τόση ακρίβεια. Φυσικά φαινόμενα, όπως σεισμοί, κυκλώνες, καταιγίδες, πλημμύρες, ηφαιστειακές εκρήξεις καθώς και άλλα επικίνδυνα και καταστροφικά φαινόμενα στη στεριά και στη θάλασσα, αποτέλεσαν, κατά τη διάρκεια της ιστορίας, αντικείμενα φόβου, προλήψεων και δεισιδαιμονιών. Σήμερα, με τη βοήθεια της δορυφορικής τεχνολογίας, μπορούμε να παρατηρήσουμε και να αντιληφθούμε τις ιδιομορφίες και την πολυπλοκότητα του πλανήτη μας, να κατανοήσουμε τις αιτίες των διαφόρων περιβαλλοντικών και μετεωρολογικών φαινομένων και ενδεχομένως να αναπτύξουμε τρόπους άμυνας και αντιμετώπισης αυτών.

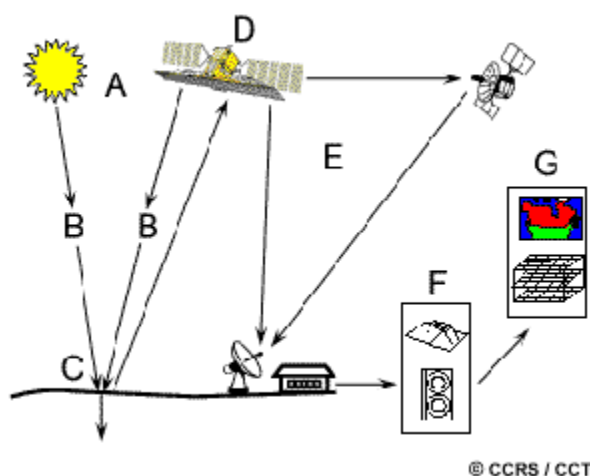
Η παρακολούθηση του γήινου οικοσυστήματος αποτελεί μία από τις σημαντικότερες εφαρμογές της τηλεπισκόπησης. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται πλατφόρμες τόσο στον αέρα όσο και στο διάστημα, οι οποίες μας παρέχουν τη δυνατότητα κατανόησης των καιρικών συστημάτων, των κλιματολογικών μεταβολών καθώς και των διαφόρων γεωλογικών φαινομένων, από μια παγκόσμια οπτική.

Παράλληλα, αυτή η αλματώδης ανάπτυξη τεχνολογικών εφαρμογών καθιστά ικανές τις διάφορες χώρες να βελτιώσουν την ασφάλεια των συνόρων τους και να αντιμετωπίσουν πιο αποτελεσματικά παραβατικές δραστηριότητες, που διαφορετικά μπορεί και να περνούσαν απαρατήρητες. Πιο συγκεκριμένα, τεχνολογίες δορυφορικής τηλεπισκόπησης εφαρμόζονται για τον θαλάσσιο και υποθαλάσσιο χώρο με στόχο τόσο τη μελέτη του οικοσυστήματος όσο και την παρακολούθηση των χώρων αυτών για λόγους ασφαλείας.

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Με τον όρο τηλεπισκόπηση εννοούμε την απόκτηση πληροφοριών σχετικά με τις ιδιότητες ενός φαινομένου, ενός αντικειμένου ή ενός υλικού μέσω μιας καταγραφικής συσκευής η οποία δε βρίσκεται σε φυσική και άμεση επαφή με τα παρατηρούμενα αντικείμενα. Συνήθως για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται τεχνικές, οι οποίες επεξεργάζονται συσσωρευμένες πληροφορίες οι οποίες έχουν προκύψει από μετρήσεις πεδιακών δυνάμεων, ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας ή ακουστικής ενέργειας με τη χρήση ραδιομέτρων, ανιχνευτών lasers, συστημάτων ραντάρ, ηχοβολιστικών και θερμικών συσκευών, σειсмоγράφων, μαγνητογράφων, βαρυμέτρων, σπινθηρομέτρων, φασματομέτρων και άλλων οργάνων. Η παραγόμενη πληροφορία από τα διάφορα όργανα παρατήρησης μπορεί να είναι σε μορφή εικόνας ή σε μορφή χαρτών ή γραφημάτων ανάλογα με την εφαρμογή και το επιθυμητό μετρούμενο χαρακτηριστικό.

Η κύρια διαδικασία που λαμβάνει χώρα κατά την τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει την αλληλεπίδραση ανάμεσα στην προσπίπτουσα ακτινοβολία και τους στόχους που μας ενδιαφέρουν. Η διαδικασία αυτή μπορεί να εξηγηθεί μέσω των χρησιμοποιούμενων απεικονιστικών συστημάτων, τα οποία περιλαμβάνουν 7 στάδια. Στο σημείο αυτό, θα πρέπει να σημειωθεί ότι η τηλεπισκόπηση περιλαμβάνει επίσης και τη μέτρηση της εκπεμπόμενης ενέργειας με τη χρήση μη απεικονιστικών συστημάτων. Τα 7 στοιχεία που αποτελούν την τηλεπισκοπική διαδικασία φαίνονται παραστατικά στο σχήμα που ακολουθεί.



Σχήμα 1.1: Στάδια τηλεπισκόπησης

- Πηγή ενέργειας ή ακτινοβολία (A) – η πρώτη απαίτηση για την τηλεπισκόπηση είναι η ύπαρξη μιας πηγής ενέργειας η οποία θα φωτίζει ή θα παρέχει ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στον στόχο του ενδιαφέροντός μας.
- Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα (B) – καθώς η ενέργεια διαδίδεται από την πηγή προς τον στόχο θα έρθει σε επαφή και θα αλληλεπιδράσει με την ατμόσφαιρα μέσα από την οποία διέρχεται. Αυτή η αλληλεπίδραση θα λάβει χώρα και δεύτερη φορά καθώς η ενέργεια θα διαδίδεται από τον στόχο προς τον αισθητήρα.

- Αλληλεπίδραση με το στόχο (C) – καθώς η ενέργεια προσπίπτει στον στόχο περνώντας μέσα από την ατμόσφαιρα, αλληλεπιδρά με το στόχο ανάλογα με τις ιδιότητες τόσο του στόχου όσο και της προσπίπτουσας ακτινοβολίας.
- Καταγραφή της ενέργειας από τον αισθητήρα (D) – μετά τη σκέδαση ή την εκπομπή της ακτινοβολίας από το στόχο απαιτείται ένας αισθητήρας (τηλεπισκοπικός, όχι σε επαφή με το στόχο) για τη συλλογή και την καταγραφή της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας.
- Εκπομπή, λήψη και επεξεργασία (E) – η καταγραφόμενη ενέργεια από τον αισθητήρα πρέπει να μεταδοθεί, συνήθως σε ηλεκτρονική μορφή, σε έναν σταθμό λήψης και επεξεργασίας όπου λαμβάνει χώρα η διαδικασία επεξεργασίας της πληροφορίας σε εικόνα.
- Ερμηνεία και ανάλυση (F) – η παραγόμενη πληροφορία αναλύεται οπτικά ή/και ψηφιακά ή ηλεκτρονικά για την εξαγωγή πληροφοριών σχετικά με τον αρχικά ακτινοβολούμενο στόχο.
- Εφαρμογή (G) – το τελευταίο στάδιο της τηλεπισκοπικής διαδικασίας περιλαμβάνει την εφαρμογή της εξαγόμενης πληροφορίας από την εικόνα, για την καλύτερη κατανόησή της, την απόκτηση καινούριας πληροφορίας ή τη συμβολή της στην επίλυση κάποιου συγκεκριμένου προβλήματος.

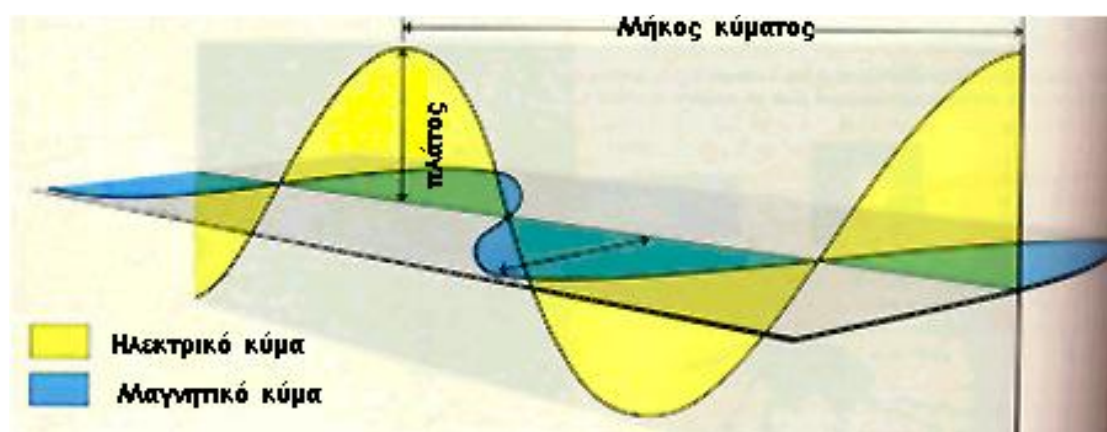
1.2 ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ : ΦΩΤΟΝΙΑ

Η βασική αρχή των περισσότερων μεθόδων και συστημάτων τηλεπισκόπησης είναι η μέτρηση των ποικίλων ενεργειακών επιπέδων ενός αντικειμένου ή η μέτρηση του θεμελιώδους μεγέθους στο πεδίο ηλεκτρομαγνητικών δυνάμεων, γνωστό ως φωτόνιο. Όπως θα φανεί στη συνέχεια οι μεταβολές στην ενέργεια των φωτονίων συνδέονται στενά με την παράμετρο μήκος κύματος ή την αντίστροφή της, συχνότητα.

Όπως έχει ήδη ειπωθεί η πρώτη απαίτηση για την τηλεπισκοπική διαδικασία είναι η ύπαρξη μιας πηγής ενέργειας που θα ακτινοβολεί το στόχο (εκτός αν η ανιχνευόμενη ενέργεια εκπέμπεται από τον ίδιο το στόχο). Η ενέργεια αυτή έχει τη μορφή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας. Η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία η οποία ποικίλλει από χαμηλά σε υψηλά ενεργειακά επίπεδα, συνθέτει το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Η ακτινοβολία προερχόμενη από διακεκριμένες ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος περιέχει φωτόνια σε διαφορετικά μήκη κύματος. Όταν οποιοδήποτε υλικό-στόχος διεγερθεί είτε από εσωτερικές διαδικασίες είτε από αλληλεπίδραση με προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία, εκπέμπει φωτόνια σε διαφορετικά μήκη κύματος, των οποίων οι ραδιομετρικές ποσότητες διαφέρουν με τρόπο που μας επιτρέπει να αναγνωρίσουμε ή να ταξινομήσουμε τα διάφορα υλικά.

Το φωτόνιο αποτελεί το βασικό σωματίδιο το οποίο μελετάται στην κβαντομηχανική. Περιγράφεται, επίσης, ως η μικρότερη δέσμη φωτός καθώς και ως το σωματίδιο "αγγελιαφόρος" της ηλεκτρομαγνητικής δύναμης. Το σωματίδιο αυτό περιέχει ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από την ύλη, όταν αυτή διεγείρεται θερμικά ή όταν λαμβάνουν χώρα κάποιες πυρηνικές διαδικασίες (τήξη, σχάση) ή από βομβαρδισμό με άλλη μορφή ακτινοβολίας. Επίσης σχετίζεται με την απορρόφηση και ανάκλαση της ακτινοβολίας. Τα φωτόνια κινούνται με την ταχύτητα του φωτός: 299.792,46 km/sec (συνηθέστερα χρησιμοποιείται η στρογγυλοποίηση στα 300.000 km/sec) σχηματίζοντας κύματα, όπως φαίνεται στο επόμενο σχήμα.

Ένα φωτόνιο ταξιδεύει ως ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα έχοντας δύο κάθετες μεταξύ τους συνιστώσες, οι οποίες ταλαντώνονται σε ημιτονικές μορφές και αποτελούν η μία το ηλεκτρικό πεδίο και η άλλη το μαγνητικό πεδίο του κύματος. Και οι δύο συνιστώσες έχουν το ίδιο πλάτος και λαμβάνουν τους μέγιστες και ελάχιστες τιμές τους την ίδια χρονική στιγμή.



Σχήμα 1.2: Μήκος κύματος ηλεκτρομαγνητικού κύματος

Σε αντίθεση με άλλες μορφές κυμάτων, τα κύματα φωτονίων μπορούν να διαδοθούν στο κενό. Όταν φωτόνια διέρχονται από ένα μέσον σε ένα άλλο αλλάζουν διευθύνσεις διάδοσης και υφίστανται διάθλαση.

Ένα φωτόνιο αναφέρεται ως κβαντισμένο, με την έννοια ότι περιέχει μια συγκεκριμένη ποσότητα ενέργειας. Η ποσότητα της ενέργειας που χαρακτηρίζει κάθε φωτόνιο καθορίζεται χρησιμοποιώντας τη γενική εξίσωση του Planck :

$$E = h\nu \quad \text{Εξίσωση 1.1}$$

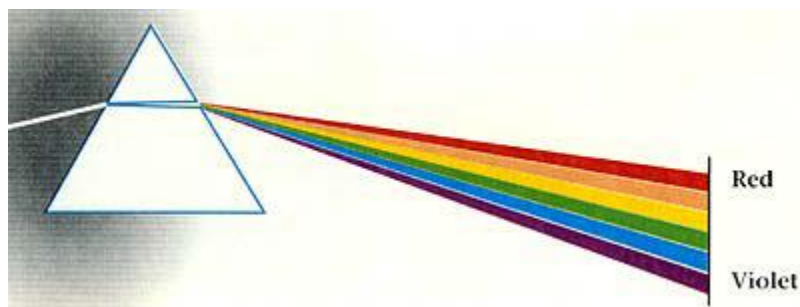
όπου h είναι η σταθερά του Planck ($6,6260... \cdot 10^{-34}$ Joules*sec) και ν η συχνότητα της ακτινοβολίας. Έτσι, φωτόνια που ταξιδεύουν σε μεγαλύτερες συχνότητες έχουν και περισσότερη ενέργεια. Εάν σε ένα υλικό που βρίσκεται σε κάποια διεγερμένη κατάσταση συμβεί κάποια ενεργειακή μεταβολή, για παράδειγμα μετάβαση από μια υψηλότερη ενεργειακή στάθμη E_2 σε μια χαμηλότερη ενεργειακή στάθμη E_1 ; τότε, σύμφωνα με την παραπάνω εξίσωση, η μεταβολή της ενέργειάς του, μπορεί να υπολογιστεί από τη σχέση:

$$\Delta E = E_2 - E_1 = h\nu \quad \text{Εξίσωση 1.2}$$

όπου η συχνότητα ν καθορίζεται από τη διαφορά $\nu_2 - \nu_1$. Δηλαδή συγκεκριμένη ενεργειακή μεταβολή χαρακτηρίζεται από την εκπομπή ακτινοβολίας (φωτονίων) σε συγκεκριμένη συχνότητα ν και σε αντίστοιχο μήκος κύματος που καθορίζεται από το μέγεθος της μεταβολής.

1.2.1 Κατανομή ακτινοβολούμενης ενέργειας

Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται σε μία ευρεία περιοχή ακτινοβολούμενων ενεργειών ή κυματικών συχνοτήτων από τα μεγαλύτερα μήκη κύματος (περιλαμβάνοντας τα μικροκύματα και τα ραδιοκύματα) έως τα μικρότερα μήκη κύματος (περιλαμβάνοντας τις ακτίνες γάμα και X). Το τμήμα του φάσματος που μπορεί να ανιχνευθεί από το ανθρώπινο μάτι είναι αρκετά μικρό, καλύπτει μόλις την περιοχή 0,4 έως 0,7 μm και αποκαλείται ορατή περιοχή. Το λευκό φως περιέχει μια σύνθεση όλων των μηκών κύματος στην ορατή περιοχή. Πρώτος ο Isaac Newton το 1666 απέδειξε με τη βοήθεια ενός πειράματος ότι το ορατό φως είναι μια συνεχής ακολουθία μηκών κύματος που αναπαριστούν τα διαφορετικά χρώματα που μπορεί να δει το ανθρώπινο μάτι, από το κόκκινο ως το μοβ. Συγκεκριμένα, πέρασε λευκό φως μέσα από ένα γυάλινο πρίσμα και παρατήρησε την παρακάτω εικόνα.



Σχήμα 1.3 : Ανάλυση λευκού φωτός μέσα από πρίσμα

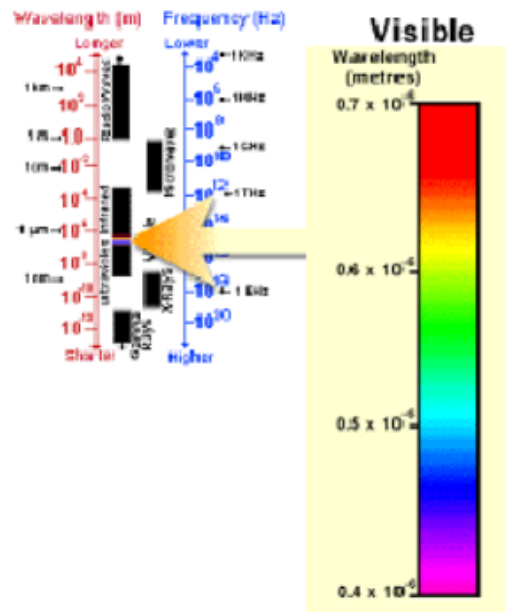
Το αποτέλεσμα του πειράματος αυτού βασίζεται στην αρχή ότι καθώς η ακτινοβολία διέρχεται από ένα μέσο σε κάποιο άλλο, αλλάζει κατεύθυνση διάδοσης σύμφωνα τον συντελεστή διάθλασης. Ο παράγοντας αυτός εξαρτάται από το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας έτσι ώστε η γωνία κλίσης της ακτίνας να ποικίλλει συστηματικά από το κόκκινο – μεγαλύτερο μήκος κύματος, μικρότερη συχνότητα – μέχρι το ιώδες – μικρότερο μήκος κύματος, μεγαλύτερη συχνότητα. Η διαδικασία με την οποία επιτυγχάνεται ο διαχωρισμός του λευκού φωτός στις χρωματικές συνιστώσες του ονομάζεται χρωματική διασπορά.

Η κατανομή της αλληλουχίας όλων των ακτινοβολούμενων ενεργειών μπορεί να απεικονιστεί τόσο συναρτήσει των μηκών κύματος όσο και της συχνότητας σε ένα διάγραμμα, το οποίο είναι γνωστό ως ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Χρησιμοποιώντας φασματοσκόπια και άλλα τηλεπισκοπικά όργανα στην πάροδο του χρόνου, οι επιστήμονες μπόρεσαν να διαιρέσουν το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα σε περιοχές ή ζώνες στις οποίες έδωσαν περιγραφικά ονόματα.

Υπάρχουν ορισμένες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος οι οποίες είναι πολύ χρήσιμες στην τηλεπισκόπηση :

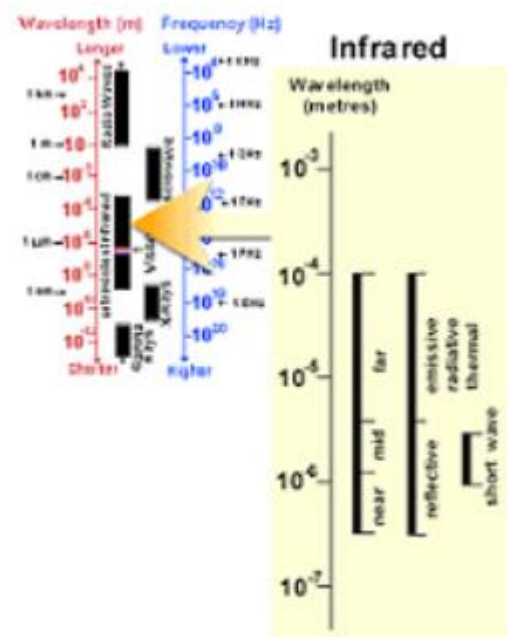
1. Σε πολλές εφαρμογές χρησιμοποιείται η υπεριώδης περιοχή του φάσματος, η οποία περιλαμβάνει τα μικρότερα μήκη κύματος τα οποία αποδεικνύονται χρήσιμα για τις τηλεπισκοπικές μετρήσεις. Ορισμένα υλικά στην επιφάνεια της γης, όπως πετρώματα και ορυκτά, παρουσιάζουν την τάση να φθορίζουν ή να εκπέμπουν ορατό φως υπό την επίδραση υπεριώδους ακτινοβολίας.
2. Το επόμενο τμήμα του φάσματος που παρουσιάζει ενδιαφέρον, είναι εκείνο που είναι ορατό από τον άνθρωπο και αποτελεί την ορατή περιοχή. Η ορατή περιοχή είναι ιδιαίτερα μικρή συγκρινόμενη με το υπόλοιπο τμήμα του φάσματος, καλύπτει μόλις το εύρος 0,4 έως 0,7μm. Το μεγαλύτερο ορατό μήκος κύματος είναι στην περιοχή του κόκκινου, ενώ το μικρότερο στην περιοχή του ιώδες. Οι περιοχές των μηκών κύματος τις οποίες αντιλαμβανόμαστε ως χρώματα στην ορατή περιοχή του φάσματος, είναι οι ακόλουθες:

- **Μωβ** : 0.4 - 0.446μm
- **Μπλε** : 0.446 - 0.500μm
- **Πράσινο** : 0.500 - 0.578μm
- **Κίτρινο** : 0.578 - 0.592μm
- **Πορτοκαλί** : 0.592 - 0.620 μm
- **Κόκκινο** : 0.620 - 0.7 μm



Σχήμα 1.4 : Ορατή περιοχή φάσματος

3. Ακολουθεί η περιοχή του υπέρυθρου, η οποία καλύπτει τη ζώνη από 0,7μm έως 100μm. Η περιοχή αυτή μπορεί να χωριστεί σε δύο κατηγορίες ανάλογα με τις αντίστοιχες ιδιότητες ακτινοβολίας, την ανακλώμενη υπέρυθρη (reflected IR) και την εκπεμπόμενη ή θερμική υπέρυθρη περιοχή (emitted/thermal IR). Η ακτινοβολία στην ανακλώμενη υπέρυθρη περιοχή χρησιμοποιείται στις τηλεπισκοπικές μετρήσεις, όπως και η ακτινοβολία στην ορατή περιοχή και καλύπτει τη ζώνη μεταξύ 0,7μm και 3,0μm. Η θερμική υπέρυθρη περιοχή είναι αρκετά διαφορετική από το ορατό και το ανακλώμενο υπέρυθρο τμήμα, καθώς η ενέργεια στην περιοχή αυτή είναι κύρια η ακτινοβολία η οποία εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια υπό μορφή θερμότητας. Η θερμική IR περιοχή εκτείνεται από τα 3,0μm μέχρι τα 100μm.

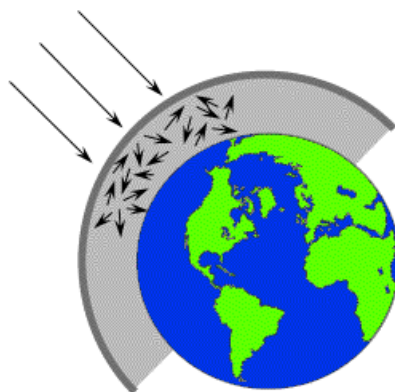


Σχήμα 1.5 : Περιοχή υπέρυθρου

4. Τέλος, η περιοχή που πρόσφατα παρουσιάζει ενδιαφέρον για την τηλεπισκόπηση είναι η μικροκυματική περιοχή από 1mm έως 1m. Αυτή η ζώνη καλύπτει τα μεγαλύτερα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για τέτοιου είδους μετρήσεις. Τα μικρότερα μήκη κύματος έχουν ιδιότητες παραπλήσιες με αυτές της θερμικής υπέρυθρης περιοχής, ενώ τα μεγαλύτερα πλησιάζουν στα μήκη κύματος που χρησιμοποιούνται για ραδιοφωνικές μεταδόσεις.

1.2.2 Διάδοση ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας μέσα από την ατμόσφαιρα

Πριν φθάσει στη γήινη επιφάνεια η ακτινοβολία που θα χρησιμοποιηθεί στις τηλεπισκοπικές μετρήσεις, θα διασχίσει κάποια απόσταση μέσα από την ατμόσφαιρα της γης. Τα μόρια και τα αέρια στην ατμόσφαιρα μπορούν να επηρεάσουν το εισερχόμενο φως και την ακτινοβολία. Οι επιδράσεις αυτές οφείλονται στους μηχανισμούς της σκέδασης και της απορρόφησης.

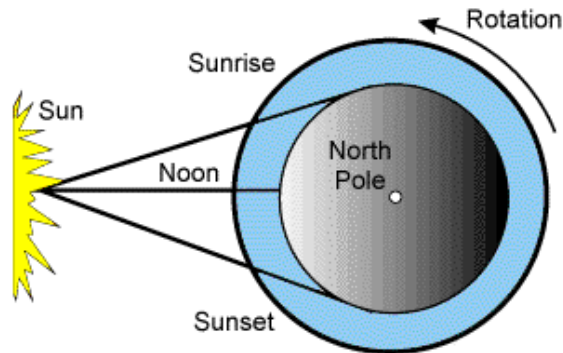


Σχήμα 1.6: Φαινόμενο σκέδασης

Η σκέδαση λαμβάνει χώρα όταν ορισμένα σωματίδια ή μεγάλα μόρια αερίων που υπάρχουν στην ατμόσφαιρα αλληλεπιδρούν με την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία και προκαλούν αλλαγή της διεύθυνσης διάδοσής της. Το ποσοστό της σκέδασης που λαμβάνει χώρα εξαρτάται από διάφορους παράγοντες, μεταξύ των οποίων περιλαμβάνονται το μήκος κύματος της ακτινοβολίας, η πυκνότητα των σωματιδίων ή αερίων καθώς και η απόσταση που διανύει η ακτινοβολία μέσα από την ατμόσφαιρα. Υπάρχουν τρεις τύποι σκέδασης λόγω διάδοσης μέσω της ατμόσφαιρας.

1. Η σκέδαση Rayleigh λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια είναι πολύ μικρά συγκρινόμενα με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Τέτοια σωματίδια μπορεί να είναι μικροί κόκκοι σκόνης ή μόρια οξυγόνου ή αζώτου. Η σκέδαση Rayleigh προκαλεί σκέδαση των μικρότερων μηκών κύματος σε πολύ μεγαλύτερο ποσοστό σε σχέση με τα μεγαλύτερα μήκη κύματος και αποτελεί τον κυρίαρχο μηχανισμό σκέδασης στην ανώτερη ατμόσφαιρα. Συγκεκριμένα το γεγονός ότι ο ουρανός εμφανίζεται μπλε κατά τη διάρκεια της ημέρας οφείλεται στο φαινόμενο αυτό. Καθώς το ηλιακό φως διέρχεται μέσα από την ατμόσφαιρα, τα μικρότερα μήκη κύματος του ορατού φάσματος (περιοχή του μπλε)

σκεδάζονται περισσότερο από άλλα μεγαλύτερα μήκη κύματος στην ορατή περιοχή. Κατά την ανατολή και τη δύση του ηλίου το φως διανύει περισσότερη απόσταση μέσα από την ατμόσφαιρα σε σχέση με το μεσημέρι, με αποτέλεσμα το φαινόμενο της σκέδασης να έχει ολοκληρωθεί κατά το μεγαλύτερο ποσοστό και έτσι να μπορεί να διεισδύσει στην ατμόσφαιρα μεγαλύτερο ποσοστό από τα μακρύτερα μήκη κύματος.



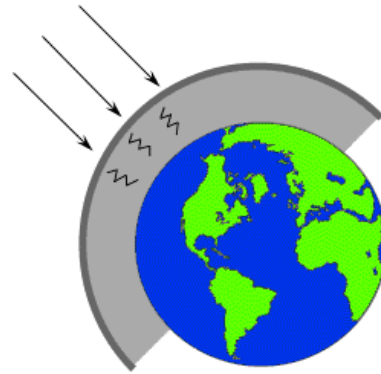
Σχήμα 1.7 : Σκέδαση Rayleigh

2. Η σκέδαση Mie λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια έχουν περίπου το ίδιο μέγεθος με το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Η σκόνη, η γύρη, ο καπνός και οι υδρατμοί αποτελούν συχνές αιτίες εμφάνισης του μηχανισμού Mie, ο οποίος κυρίως επηρεάζει μεγαλύτερα μήκη κύματος από αυτά που επηρεάζει ο μηχανισμός Rayleigh, ενώ λαμβάνει χώρα ιδιαίτερα στα χαμηλότερα στρώματα της ατμόσφαιρας όπου τα μεγαλύτερα σωματίδια βρίσκονται σε μεγαλύτερη πυκνότητα και κυριαρχεί όταν επικρατούν συνθήκες νέφωσης.
3. Ο τρίτος μηχανισμός σκέδασης ονομάζεται μη επιλεκτική σκέδαση (nonselective scattering). Αυτός λαμβάνει χώρα όταν τα σωματίδια είναι πολύ μεγαλύτερα από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας. Σταγόνες νερού καθώς και μεγάλα σωματίδια σκόνης μπορούν να προκαλέσουν την εμφάνιση αυτού του φαινομένου. Ο συγκεκριμένος μηχανισμός σκέδασης λαμβάνει την ονομασία του από το γεγονός ότι όλα τα μήκη κύματος σκεδάζονται εξίσου. Η μη επιλεκτική σκέδαση αποτελεί την αιτία για την εμφάνιση της ομίχλης και των σύννεφων σε άσπρη απόχρωση, αφού τόσο το μπλε, το πράσινο όσο και το κόκκινο σκεδάζονται όλα ακριβώς κατά το ίδιο ποσοστό (μπλε + πράσινο + κόκκινο φως = άσπρο φως).



Σχήμα 1.8 : Επιλεκτική σκέδαση

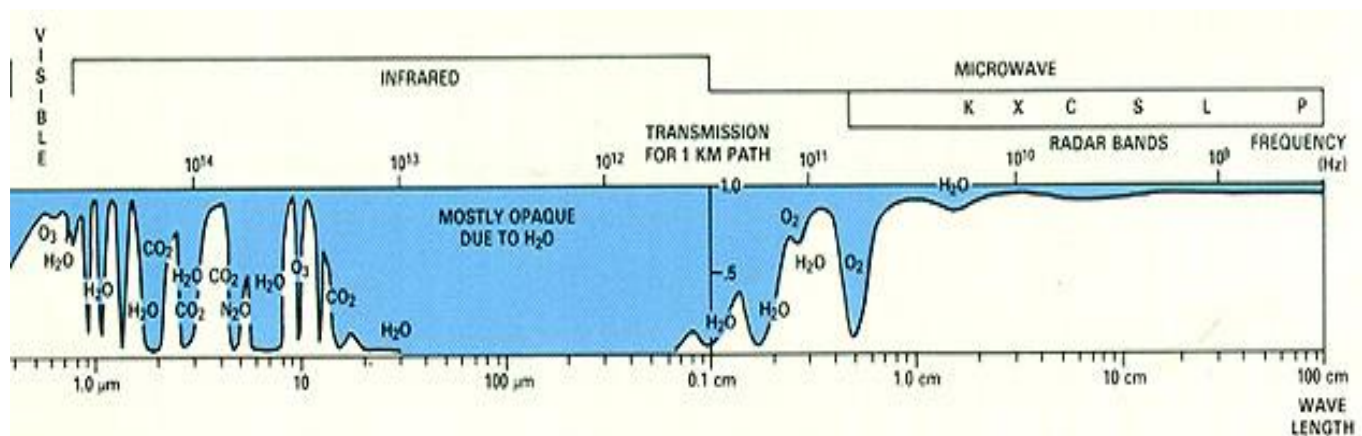
Η απορρόφηση είναι ένας ακόμη μηχανισμός που λαμβάνει χώρα κατά την αλληλεπίδραση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας με την ατμόσφαιρα. Σε αντίθεση με τη σκέδαση, το συγκεκριμένο φαινόμενο προκαλεί απορρόφηση της ενέργειας από τα σωματίδια σε διαφορετικά μήκη κύματος. Το όζον, το διοξείδιο του άνθρακα και οι υδρατμοί είναι τα τρία κύρια ατμοσφαιρικά συστατικά που απορροφούν την ακτινοβολούμενη ενέργεια.



Σχήμα 1.9 : Ατμοσφαιρική απορρόφηση

Το όζον χρησιμεύει για την απορρόφηση της επιβλαβούς υπεριώδους ακτινοβολίας από τον ήλιο. Χωρίς αυτό το προστατευτικό στρώμα στην ατμόσφαιρα, το δέρμα μας θα κινδύνευε από εγκαύματα κατά την έκθεσή του στον ήλιο. Το διοξείδιο του άνθρακα, στο οποίο αναφερόμαστε πολλές φορές με την ονομασία αέριο θερμοκηπίου, παρουσιάζει ισχυρή απορρόφηση της ακτινοβολίας στη μακρά υπέρυθη περιοχή του φάσματος, ενώ οι υδρατμοί στην ατμόσφαιρα απορροφούν ένα σημαντικό μέρος της ακτινοβολίας ανάμεσα στη μακρά υπέρυθη και εγγύς μικροκυματική περιοχή (μεταξύ 22μm και 1m). Ακριβώς επειδή τα παραπάνω αέρια απορροφούν την ηλεκτρομαγνητική ενέργεια στις προαναφερθείσες περιοχές του φάσματος τις καθιστούν ακατάλληλες στους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες. Οι περιοχές οι οποίες δεν επηρεάζονται σημαντικά από φαινόμενα ατμοσφαιρικής απορρόφησης και επομένως καθίστανται χρήσιμες στους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες, ονομάζονται ατμοσφαιρικά παράθυρα.

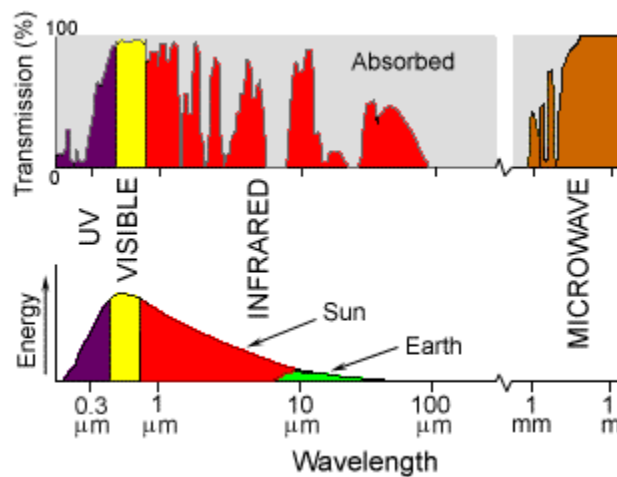
Στο επόμενο διάγραμμα (Σχήμα 1.10) έχει σχεδιαστεί με τη μορφή καμπυλών, η διάδοση (και η απορρόφηση) των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων μέσα από την ατμόσφαιρα της γης για τις διάφορες περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος.



Σχήμα 1.10 : Διάδοση και απορρόφηση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ατμόσφαιρα της γης

Οι μπλε ζώνες αντιστοιχούν σε ελάχιστο πέρασμα εισερχόμενης ή εξερχόμενης ακτινοβολίας ενώ οι άσπρες ζώνες σε ατμοσφαιρικά παράθυρα στα οποία η ακτινοβολία δεν αλληλεπιδρά ιδιαίτερα με τα μόρια του αέρα και έτσι δεν έχουμε σημαντικό βαθμό απορρόφησης. Συγκρίνοντας τα χαρακτηριστικά των δύο κυρίαρχων πηγών ενέργειας/ακτινοβολίας, του ήλιου και της γης, με τα ατμοσφαιρικά παράθυρα που προκύπτουν από το διάγραμμα, μπορούμε να καθορίσουμε εκείνα τα μήκη κύματος, που μπορούν να χρησιμοποιηθούν πιο αποτελεσματικά από τα όργανα τηλεπισκόπησης.

Το ορατό τμήμα του φάσματος, αντιστοιχεί τόσο σε ατμοσφαιρικό παράθυρο όσο και στο μέγιστο ενεργειακό επίπεδο του ήλιου. Ακόμη, η θερμική ενέργεια η οποία εκπέμπεται από τη γήινη επιφάνεια αντιστοιχεί σε ένα παράθυρο στα 10μm περίπου, στη θερμική υπέρυθρη περιοχή του φάσματος, ενώ το μεγάλο ατμοσφαιρικό παράθυρο που διακρίνεται στο παραπάνω διάγραμμα μετά τα 1mm σχετίζεται με τη μικροκυματική περιοχή του φάσματος.



Σχήμα 1.11 : Ατμοσφαιρικά παράθυρα

Οι περισσότεροι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες στον αέρα ή σε διαστημικές πλατφόρμες λειτουργούν σε ένα ή περισσότερα από τα παραπάνω παράθυρα, λαμβάνοντας μετρήσεις με ανιχνευτές οι οποίοι είναι συντονισμένοι (ρυθμισμένοι) σε συγκεκριμένα μήκη κύματος που περνούν μέσα από την ατμόσφαιρα. Παραδοσιακά, οι αισθητήρες παρακολούθησης της γης χρησιμοποιούν την ανακλώμενη ενέργεια στην ορατή και στην υπέρυθρη περιοχή του φάσματος και την εκπεμπόμενη ενέργεια στη θερμική υπέρυθρη και μικροκυματική περιοχή, για τη συλλογή της ακτινοβολίας η οποία μπορεί να αναλυθεί και να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή εικόνων των οποίων οι διαφορές αντικατοπτρίζουν τις διαφορετικές εντάσεις των φωτονίων οι οποίες σχετίζονται με την περιοχή των μηκών κύματος που συλλαμβάνονται από τον αισθητήρα. Ακριβώς αυτή η συλλογή των διαφορετικών, συνεχόμενων ή μη περιοχών μηκών κύματος αποτελεί τη βασική αρχή των πολυφασματικών μεθόδων απεικόνισης.

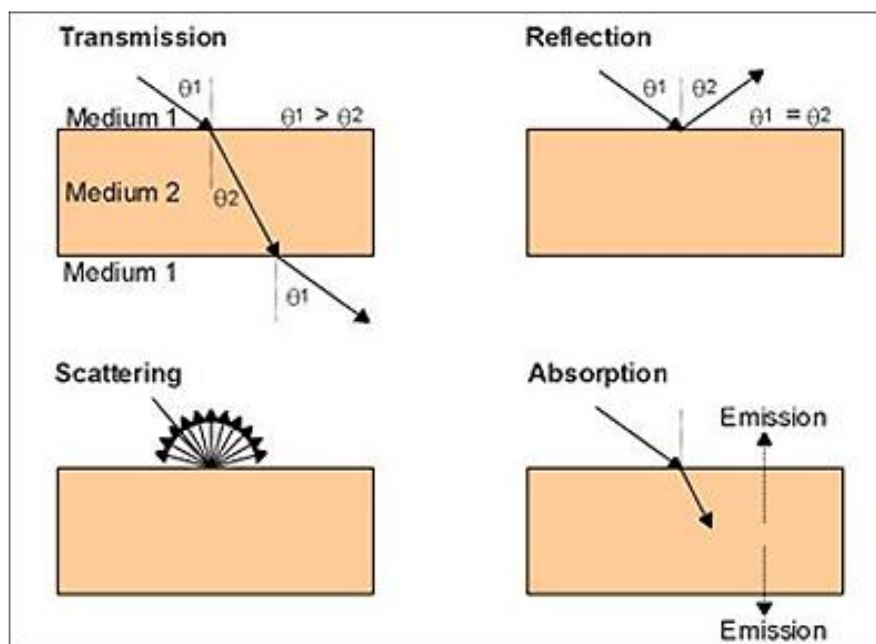
Εικόνες που προέρχονται από επεξεργασία σημάτων διαφορετικών συχνοτήτων και εντάσεων παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις στους τόνους του γκρι αν πρόκειται για ασπρόμαυρες εκδοχές τους ή στα χρώματα αν πρόκειται για έγχρωμες εικόνες. Έτσι, η απεικονιστική αναπαράσταση διαφόρων αντικειμένων-στόχων σε διαφορετικές φασματικές περιοχές, με τη χρήση διαφορετικών αισθητήρων "συντονισμένων" έτσι ώστε να δέχονται και να

επεξεργάζονται κυματικές συχνότητες που χαρακτηρίζουν συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, παρουσιάζει σημαντικές διαφορές στην ένταση και την απόχρωση ή στις διαβαθμίσεις της κλίμακας του γκρι.

1.2.3 Διάδοση - Απορρόφηση - Ανάκλαση

Το μέρος της ακτινοβολίας που δεν σκεδάζεται ή δεν απορροφάται από την ατμόσφαιρα φθάνει στη γήινη επιφάνεια και αλληλεπιδρά με αυτή. Η ολική προσπίπτουσα ενέργεια αλληλεπιδρά με την επιφάνεια με έναν ή περισσότερους από τους παρακάτω μηχανισμούς. Τα ποσοστά αλληλεπίδρασης για καθέναν από αυτούς εξαρτώνται τόσο από το μήκος κύματος της ακτινοβολίας όσο και από τις ιδιότητες του υλικού.

Κάθε ακτίνα φωτονίων από κάποια πηγή στο μέσον 1 η οποία προσπίπτει σε κάποιο αντικείμενο ή στόχο στο μέσον 2 θα υποστεί μία ή περισσότερες από τις αντιδράσεις που συνοψίζονται στο σχήμα 1.12 .



Σχήμα 1.12: Αλληλεπιδράσεις με το στόχο

Κάποια αντικείμενα έχουν την ικανότητα να μεταδίδουν το φως χωρίς σημαντική εξασθένηση. Άλλα αντικείμενα προκαλούν απορρόφηση της προσπίπτουσας ενέργειας και κατά ένα μέρος εκπομπή της σε μεγαλύτερα μήκη κύματος ή ανάκλαση του φωτός με την ίδια γωνία με τη γωνία πρόσπτωσης.

Η πρωταρχική πηγή ενέργειας η οποία φωτίζει τα φυσικά αντικείμενα είναι ο ήλιος. Η ηλιακή ακτινοβολία φθάνει στη γη σε μήκη κύματος που καθορίζονται από τη φωτοσφαιρική θερμοκρασία του ήλιου, η οποία φθάνει μέχρι τους 5.600°C . Καθώς οι ηλιακές ακτίνες φθάνουν στη γη, η ατμόσφαιρα απορροφά ή οπισθοσκεδάζει ένα μέρος ενώ μεταδίδει το υπόλοιπο.

Προσπίπτοντας πάνω σε γήινους, θαλάσσιους ή ατμοσφαιρικούς στόχους, όπως αέρα, σύννεφα, υγρασία, η εισερχόμενη ακτινοβολία κατανέμεται σε τρεις μορφές αλληλεπίδρασης με το στόχο:

- Διάδοση (τ) – ένα ποσοστό της ακτινοβολίας διεισδύει σε κάποιες επιφάνειες υλικών, όπως το νερό και αν το υλικό είναι διαφανές και λεπτό σε μία διάσταση, συνήθως διέρχεται μέσα από αυτό με κάποια μικρή εξασθένηση.
- Απορρόφηση (α) – κάποιο ποσοστό της ακτινοβολίας απορροφάται μέσω μοριακών ή ηλεκτρονιακών αντιδράσεων που λαμβάνουν χώρα στο μέσον και κάποιο ποσοστό κατόπιν επανεκπέμπεται, συνήθως σε μεγαλύτερα μήκη κύματος, ενώ κάποιο άλλο παραμένει στο υλικό και το θερμαίνει.
- Ανάκλαση (ρ) – κάποιο ποσοστό ανακλάται από την προσπίπτουσα επιφάνεια και διαθλάται μακριά από το στόχο σε διαφορετικές γωνίες, οι οποίες εξαρτώνται από την τραχύτητα της επιφάνειας και τη γωνία πρόσπτωσης των ακτινών.

Οι τρεις παραπάνω παράμετροι εκφράζονται ως αδιάστατοι αριθμοί, μεταξύ 0 και 1, ενώ πολύ συχνά αναφέρονται ως ποσοστά επί του συνόλου της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Σύμφωνα με το Νόμο Διατήρησης της Ενέργειας, ισχύει:

$$\tau + \alpha + \rho = 1 \quad \text{Εξίσωση 1.3}$$

Μία τέταρτη περίπτωση αναφάνεται, όταν η εκπεμπόμενη ακτινοβολία προκύπτει από την εσωτερική διέγερση των ατόμων του υλικού, η οποία συνήθως σχετίζεται με τη θερμική κατάστασή του και αποτελεί τη θερμική διαδικασία.

Υπάρχουν δύο τύποι ανακλαστικής επιφάνειας που αλληλεπιδρούν με την προσπίπτουσα ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία: η λεία (κατοπτρική) και η τραχεία επιφάνεια. Οι δύο αυτοί όροι καθορίζονται γεωμετρικά και όχι φυσικά.

Το κριτήριο που χρησιμοποιείται προκειμένου να προσδιοριστεί η τραχύτητα μιας επιφάνειας σε σχέση με την προσπίπτουσα σε αυτό ακτινοβολία είναι το γνωστό κριτήριο Rayleigh. Ορίζεται αρχικά ο βαθμός ανωμαλιών της επιφάνειας h (σε Å), ως:

$$h \leq \lambda / 8 \cos \theta \quad \text{Εξίσωση 1.4}$$

όπου λ (σε Å) : το μήκος κύματος της προσπίπτουσας ακτινοβολίας

θ : η γωνία πρόσπτωσης μετρούμενη από το κάθετο επίπεδο στην επιφάνεια.

Αν το μήκος κύματος λ είναι μικρότερο από το βαθμό ανωμαλιών h , η επιφάνεια δρα ως τραχεία, ενώ αν το λ είναι μεγαλύτερο από το h η επιφάνεια είναι λεία (ομαλή). Μια λεία επιφάνεια ανακλά την ακτινοβολία σύμφωνα με το Νόμο του Snell ο οποίος αναφέρει ότι η γωνία πρόσπτωσης ισούται με τη γωνία ανάκλασης.

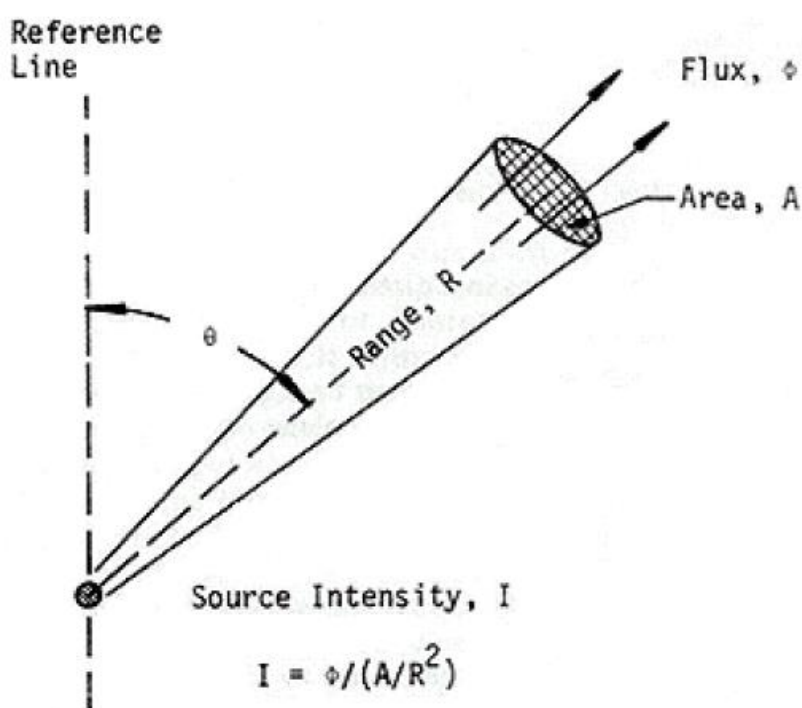
Γενικά οι φυσικές επιφάνειες είναι σχεδόν πάντα τραχείες και απέχουν σημαντικά από το να είναι λείες, κυρίως στα μικρότερα μήκη κύματος, ενώ παραμένουν τραχείες και στη μικροκυματική περιοχή.

1.2.4 Ραδιομετρικά μεγέθη

Η ορολογία και κάποιες βασικές αρχές και μεγέθη που χρησιμοποιούνται στην Τηλεπισκόπηση – Ραδιομετρία, παρατίθενται στη συνέχεια. Πρόκειται για την ακτινοβολούμενη ενέργεια, τη ροή ακτινοβολίας, την πυκνότητα ροής ακτινοβολίας, την ένταση ακτινοβολίας για σημειακή και μη σημειακή πηγή.

Η ακτινοβολούμενη ενέργεια (Radiant energy Q), η οποία μεταφέρεται από φωτόνια, πηγάζει από μια πηγή η οποία βρίσκεται σε διεγερμένη κατάσταση. Το ρεύμα φωτονίων κατευθύνεται κατά μήκος των ακτίνων σαν ροή (Φ - Radiant flux Φ), η οποία ορίζεται ως η ακτινοβολούμενη ενέργεια ανά μονάδα χρόνου ή ως ο ρυθμός ροής της ακτινοβολούμενης ενέργειας (dQ/dt) και μετράται σε Watt. Ανάλογα με τις συνθήκες, η ενέργεια που προέρχεται από μία σημειακή πηγή μπορεί να περιορίζεται σε συγκεκριμένη κατεύθυνση (σχηματίζοντας μια ακτίνα) ή να διαχέεται προς όλες τις κατευθύνσεις.

Πυκνότητα ροής ακτινοβολίας (Radiant flux density, σε Watt/m^2) είναι η ισχύς ακτινοβολίας που προσπίπτει κάθετα προς μία επιφάνεια, διαιρούμενη δια το εμβαδόν της επιφάνειας. Όταν αυτή αναφέρεται σε ροή που προσπίπτει επί επιφάνειας, ονομάζεται φωτισμός επιφάνειας E (Irradiance), ενώ όταν αναφέρεται σε ροή που εκπέμπεται-εξέρχεται από επιφάνεια, ονομάζεται ακτινοβολούμενη πυκνότητα ροής M (Emittance – Exitance).



Σχήμα 1.13 : Ένταση ακτινοβολίας I

Έτσι, για μια επιφάνεια σε απόσταση R από τη σημειακή πηγή, η ένταση ακτινοβολίας I είναι η ροή φ που διέρχεται μέσω του κώνου της στερεάς γωνίας ω και εξέρχεται από τον κυκλικό τομέα επιφάνειας A σε αυτήν την απόσταση.

Αναφερόμενοι σε μη σημειακή πηγή ακτινοβολίας, η ένταση ακτινοβολίας L (radiance) ορίζεται ως η ακτινοβολούμενη ροή ανά μονάδα στερεάς γωνίας που εξέρχεται από τη μη σημειακή πηγή σε συγκεκριμένη διεύθυνση ανά μονάδα επιφανείας της πηγής, όταν αυτή προβληθεί στη συγκεκριμένη διεύθυνση. Η ένταση ακτινοβολίας L συνδέεται με την ένταση I μέσω της σχέσης :

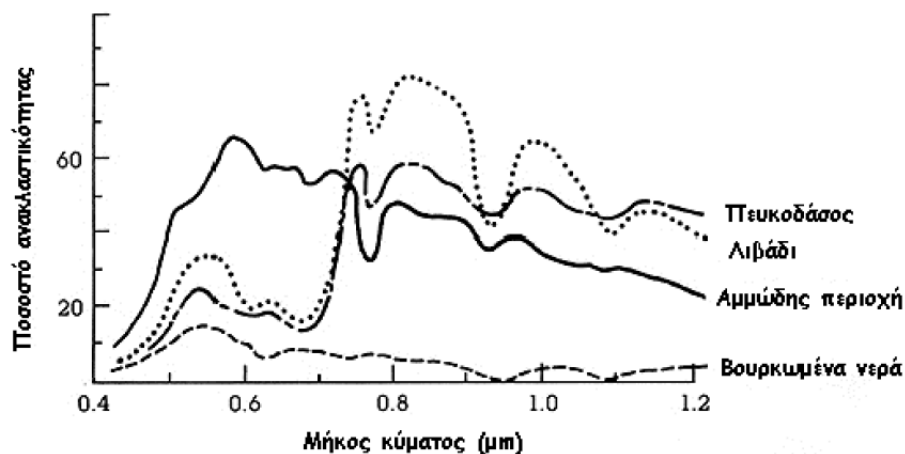
$$L = I / \cos\theta \quad \text{Εξίσωση 1.5}$$

Το μέγεθος που μετράται στην πραγματικότητα από τους περισσότερους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες είναι η ένταση ακτινοβολίας η οποία εξέρχεται από εκτεταμένες (μη σημειακές) πηγές σε διαφορετικά μήκη κύματος.

Όλες οι παραπάνω ραδιομετρικές ποσότητες Q, φ, I, E, L και M μπορούν να χρησιμοποιηθούν για όλο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Οι περισσότερες κυματικές ακολουθίες είναι πολυχρωματικές, με την έννοια ότι αποτελούνται από πολυάριθμες ημιτονοειδείς κυματικές συνιστώσες διαφορετικών συχνοτήτων. Το σύνολο των ποικίλων αυτών συχνοτήτων αποτελεί ένα σύνθετο κύμα. Κάθε σύνθετο κύμα μπορεί να αναλυθεί στις κυματικές συνιστώσες του με χρήση της ανάλυσης Fourier, με την οποία εξάγεται μια σειρά αρμονικών ημιτονοειδών κυμάτων καθένα με χαρακτηριστική συχνότητα, πλάτος και φάση. Με τον τρόπο αυτό, επιτυγχάνεται η ανάπτυξη ενός σήματος στο χώρο της συχνότητας, η ανάλυση του στις μονοχρωματικές συνιστώσες του και προκύπτουν φασματικά ραδιομετρικά μεγέθη.

1.2.5 Φασματικές υπογραφές

Η ψηφιακή υπογραφή αποτελεί μια διαφορετική ονομασία για το γράφημα των μεταβολών της ανακλώμενης ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας ως συνάρτηση του μήκους κύματος. Η ιδέα της ψηφιακής υπογραφής παρέχει τη δυνατότητα αναγνώρισης και διαχωρισμού των διαφορετικών αντικειμένων και υλικών χρησιμοποιώντας τα πολυφασματικά δεδομένα που λαμβάνονται από τους τηλεπισκοπικούς ανιχνευτές.



Σχήμα 1.14: Φασματικές υπογραφές

Για κάθε υλικό, η ποσότητα της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που αυτό ανακλά, απορροφά ή μεταδίδει, ποικίλλει ανάλογα με την περιοχή μήκους κύματος. Η σημαντική αυτή ιδιότητα της ύλης καθιστά δυνατή την αναγνώριση των διαφορετικών υλικών, ειδών και κατηγοριών και το διαχωρισμό τους μέσω των φασματικών υπογραφών τους (φασματικές καμπύλες), όπως μπορεί να παρατηρηθεί στο επόμενο σχήμα.

Έτσι, σε ορισμένα μήκη κύματος η αμμώδης περιοχή ανακλά περισσότερη ενέργεια από αυτή που ανακλάται από ένα λιβάδι με έντονη πράσινη βλάστηση, ενώ σε άλλα μήκη κύματος απορροφά περισσότερη (ανακλά λιγότερη). Η βασική ιδέα των ψηφιακών υπογραφών στηρίζεται στις διαφορές που παρουσιάζουν τα διαφορετικά υλικά στην ανακλαστική τους ιδιότητα. Χρησιμοποιώντας τα διαφορετικά ποσοστά ανακλαστικότητας, μπορούμε να διακρίνουμε τις επιφάνειες των τεσσάρων υλικών που αναφέρονται στο σχήμα (πευκοδάσος, λιβάδι, αμμώδης περιοχή, βουρκωμένα νερά).

Στο σχήμα 1.15 έχουν απεικονιστεί τέσσερα σημεία που παριστάνουν τα ποσοστά ανακλαστικότητας των αντίστοιχων επιφανειών που χρησιμοποιήθηκαν παραπάνω, σε δύο διαφορετικές περιοχές μηκών κύματος. Χρησιμοποιώντας περισσότερα μήκη κύματος προκύπτουν γραφικές παραστάσεις σε πολυδιάστατο χώρο που επιδεικνύουν ακόμη περισσότερο παραστατικά το διαχωρισμό ανάμεσα στα υλικά. Αυτή η βελτιωμένη δυνατότητα διαχωρισμού των υλικών χρησιμοποιώντας πολλές περιοχές μηκών κύματος αποτελεί τη βάση λειτουργίας των πολυφασματικών τηλεπισκοπικών ανιχνευτών.



Σχήμα 1.15 : Ποσοστά ανακλαστικότητας χαρακτηριστικών επιφανειών

2 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 - ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΟΙ ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ

2.1 ΓΕΝΙΚΑ

Η τηλεπισκόπηση της γήινης επιφάνειας και ατμόσφαιρας αποτελεί μια σχετικά νέα επιστήμη η οποία ως κύριο σκοπό έχει την απόκτηση πληροφοριών που αφορούν το φυσικό περιβάλλον, με χρήση διατάξεων που δεν βρίσκονται σε άμεση φυσική επαφή με τα παρατηρούμενα αντικείμενα. Οι συσκευές αυτές, οι οποίες είναι απαραίτητες για την ανίχνευση και τη μέτρηση της ακτινοβολίας και επομένως για τη συλλογή και την επεξεργασία της απαραίτητης πληροφορίας, ονομάζονται τηλεπισκοπικοί αισθητήρες και πραγματοποιούν μετρήσεις έμμεσα, είτε με ενεργό είτε με παθητικό τρόπο. Καθημερινά παραδείγματα τέτοιων τηλεπισκοπικών οργάνων είναι τα μάτια μας και οι κάμερες. Οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες που χρησιμοποιούνται στα δορυφορικά συστήματα λειτουργούν όπως και τα μάτια μας, με κάποιες σημαντικές διαφορές. Τα μάτια μας μπορούν να συλλέγουν εικόνες μόνο στην ορατή περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε αντίθεση με τους αισθητήρες οι οποίοι μπορούν να συλλέγουν πληροφορίες από ολόκληρο το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα. Διαφορετικοί αισθητήρες συλλέγουν εικόνες σε συγκεκριμένες περιοχές του φάσματος, οι οποίες ονομάζονται κανάλια. Ανάλογα με την επιθυμητή πληροφορία χρησιμοποιούνται αντίστοιχα κανάλια.

Προκειμένου οι τηλεπισκοπικοί αισθητήρες να μπορέσουν να συλλέξουν και να καταγράψουν την ανακλώμενη ή την εκπεμπόμενη ενέργεια από έναν στόχο ή από μια επιφάνεια, πρέπει να βρίσκονται σταθερά τοποθετημένοι σε μια πλατφόρμα απομακρυσμένη από το στόχο ή την επιφάνεια που βρίσκεται υπό παρατήρηση. Οι πλατφόρμες για τους τηλεπισκοπικούς αισθητήρες μπορούν να είναι τοποθετημένες στο έδαφος, σε ένα αεροσκάφος ή "μπαλόνη" ή σε κάποια άλλη πλατφόρμα μέσα στη γήινη ατμόσφαιρα, όπως σε κάποιο ύψος στη στρατόσφαιρα ή σε ένα διαστημόπλοιο ή δορυφόρο έξω από την ατμόσφαιρα της γης.

Οι αισθητήρες που βρίσκονται σε κάποια πλατφόρμα που είναι τοποθετημένη σε ξηρά (ή θάλασσα), συνήθως χρησιμοποιούνται για την καταγραφή λεπτομερούς πληροφορίας σχετικά με την επιφάνεια η οποία στη συνέχεια συνδυάζεται και συγκρίνεται με τη συλλεγόμενη πληροφορία από τους δορυφορικούς αισθητήρες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, αυτή η τεχνική χρησιμοποιείται για την καλύτερη διάκριση και αναγνώριση του στόχου ο οποίος ανιχνεύεται από τους υπόλοιπους αισθητήρες με σκοπό την καλύτερη δυνατή κατανόηση της πληροφορίας που λαμβάνεται από τις χρησιμοποιούμενες απεικονιστικές μεθόδους των οργάνων αυτών.

Οι εναέριες πλατφόρμες είναι κυρίως αεροσκάφη με σταθερά πτερύγια, ενώ ορισμένες φορές για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται και ελικόπτερα. Τα αεροσκάφη χρησιμοποιούνται συνήθως για τη συλλογή λεπτομερών πληροφοριών και διευκολύνουν τη συλλογή στοιχείων και δεδομένων σχεδόν πάνω από οποιοδήποτε τμήμα της γήινης επιφάνειας.

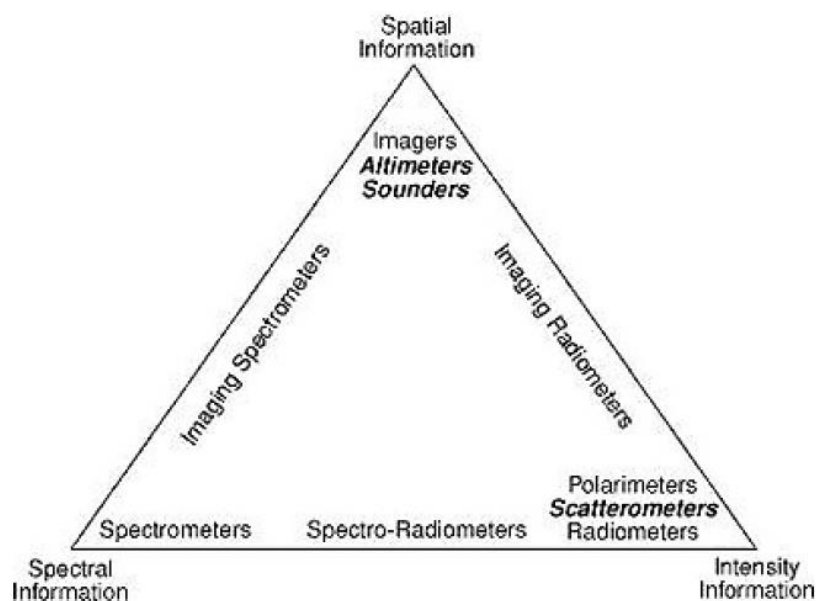
Στο διάστημα, η τηλεπισκόπηση μερικές φορές διεξάγεται μέσω διαστημοπλοίων, αλλά συνηθέστερα για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται δορυφόροι. Οι τροχιές που διατηρούν οι

δορυφόροι αυτοί, επιτρέπουν επαναληπτικά περάσματα πάνω από την επιφάνεια της γης σε συνεχή βάση. Συνήθως, το κόστος αποτελεί το σημαντικότερο παράγοντα ο οποίος καθορίζει την τελική επιλογή της πλατφόρμας που θα χρησιμοποιηθεί για την τηλεπισκόπηση της γης.

2.2 ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΑΙ ΕΙΔΗ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΙΚΩΝ ΑΙΣΘΗΤΗΡΩΝ

Τα περισσότερα όργανα τηλεπισκόπησης έχουν σχεδιαστεί έτσι ώστε να μετρούν φωτόνια. Η βασική αρχή, στην οποία στηρίζεται η λειτουργία τους, επικεντρώνεται στη διαδικασία που λαμβάνει χώρα σε ένα κρίσιμο λειτουργικό στοιχείο τους, τον ανιχνευτή (detector). Πρόκειται για το λεγόμενο φωτοηλεκτρικό φαινόμενο. Σύμφωνα με αυτό, όταν μια δέσμη φωτονίων προσπίπτει πάνω σε μια αρνητικά φορτισμένη πλάκα ειδικά κατασκευασμένη από κατάλληλο φωτοευαίσθητο υλικό, λαμβάνει χώρα εκπομπή αρνητικά φορτισμένων σωματιδίων (ηλεκτρονίων). Η ροή των ηλεκτρονίων αυτών μπορεί να συλλεγεί και να μετρηθεί ως ηλεκτρικό σήμα. Το πλάτος του παραγόμενου ηλεκτρικού ρεύματος (αριθμός φωτοηλεκτρονίων ανά μονάδα χρόνου) είναι ανάλογο προς την ένταση του προσπίπτοντος φωτός. Έτσι, οι μεταβολές στο παραγόμενο ηλεκτρικό ρεύμα μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη μέτρηση των μεταβολών των φωτονίων που προσπίπτουν στην πλάκα, στη συγκεκριμένη περίπτωση τον ανιχνευτή, κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος. Η κινητική ενέργεια που αποκτούν τα εκπεμπόμενα φωτοηλεκτρόνια ποικίλει ανάλογα με τη συχνότητα της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Διαφορετικά υλικά εκπέμπουν ηλεκτρόνια σε διαφορετικές περιοχές μηκών κύματος με κάθε υλικό να παρουσιάζει ένα κατώφλι πέρα από το οποίο το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο αρχίζει να επιδρά και ένα δεύτερο πάνω από το οποίο το φαινόμενο σταματά να υφίσταται.

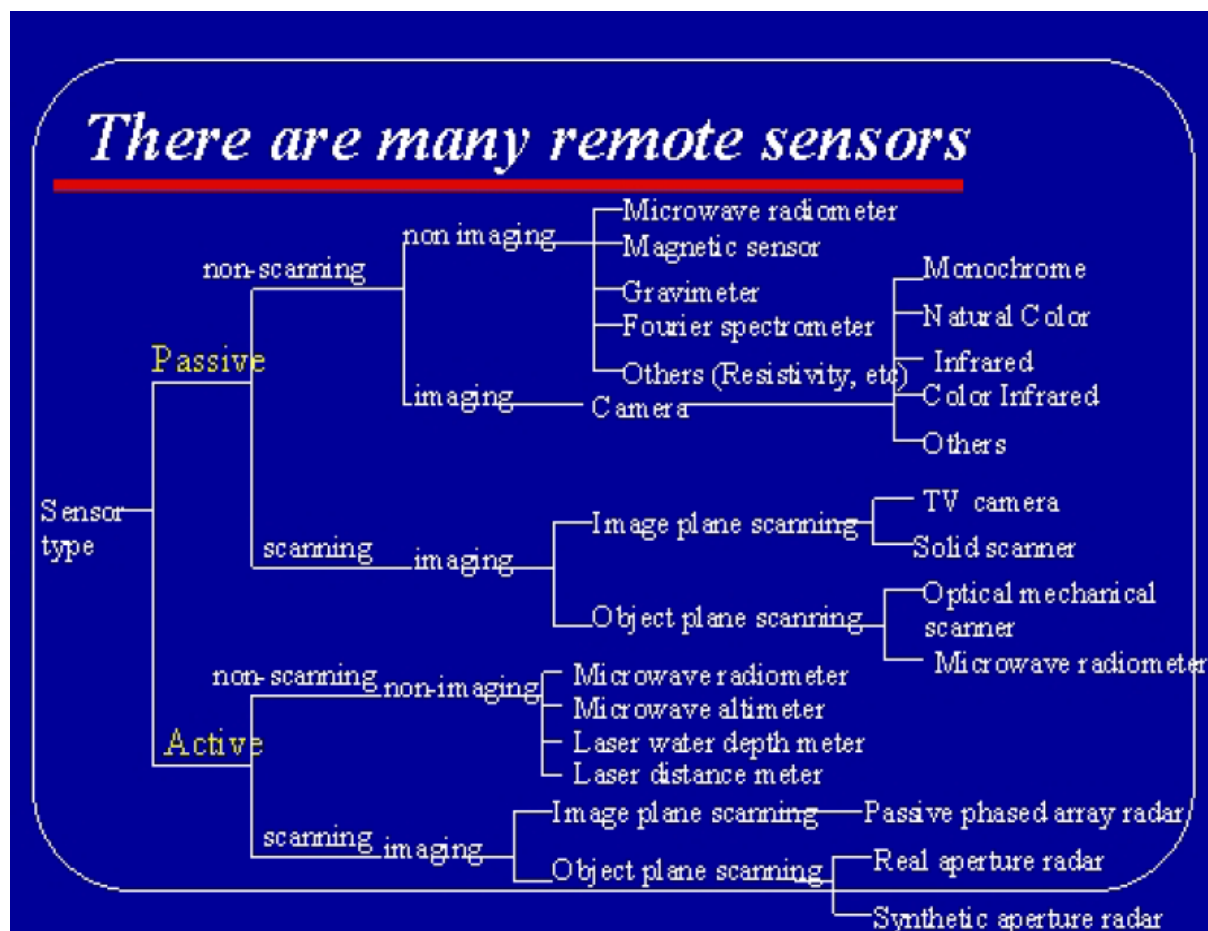
Προκειμένου να διαχωριστεί η λειτουργική επεξεργασία των διαφόρων κατηγοριών αισθητήρων, έχει σχεδιαστεί ένα τριγωνικό διάγραμμα (σχήμα 2.1) στο οποίο τα γωνιακά μέλη καθορίζονται βάσει της πρωταρχικής μετρούμενης παραμέτρου: φασματική, χωρική, ένταση.



Σχήμα 2.1: Λειτουργική επεξεργασία των αισθητήρων

Η χωρική πληροφορία (spatial information) περιγράφει τη φυσική θέση αντικειμένων και τις μετρικές σχέσεις μεταξύ τους. Η φασματική πληροφορία (spectral information) χρησιμοποιείται στην φασματοσκοπική ανάλυση για την αναγνώριση υλικών. Η πληροφορία αυτή βασίζεται στις διαφορετικές ιδιότητες που εμφανίζει μία δέσμη φωτός όταν αυτή διαθλαστεί σε διαφορετικά υλικά. Τέλος, η ραδιομετρική πληροφορία (intensity information) περιγράφει την ένταση της ακτινοβολίας ή ανακλαστικότητας αντικειμένων. Ανάλογα με το είδος της μετρούμενης παραμέτρου δίνεται ιδιαίτερο ενδιαφέρον σε μία παράμετρο (σε ειδικές περιπτώσεις σε δύο).

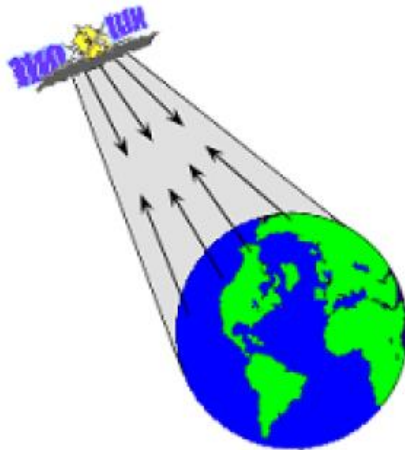
Στη συνέχεια, ακολουθεί ένα διάγραμμα που συγκεντρώνει τους διαφορετικούς τύπους αισθητήρων. Όπως μπορούμε να παρατηρήσουμε από αυτό, οι δύο κύριες κατηγορίες αισθητήρων είναι οι παθητικοί και οι ενεργοί αισθητήρες.



Σχήμα 2.2: Κατηγορίες αισθητήρων

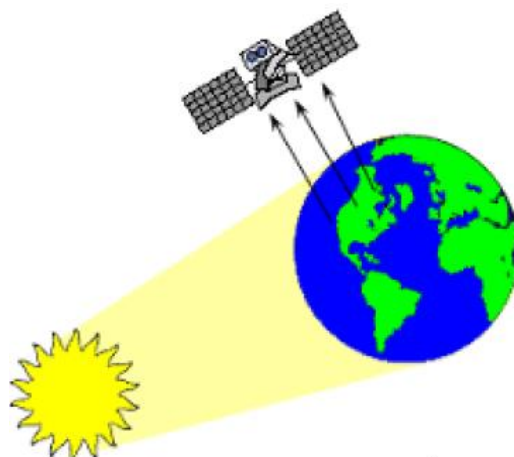
Οι ενεργοί αισθητήρες αποτελούν οι ίδιοι την πηγή ακτινοβολίας του στόχου που πρόκειται να ανιχνευτεί. Συγκεκριμένα, εκπέμπουν ακτινοβολία η οποία κατευθύνεται απευθείας στον στόχο ενδιαφέροντος. Η ακτινοβολία που ανακλάται από το στόχο αυτό, ανιχνεύεται και μετράται από τον αισθητήρα. Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των ενεργών αισθητήρων περιλαμβάνεται και η ικανότητά τους να λαμβάνουν μετρήσεις οποτεδήποτε, ανεξάρτητα από την ώρα της ημέρας ή από την εποχή. Τέτοιοι αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παρατήρηση σε εκείνες τις περιοχές μηκών κύματος στις οποίες δεν

υπάρχει επαρκής ηλιακή ακτινοβολία, όπως στα μικροκύματα ή για τον καλύτερο έλεγχο του τρόπου με τον οποίο ακτινοβολείται κάποιος στόχος. Εντούτοις, τα ενεργά συστήματα απαιτούν την παραγωγή μιας αρκετά υψηλής ποσότητας ενέργειας για την επαρκή ακτινοβολή των στόχων. Παραδείγματα ενεργών αισθητήρων είναι τα ραντάρ απεικόνισης, όπως το ραντάρ συνθετικού ανοίγματος SAR το οποίο χρησιμοποιεί παλμούς μικρής διάρκειας για την παρατήρηση της επιφάνειας της γης, τα μετεωρολογικά ραντάρ, τους μετρητές υψομέτρου και τις ηχοβολιστικές συσκευές οι οποίες χρησιμοποιούν ανακλώμενα ηχητικά κύματα.



Σχήμα 2.3 : Ενεργός αισθητήρας

Τα τηλεπισκοπικά συστήματα που μετρούν την ενέργεια η οποία είναι φυσικά διαθέσιμη, ονομάζονται παθητικοί αισθητήρες. Όπως έχει ήδη αναφερθεί ο ήλιος αποτελεί μια πρωταρχική πηγή ενέργειας ή ακτινοβολίας, η οποία είναι κατάλληλη για τις απαιτούμενες μετρήσεις στην τηλεπισκόπηση. Η ηλιακή ενέργεια είτε ανακλάται, όπως συμβαίνει στην ορατή περιοχή των μηκών κύματος, είτε απορροφάται και κατόπιν επανεκπέμπεται, όπως συμβαίνει στη θερμική υπέρυθη περιοχή. Έτσι, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες παρατηρούν την ακτινοβολία που εκπέμπεται από τα ίδια τα παρατηρούμενα αντικείμενα, όπως τη θερμική ακτινοβολία στη μικροκυματική ή θερμική υπέρυθη περιοχή του φάσματος ή την ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία από το παρατηρούμενο αντικείμενο στην περίπτωση παρατήρησης στην ορατή περιοχή του φάσματος.



Σχήμα 2.4: Παθητικός αισθητήρας

Οι παθητικοί αισθητήρες μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ανίχνευση της ενέργειας, μόνο όταν είναι διαθέσιμη η ενέργεια που ακτινοβολείται με φυσικό τρόπο. Έτσι, η ανάκλαση της προσπίπτουσας ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να λάβει χώρα μόνο κατά τη διάρκεια που ο ήλιος φωτίζει τη γη. Δεν μπορεί να ανιχνευτεί καμία ανακλώμενη ενέργεια η οποία να οφείλεται στον ήλιο κατά τη διάρκεια της νύκτας. Η ενέργεια, όμως, η οποία εκπέμπεται φυσικά, όπως στη θερμική υπέρυθη περιοχή, μπορεί να ανιχνευτεί συνεχώς, αρκεί η ποσότητα της λαμβανόμενης ενέργειας από τον αισθητήρα να είναι αρκετά μεγάλη ώστε να μπορεί να ανιχνευτεί. Ως παραδείγματα θα μπορούσαν να αναφερθούν τα ραδιόμετρα, τα φασματόμετρα και τα βαρύμετρα.

Οι αισθητήρες μπορεί να είναι απεικονιστικοί (imaging) ή μη απεικονιστικοί (non imaging). Στους αισθητήρες που ανήκουν στην πρώτη κατηγορία, τα εκπεμπόμενα ηλεκτρόνια χρησιμοποιούνται για τη διέγερση ή τον ιονισμό ενός υλικού όπως ο άργυρος πάνω σε μια μεμβράνη (film) ή για την τροφοδοσία μιας διάταξης παραγωγής εικόνων όπως μιας τηλεόρασης ή μιας οθόνης υπολογιστή ή μιας καθοδικής λυχνίας ή ενός παλμογράφου ή μιας μπαταρίας ηλεκτρονικών ανιχνευτών, με τελικό αποτέλεσμα μια εικόνα ή μια απεικόνιση raster. Οι μη απεικονιστικοί αισθητήρες μετρούν την ακτινοβολία που λαμβάνεται από όλα τα σημεία του υπό παρατήρηση αντικειμένου, συνυπολογίζουν όλη την μετρούμενη πληροφορία και αναφέρουν το αποτέλεσμα ως ισχύ του καταγραφόμενου ηλεκτρικού σήματος ή ως κάποιο άλλο ποσοτικό χαρακτηριστικό ή ιδιότητα όπως η ανακλαστικότητα.

Συνεχίζοντας την επεξήγηση κάποιων από τις ονομασίες που περιλαμβάνονται στο προηγούμενο σχήμα, αναφερόμαστε στον όρο ραδιόμετρο. Πρόκειται για μια γενική ονομασία που χρησιμοποιείται για κάθε όργανο που μετρά τη λαμβανόμενη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία σε συγκεκριμένες ζώνες του φάσματος. Όταν η ακτινοβολία είναι φως στην ορατή περιοχή, ο όρος ραδιόμετρο μπορεί να αντικατασταθεί από τον όρο φωτόμετρο. Αν ο αισθητήρας περιλαμβάνει ένα πρίσμα ή ένα φράγμα περίθλασης που μπορεί να διαχωρίσει την ακτινοβολία που εκτείνεται σε ένα μέρος του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος, σε διακριτά μήκη κύματος και έτσι να καθορίσει τα μήκη κύματος των διαφόρων ακτινοβολιών ή να μετρήσει την ακτινοβολούμενη ένταση, ονομάζεται φασματόμετρο. Ο όρος φασματοραδιόμετρο υπονοεί ότι η σκεδαζόμενη ακτινοβολία διαχωρίζεται σε φασματικές ζώνες και όχι σε διακριτά μήκη κύματος. Πρόκειται δηλαδή, για ένα όργανο που χρησιμοποιείται για τον καθορισμό της κατανομής της ακτινοβολούμενης ενέργειας σε ένα φάσμα συχνοτήτων συνδυάζοντας τις λειτουργίες του φασματομέτρου με αυτές του ραδιομέτρου.

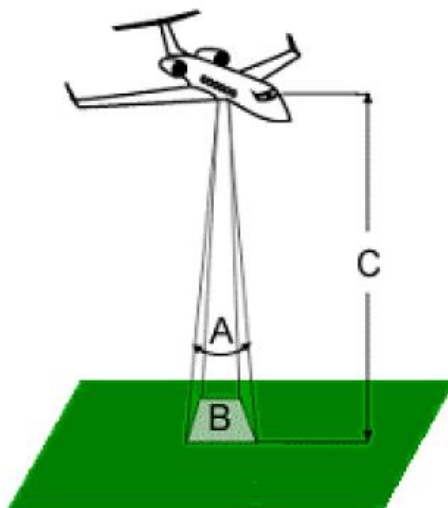
Οι αισθητήρες που μπορούν να μετρήσουν ακαριαία την ακτινοβολία που προέρχεται από ολόκληρη την περιοχή ενδιαφέροντος ονομάζονται συστήματα πλαισίωσης (framing systems). Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τα μάτια μας καθώς και οι φωτογραφικές μηχανές. Το μέγεθος της παρατηρούμενης περιοχής το οποίο πλαισιώνεται από τον αισθητήρα, καθορίζεται από τις οπές και τα οπτικά μέρη του συστήματος τα οποία καθορίζουν και το αποκαλούμενο πεδίο παρατήρησης FOV (Field Of View). Αν η περιοχή ενδιαφέροντος ανιχνεύεται σημείο προς σημείο κατά μήκος διαδοχικών γραμμών κατά τη διάρκεια ενός καθορισμένου χρονικού διαστήματος, τότε ο συγκεκριμένος τρόπος μέτρησης προσδιορίζει τα ανιχνευτικά συστήματα (scanning systems).

Ένα ακόμη χαρακτηριστικό, που ταξινομεί τους αισθητήρες σε δύο επιπλέον κατηγορίες, σχετίζεται με το αν ο αισθητήρας λειτουργεί σε ανιχνευτική ή σε μη ανιχνευτική λειτουργία (scanning/non-scanning mode). Ο όρος ανιχνευτική λειτουργία προϋποθέτει κίνηση μεταξύ των

διαφόρων σημείων μιας περιοχής κατά τη διάρκεια συγκεκριμένου χρονικού διαστήματος, ενώ ο όρος μη ανιχνευτική λειτουργία προϋποθέτει ότι είτε ο αισθητήρας θα κρατείται σταθερός πάνω από την περιοχή ενδιαφέροντος είτε ο στόχος ενδιαφέροντος θα παραμένει σταθερός καθώς βρίσκεται υπό παρατήρηση κατά τη διάρκεια ενός σύντομου χρονικού διαστήματος. Μια κάμερα που κρατείται σταθερή στο χέρι είναι μια μη ανιχνευτική συσκευή που συλλαμβάνει το φως σχεδόν ακαριαία όταν το διάφραγμα είναι ανοιχτό. Όταν όμως η κάμερα ή ο στόχος κινείται, τότε πραγματοποιείται μια ανιχνευτική λειτουργία.

2.2.1 Χωρική ανάλυση, μέγεθος pixel και κλίμακα

Για τα περισσότερα τηλεπισκοπικά όργανα, η απόσταση ανάμεσα στον παρατηρούμενο στόχο και στην πλατφόρμα του αισθητήρα παίζει έναν πολύ σημαντικό ρόλο στον καθορισμό της λεπτομέρειας της συλλεγόμενης πληροφορίας και στην ολική περιοχή που μπορεί να παρατηρηθεί και να απεικονιστεί από τον αισθητήρα. Αισθητήρες οι οποίοι είναι τοποθετημένοι σε πλατφόρμες πολύ μακριά από το στόχο τους, τυπικά μπορούν να παρατηρήσουν μια ευρύτερη περιοχή, αλλά δεν μπορούν να προσφέρουν μεγάλη λεπτομέρεια. Αυτό μπορεί να γίνει κατανοητό αν συγκρίνουμε αυτό που βλέπει στη γη ένας αστροναύτης ο οποίος βρίσκεται πάνω σε ένα διαστημόπλοιο, με αυτό που μπορούμε να δούμε εμείς ως επιβάτες ενός αεροπλάνου. Ο αστροναύτης θα μπορούσε να δει μια ολόκληρη χώρα με μια ματιά, αλλά δε θα μπορούσε να ξεχωρίσει τα διαφορετικά σπίτια. Από την άλλη πλευρά, πετώντας πάνω από μία πόλη ή μια χώρα μέσα σε ένα αεροσκάφος, θα μπορούσαμε να δούμε τα ξεχωριστά σπίτια και αυτοκίνητα, αλλά η συνολικά παρατηρούμενη περιοχή θα ήταν πολύ μικρότερη συγκρινόμενη με αυτή που παρατηρεί ο αστροναύτης.



Σχήμα 2.5 Στιγμαίο πεδίο παρατήρησης

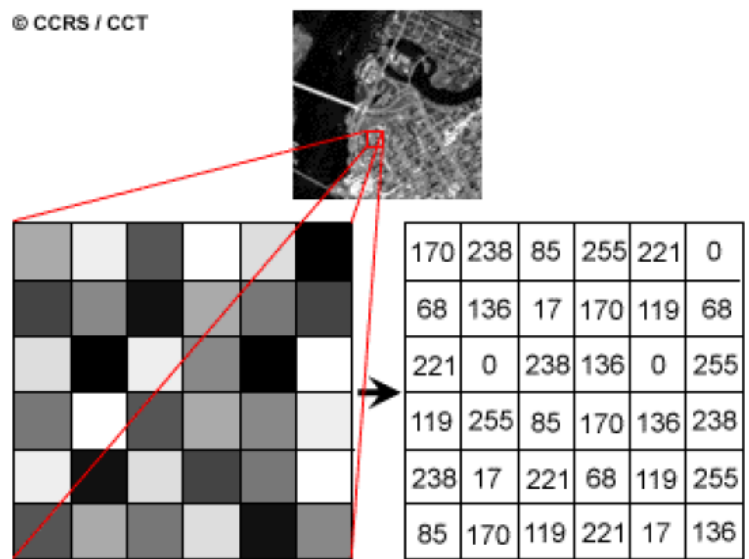
Η ευδιάκριτη λεπτομέρεια σε μια εικόνα εξαρτάται από τη χωρική ανάλυση του αισθητήρα και σχετίζεται με το μέγεθος του μικρότερου δυνατού αντικειμένου που μπορεί να ανιχνευτεί. Η χωρική ανάλυση των παθητικών αισθητήρων εξαρτάται κυρίως από το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησής τους IFOV (Instantaneous Field Of View). Το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης

αναφέρεται στη στερεά γωνία που περικλείεται μέσα στον κώνο ορατότητας του αισθητήρα (A) και καθορίζει την περιοχή της επιφάνειας της γης (B) η οποία μπορεί να παρατηρηθεί από ένα δεδομένο ύψος σε συγκεκριμένη χρονική στιγμή.

Το μέγεθος της παρατηρούμενης περιοχής καθορίζεται πολλαπλασιάζοντας το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV με την απόσταση από το έδαφος στον αισθητήρα (C). Αυτή η περιοχή στο έδαφος καλείται κυψέλη ή κελί ανάλυσης (resolution cell) και καθορίζει τη μέγιστη χωρική ανάλυση ενός αισθητήρα. Γενικά, προκειμένου να μπορεί να ανιχνευτεί ένα ομογενές αντικείμενο, το μέγεθός του πρέπει να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από το κελί ανάλυσης. Αν το συγκεκριμένο στοιχείο/αντικείμενο είναι μικρότερο, τότε πιθανότατα δεν είναι ανιχνεύσιμο, καθώς θα καταγράφεται η μέση φωτεινότητα όλων των αντικειμένων στο συγκεκριμένο κελί ανάλυσης. Εντούτοις, μικρότερα αντικείμενα ορισμένες φορές είναι ανιχνεύσιμα, εάν η φωτεινότητά τους κυριαρχεί σε ένα συγκεκριμένο κελί ανάλυσης.

Η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια μπορεί να ανιχνευτεί είτε με φωτογραφικό είτε με ηλεκτρονικό τρόπο. Η φωτογραφική μέθοδος χρησιμοποιεί χημικές αντιδράσεις στην επιφάνεια ενός φωτοευαίσθητου φιλμ προκειμένου να ανιχνευτούν και να καταγραφούν οι ενεργειακές μεταβολές. Είναι πολύ σημαντικό να διαχωρίσουμε τις έννοιες φωτογραφία και εικόνα στην επιστήμη της τηλεπισκόπησης. Μια εικόνα αναφέρεται σε μια οποιαδήποτε απεικονιστική αναπαράσταση, ανεξάρτητα από τα μήκη κύματος ή από τις τηλεπισκοπικές συσκευές που χρησιμοποιήθηκαν προκειμένου να ανιχνευτεί και να καταγραφεί η ηλεκτρομαγνητική ενέργεια.

Μια φωτογραφία αναφέρεται ειδικά σε εικόνες, οι οποίες ανιχνεύτηκαν και καταγράφηκαν πάνω σε φωτογραφικό φιλμ. Οι φωτογραφίες συνήθως καταγράφονται σε μήκη κύματος στην περιοχή των 0,3mm έως 0,9mm, δηλαδή στην ορατή έως ανακλώμενη υπέρυθρη περιοχή. Βασιζόμενοι στους παραπάνω ορισμούς, μπορούμε να πούμε ότι όλες οι φωτογραφίες είναι εικόνες, αλλά δεν είναι όλες οι εικόνες φωτογραφίες. Έτσι, γενικότερα χρησιμοποιούμε στην τηλεπισκόπηση τον όρο εικόνα, εκτός αν αναφερόμαστε σε αναπαράσταση που καταγράφηκε με φωτογραφική μέθοδο.



Σχήμα 2.6: Ψηφιοποίηση λαμβανόμενης εικόνας

Μια φωτογραφία μπορεί να απεικονιστεί υπό ψηφιακή μορφή, υποδιαιρώντας την εικόνα σε μικρές ισομεγέθεις και του ίδιου σχήματος περιοχές, οι οποίες αποτελούν τα στοιχεία της εικόνας ή τα ρixel της εικόνας και τα οποία αναπαριστούν τη φωτεινότητα κάθε περιοχής μέσω μιας αριθμητικής τιμής ή ενός ψηφιακού αριθμού.

Αυτή ακριβώς η διαδικασία έχει ακολουθηθεί για τη φωτογραφία του σχήματος 2.6 και έχει προκύψει μια ψηφιακή εικόνα της αρχικής φωτογραφίας. Η φωτογραφία σαρώθηκε λεπτομερώς και υποδιαιρέθηκε σε ρixel, σε καθένα από τα οποία ανατέθηκε ένας ψηφιακός αριθμός, ο οποίος αναπαριστά την αντίστοιχη φωτεινότητα. Ο υπολογιστής αναπαριστά κάθε ψηφιακή τιμή ως διαφορετικό επίπεδο φωτεινότητας.

Σύμφωνα με τα προηγούμενα, οι περισσότερες τηλεπισκοπικές εικόνες αποτελούνται από μία μήτρα με τα στοιχεία ή τα ρixel της εικόνας, τα οποία αποτελούν τις μικρότερες μονάδες της. Τα ρixel είναι συνήθως τετράγωνα και αναπαριστούν συγκεκριμένη περιοχή της εικόνας. Είναι σημαντικός ο διαχωρισμός μεταξύ του μεγέθους του ρixel και της χωρικής ανάλυσης, καθώς δεν είναι ταυτόσημες έννοιες. Αν ένας αισθητήρας έχει χωρική ανάλυση της τάξης των 20m και μια εικόνα από τον αισθητήρα αυτό απεικονίζεται σε πλήρη ανάλυση, κάθε ρixel αναπαριστά μια περιοχή επιφανείας 20m x20m στο έδαφος. Στην περίπτωση αυτή, το μέγεθος του ρixel και η ανάλυση είναι τα ίδια. Εντούτοις, είναι πιθανό να απεικονιστεί μια εικόνα με μέγεθος ρixel διαφορετικό από το μέγεθος της ανάλυσης.



Σχήμα 2.7 : Εικόνες διαφορετικής ανάλυσης (αριστερά η χαμηλής και δεξιά η υψηλής)

Εικόνες, στις οποίες μόνο μεγάλα αντικείμενα είναι ορατά, έχουν χαμηλή ανάλυση. Σε εικόνες με εξαιρετική ή υψηλή ανάλυση, ακόμη και μικρά αντικείμενα μπορούν να ανιχνευτούν και να αναγνωριστούν. Οι αισθητήρες που χρησιμοποιούνται για την εξυπηρέτηση στρατιωτικών σκοπών, σχεδιάζονται έτσι ώστε να παρατηρούν όσο το δυνατό μεγαλύτερη λεπτομέρεια και επομένως έχουν εξαιρετική ανάλυση. Οι δορυφόροι με εμπορικές εφαρμογές παρέχουν απεικόνιση με ανάλυση που ποικίλλει από λίγα μέτρα μέχρι αρκετά χιλιόμετρα. Συμπερασματικά, μπορούμε να αναφέρουμε ότι όσο υψηλότερη είναι η ανάλυση τόσο μικρότερη είναι η ολική περιοχή που μπορεί να παρατηρηθεί, ενώ αναφορικά με το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV, όσο μικρότερο είναι το μέγεθος αυτό τόσο υψηλότερη είναι η ανάλυση.

Ο λόγος της απόστασης σε μια εικόνα ή σε ένα χάρτη προς την πραγματική απόσταση στο έδαφος, αναφέρεται ως κλίμακα. Αν σε μια εικόνα η κλίμακα είναι 1:100.000, τότε μία

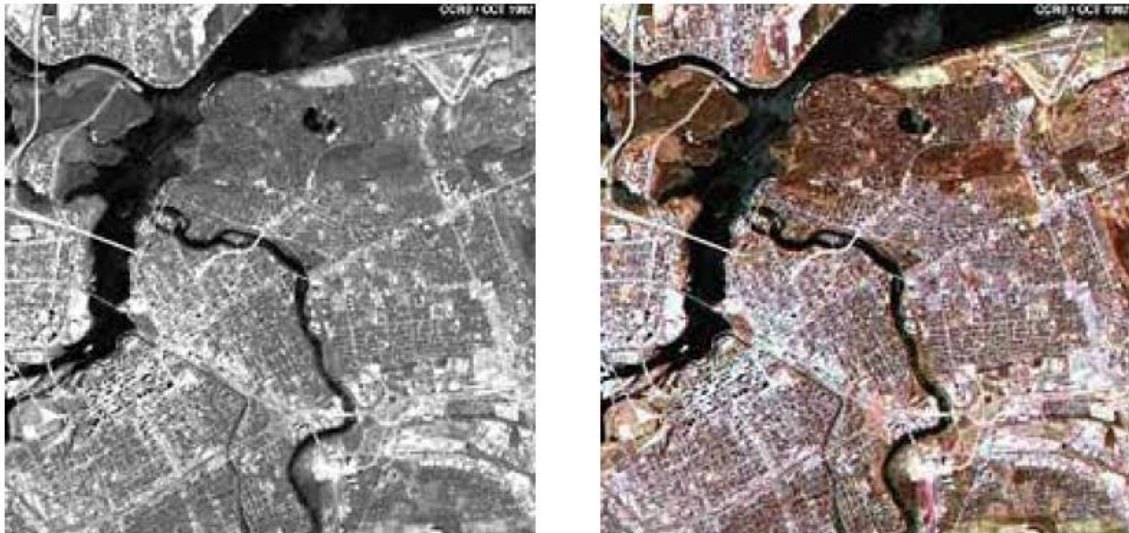
απόσταση με μήκος 1cm στην εικόνα, στην πραγματικότητα έχει μήκος 100.000cm ή 1km στο έδαφος. Χάρτες ή εικόνες με μικρούς λόγους χάρτης προς έδαφος χαρακτηρίζονται ως μικρής κλίμακας, ενώ εκείνοι με μεγαλύτερους λόγους χαρακτηρίζονται ως μεγάλης κλίμακας.

2.2.2 Φασματική ανάλυση

Στο προηγούμενο κεφάλαιο αναφερθήκαμε στη φασματική απόκριση και στις φασματικές καμπύλες που αναπαριστούν τα ποσοστά ανακλαστικότητας των διαφόρων υλικών ή στόχων συναρτήσει των ποικίλων μηκών κύματος ή τις αποκαλούμενες φασματικές υπογραφές. Διαφορετικές κατηγορίες στοιχείων και λεπτομέρειες σε μια εικόνα, συχνά, μπορούν να διαχωριστούν συγκρίνοντας τις φασματικές αποκρίσεις τους σε διακριτές ζώνες μηκών κύματος. Ευρείες κατηγορίες, όπως το νερό και η βλάστηση, μπορούν συνήθως να διαχωριστούν χρησιμοποιώντας ευρείες ζώνες μηκών κύματος, όπως την ορατή και την εγγύς υπέρυθρη. Άλλες περισσότερο εξειδικευμένες κατηγορίες, όπως οι διαφορετικοί τύποι των πετρωμάτων, μπορεί να μην είναι ιδιαίτερα διαχωρίσιμες και αναγνωρίσιμες σε αυτές τις ευρείες περιοχές μηκών κύματος, αλλά απαιτούν σύγκριση σε πολύ μικρότερα/λεπτότερα διαστήματα μεταξύ των μηκών κύματος προκειμένου να διαχωριστούν. Έτσι, στην προκειμένη περίπτωση θα απαιτούνταν ένας αισθητήρας με πολύ υψηλή φασματική ανάλυση. Η φασματική ανάλυση περιγράφει την ικανότητα του αισθητήρα να προσδιορίζει πολύ λεπτές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος. Όσο υψηλότερη είναι η φασματική ανάλυση, τόσο στενότερο είναι το διάστημα μεταξύ των μηκών κύματος σε συγκεκριμένο κανάλι ή ζώνη.

Στο προηγούμενο κεφάλαιο περιγράψαμε την ορατή περιοχή του φάσματος και την έννοια των χρωμάτων. Μπορούμε να αντιληφθούμε τα χρώματα επειδή τα μάτια μας μπορούν να ανιχνεύσουν ολόκληρη την ορατή περιοχή των μηκών κύματος, ενώ, στη συνέχεια, ο εγκέφαλός μας επεξεργάζεται την πληροφορία σε ξεχωριστά μήκη κύματος. Οι άνθρωποι δεν μπορούν να παρατηρήσουν πολύ μικρές αποστάσεις μεταξύ των μηκών κύματος ή μεταξύ των χρωμάτων, πολλοί αισθητήρες, όμως μπορούν. Η πληροφορία από μια στενή περιοχή μηκών κύματος συλλέγεται και αποθηκεύεται σε ένα κανάλι, το οποίο πολλές φορές περιγράφεται και με τον όρο ζώνη. Μπορούμε να συνδυάσουμε και να απεικονίσουμε την πληροφορία των καναλιών ψηφιακά, χρησιμοποιώντας τα τρία βασικά χρώματα της οπτικής επιστήμης : το μπλε, το πράσινο και το κόκκινο. Η πληροφορία και τα δεδομένα από κάθε κανάλι αναπαρίστανται ως ένα από τα τρία βασικά χρώματα και ανάλογα με την αντίστοιχη φωτεινότητα κάθε pixel σε κάθε κανάλι, τα βασικά χρώματα συνδυάζονται με διαφορετικές αναλογίες ώστε τελικά να αναπαρασταθούν διαφορετικά χρώματα.

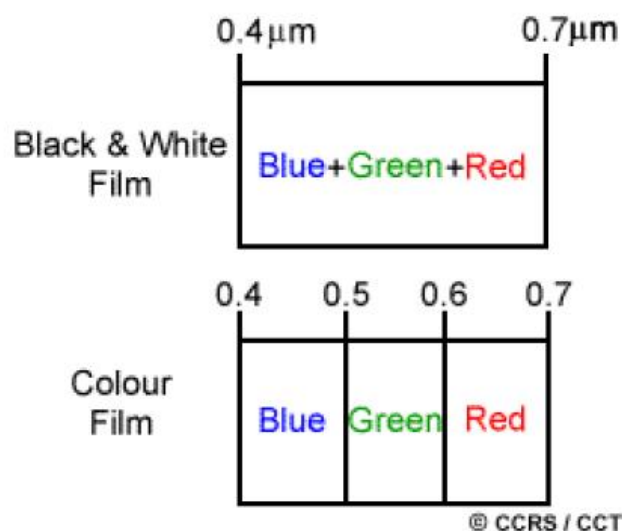
Όταν χρησιμοποιούμε αυτή τη μέθοδο για να απεικονίσουμε συγκεκριμένο κανάλι ή περιοχή μηκών κύματος, στην πραγματικότητα απεικονίζουμε αυτό το κανάλι μέσω των τριών βασικών χρωμάτων. Επειδή το επίπεδο φωτεινότητας για κάθε pixel είναι το ίδιο για κάθε βασικό χρώμα, αυτά συνδυάζονται για να σχηματίσουν μια ασπρόμαυρη εικόνα, αναδεικνύοντας διαφορετικούς τόνους του γκρι από το μαύρο μέχρι και το άσπρο. Αντίθετα, για τον σχηματισμό έγχρωμης εικόνας, χρειαζόμαστε κανάλια-χρώματα με άνισα επίπεδα φωτεινότητας βασικών χρωμάτων. Τα νέα αυτά κανάλια, σχηματίζονται με άνισο συνδιασμό των βασικών καναλιών (μπλε, πράσινο και κόκκινο) και έπειτα θεωρούνται βασικά χρώματα για την απεικόνιση της έγχρωμης εικόνας.



Σχήμα 2.8 : Αναπαράσταση της ίδιας εικόνας με διαφορετικά χρώματα λόγω της φωτεινότητας κάθε pixel σε κάθε κανάλι

Στα ασπρόμαυρα φιλμ καταγράφονται μήκη κύματος τα οποία εκτείνονται σε ολόκληρο το ορατό τμήμα του φάσματος ή στο μεγαλύτερο μέρος αυτού. Έτσι, η φασματική τους ανάλυση είναι μάλλον χονδροειδής, καθώς τα διάφορα μήκη κύματος του ορατού φάσματος δεν διαχωρίζονται ξεχωριστά με αποτέλεσμα να καταγράφεται η συνολική ανακλαστικότητα από ολόκληρη την ορατή περιοχή.

Τα έγχρωμα φιλμ είναι επίσης ευαίσθητα στην ανακλώμενη ενέργεια στην ορατή περιοχή, αλλά διακρίνονται από υψηλότερη φασματική ανάλυση, καθώς είναι ξεχωριστά ευαίσθητα στην ανακλώμενη ενέργεια στην μπλε, στην πράσινη και στην κόκκινη περιοχή του φάσματος. Έτσι, στα έγχρωμα φιλμ μπορούν να αναπαρασταθούν αντικείμενα διαφορετικών χρωμάτων, ανάλογα με την ανακλαστική τους ικανότητα σε καθεμία από αυτές τις τρεις διακριτές περιοχές μηκών κύματος.



Σχήμα 2.9 : Φασματική ανάλυση ασπρόμαυρων/έγχρωμων φιλμ

Πολλά τηλεπισκοπικά συστήματα μπορούν να ανιχνεύσουν και να καταγράψουν την ενέργεια σε αρκετές διακριτές περιοχές μηκών κύματος με ποικίλες φασματικές αναλύσεις. Πρόκειται για τους αποκαλούμενους πολυφασματικούς αισθητήρες (multi-spectral sensors). Οι εξελιγμένοι πολυφασματικοί αισθητήρες ονομάζονται υπερφασματικοί αισθητήρες (hyperspectral sensors) και μπορούν να ανιχνεύσουν εκατοντάδες πολύ στενές φασματικές ζώνες μέσα στην ορατή, την εγγύς υπέρυθρη και τη μέση υπέρυθρη περιοχή του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Η πολύ υψηλή φασματική ανάλυση των αισθητήρων αυτών διευκολύνει τη λεπτομερή διάκριση μεταξύ των διαφορετικών στόχων αφού βασίζεται στις διαφορετικές φασματικές αποκρίσεις τους σε καθεμία από τις πολύ στενές φασματικές ζώνες.

2.2.3 Ραδιομετρική ανάλυση

Ενώ η διάταξη των pixel περιγράφει τη χωρική διάρθρωση σε μια εικόνα, τα ραδιομετρικά χαρακτηριστικά περιγράφουν το πραγματικό περιεχόμενο πληροφορίας της εικόνας. Κάθε φορά που μια εικόνα λαμβάνεται από έναν αισθητήρα, η ευαισθησία του στην ένταση της ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας καθορίζει τη ραδιομετρική ανάλυσή της. Η ραδιομετρική ανάλυση ενός απεικονιστικού συστήματος περιγράφει την ικανότητά του να ξεχωρίζει πολύ λεπτές διαφορές στην ηλεκτρομαγνητική ενέργεια λήψης. Όσο υψηλότερη είναι η ραδιομετρική ανάλυση ενός αισθητήρα τόσο πιο ευαίσθητος είναι στον καθορισμό των μικρών διαφορών στην ανακλώμενη ή στην εκπεμπόμενη ενέργεια λήψης από το εικονιζόμενο στοιχείο.



Σχήμα 2.10 : Ραδιομετρική ανάλυση διαφορετικών αισθητήρων

Τα απεικονιζόμενα δεδομένα αναπαρίστανται από θετικούς ψηφιακούς αριθμούς, οι οποίοι μπορεί να περιέχονται στο σύνολο από το 0 μέχρι έναν αριθμό μικρότερο κατά ένα από μια επιλεγμένη δύναμη του 2. Αυτό το σύνολο ανταποκρίνεται στον αριθμό των δυαδικών ψηφίων bit που χρησιμοποιούνται για την κωδικοποίηση των αριθμών σε δυαδική μορφή. Ο μέγιστος αριθμός των διαθέσιμων επιπέδων φωτεινότητας εξαρτάται από τον αριθμό των δυαδικών ψηφίων που χρησιμοποιούνται για την αναπαράσταση της καταγραφόμενης ενέργειας. Έτσι, αν ο αισθητήρας χρησιμοποιεί 8 bits για την καταγραφή της πληροφορίας,

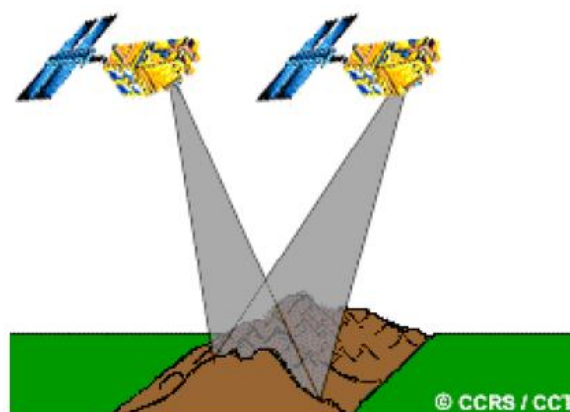
υπάρχουν $2^8=256$ διαθέσιμες ψηφιακές τιμές, οι οποίες θα ανήκουν στο σύνολο των αριθμών από 0 έως 255. Αν ο αισθητήρας χρησιμοποιεί μόνο 4 bits τότε θα υπάρχουν μόνο $2^4=16$ διαθέσιμες ψηφιακές τιμές, από το σύνολο 0 έως 15. Έτσι, η ραδιομετρική ανάλυση θα είναι σημαντικά μικρότερη.

Η πληροφορία υπό μορφή εικόνας συνηθέστερα απεικονίζεται με μια ποικιλία των τόνων του γκρι, με το μαύρο να αναπαρίσταται από την ψηφιακή τιμή 0 και το άσπρο να αναπαρίσταται από τη μέγιστη τιμή, ανάλογα με τον αριθμό των bits που θα χρησιμοποιηθούν για την κωδικοποίηση της πληροφορίας. Συγκρίνοντας μια εικόνα των 2-bit με μια των 8-bit, μπορούμε να παρατηρήσουμε ότι υπάρχει σημαντική διαφορά στο επίπεδο των ευδιάκριτων λεπτομερειών, η οποία σχετίζεται με τις ραδιομετρικές αναλύσεις στις δύο εικόνες.

2.2.4 Χρονική ανάλυση

Εκτός από τη χωρική, τη φασματική και τη ραδιομετρική ανάλυση, η έννοια της χρονικής ανάλυσης είναι σημαντική σε ένα τηλεπισκοπικό σύστημα. Η χρονική ανάλυση σχετίζεται με την έννοια της επαναληπτικής περιόδου, δηλαδή με το χρονικό διάστημα που απαιτείται προκειμένου ο δορυφόρος να συμπληρώσει μία πλήρη τροχιά. Η επαναληπτική περίοδος για ένα δορυφόρο είναι συνήθως μερικές ημέρες. Ως εκ τούτου, η απόλυτη χρονική ανάλυση ενός τηλεπισκοπικού συστήματος, προκειμένου να απεικονίσει την ίδια ακριβώς περιοχή με την ίδια οπτική γωνία για δεύτερη φορά είναι ίση με την περίοδο αυτή. Εντούτοις, εξαιτίας του βαθμού επικάλυψης που λαμβάνει χώρα στις απεικονιστικές διαδρομές των γειτονικών τροχιών για τους περισσότερους δορυφόρους και της αύξησης της επικάλυψης αυτής καθώς αυξάνεται το γεωγραφικό πλάτος, ορισμένες περιοχές της γης απεικονίζονται συχνότερα από τις υπόλοιπες.

Επιπλέον, ορισμένα δορυφορικά συστήματα έχουν την ικανότητα να κατευθύνουν τους αισθητήρες τους ώστε να απεικονίζουν την ίδια περιοχή μεταξύ περασμάτων διαφορετικών δορυφόρων, τα οποία απέχουν κατά χρονικά διαστήματα της τάξης των 1 έως 5 ημερών. Έτσι, η πραγματική χρονική ανάλυση ενός αισθητήρα εξαρτάται από μια πληθώρα παραγόντων, συμπεριλαμβανομένων των δυνατοτήτων τηλεχειρισμού των δορυφόρων και των αισθητήρων τους, της επικάλυψης των ανιχνευόμενων διαδρομών και του γεωγραφικού πλάτους.



Σχήμα 2.11 : Δύο δορυφόροι που κατευθύνουν τους αισθητήρες τους στην ίδια περιοχή

Η ικανότητα συλλογής εικόνων από την ίδια περιοχή της επιφάνειας της γης σε διαφορετικές χρονικές περιόδους αποτελεί ένα πολύ σημαντικό στοιχείο για την εφαρμογή και τη χρησιμοποίηση των τηλεπισκοπικών δεδομένων. Τα φασματικά χαρακτηριστικά ορισμένων αντικειμένων ή υλικών μπορεί να αλλάξουν με την πάροδο του χρόνου και οι μεταβολές αυτές μπορούν να ανιχνευτούν συλλέγοντας και συγκρίνοντας διαχρονικές απεικονίσεις (multi-temporal imagery). Για παράδειγμα κατά τη διάρκεια των περιόδων γεωργικής καλλιέργειας, τα περισσότερα είδη βλάστησης βρίσκονται σε μια συνεχή κατάσταση μεταβολών και η ικανότητα να ανιχνεύσουμε αυτές τις λεπτές μεταβολές χρησιμοποιώντας τηλεπισκοπικές μετρήσεις εξαρτάται από το πότε και πόσο συχνά συλλέγουμε εικόνες.

Ανιχνεύοντας και απεικονίζοντας τις περιοχές ενδιαφέροντος σε συνεχή βάση και σε διαφορετικές χρονικές περιόδους είμαστε σε θέση να παρακολουθήσουμε τις μεταβολές που λαμβάνουν χώρα στην επιφάνεια της γης, είτε αυτές προκαλούνται από φυσικές αιτίες είτε ως αποτέλεσμα ανθρώπινων δραστηριοτήτων. Ο παράγοντας της χρονικής κάλυψης των περιοχών ενδιαφέροντος στην τηλεπισκόπηση, είναι σημαντικός στις περιπτώσεις κατά τις οποίες:

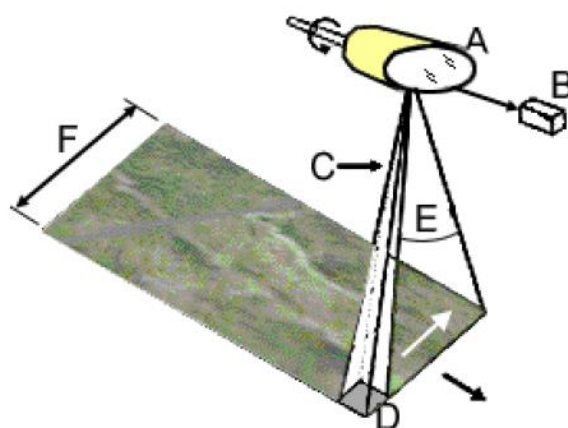
- Έντονη και διαρκής νέφωση προκαλεί χαμηλή ορατότητα της επιφάνειας της γης (κυρίως στις τροπικές περιοχές)
- Μικρής διάρκειας φαινόμενα, όπως πλημμύρες, πετρελαιοκηλίδες, χρήζουν ανίχνευσης και παρακολούθησης
- Διαχρονικές συγκρίσεις απαιτούνται, όταν για παράδειγμα απαιτείται η παρακολούθηση της εξέλιξης κάποιας ασθένειας σε κάποια είδη βλάστησης σε ετήσια βάση
- Η μεταβαλλόμενη εμφάνιση κάποιου χαρακτηριστικού κατά την πάροδο του χρόνου μπορεί να χρησιμοποιηθεί για το διαχωρισμό μεταξύ παραπλήσιων χαρακτηριστικών (σιτάρι/καλαμπόκι).

2.2.5 Πολυφασματική ανίχνευση

Πολλοί ηλεκτρονικοί τηλεπισκοπικοί αισθητήρες λαμβάνουν την επιθυμητή πληροφορία χρησιμοποιώντας ανιχνευτικά συστήματα (scanning systems), τα οποία προϋποθέτουν αισθητήρες με ένα στενό στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV που σαρώνει το έδαφος ώστε να παράγουν διαστάτες εικόνες της επιφάνειας της γης. Τα ανιχνευτικά συστήματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν τόσο στα αεροσκάφη όσο και στις δορυφορικές πλατφόρμες και στηρίζονται ουσιαστικά στις βασικές αρχές. Ένα ανιχνευτικό σύστημα που χρησιμοποιείται για συλλογή πληροφορίας σε μια ποικιλία διαφορετικών ζωνών μηκών κύματος, ονομάζεται πολυφασματική συσκευή σάρωσης MSS (multispectral scanner) και αποτελεί το πλέον συνηθισμένο ανιχνευτικό σύστημα. Υπάρχουν δύο βασικές λειτουργίες ή μέθοδοι ανίχνευσης που χρησιμοποιούνται για την απόκτηση πολυφασματικής απεικονιστικής πληροφορίας: ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά (across-track scanning) και ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς (along-track scanning)

2.2.5.1 Ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά (across-track scanning)

Οι αισθητήρες που πραγματοποιούν ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά του αεροσκάφους ή του δορυφόρου σαρώνουν τη γη με μια ακολουθία γραμμών. Οι γραμμές αυτές είναι προσανατολισμένες κάθετα ως προς την κατεύθυνση της κίνησης της πλατφόρμας του αισθητήρα, δηλαδή τέμνουν κάθετα τη διαδρομή ανίχνευσης. Κάθε γραμμή σαρώνεται από τη μία πλευρά του αισθητήρα μέχρι την άλλη μέσω ενός περιστρεφόμενου κατόπτρου(A). Καθώς η πλατφόρμα κινείται προς τα εμπρός πάνω από τη γη, διαδοχικές σαρώσεις παράγουν μια διδιάστατη εικόνα της επιφάνειας της γης.



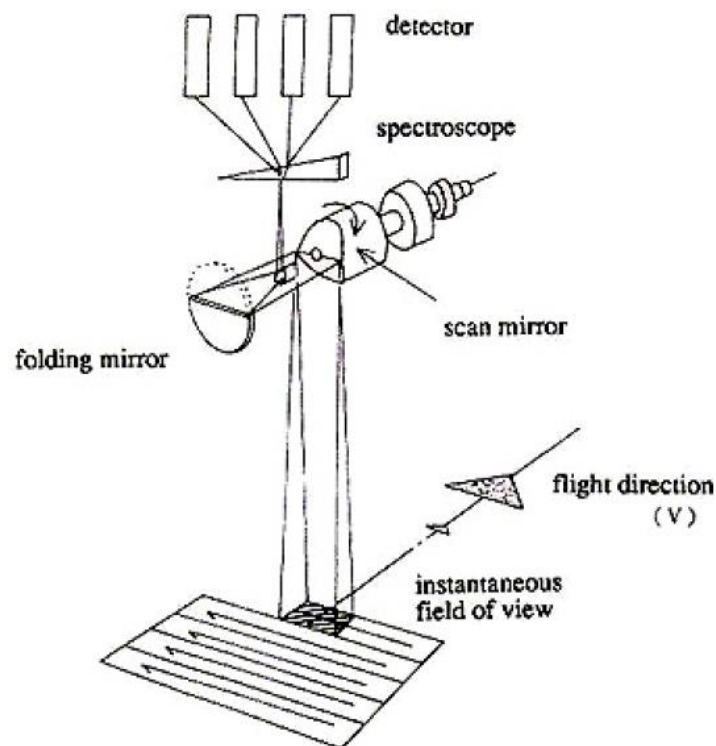
Σχήμα 2.12: Πολυφασματική ανίχνευση εγκάρσια ως προς την τροχιά

Η εισερχόμενη στον αισθητήρα ακτινοβολία διαχωρίζεται σε αρκετές ξεχωριστές φασματικές συνιστώσες, οι οποίες ανιχνεύονται ανεξάρτητα η μία από την άλλη. Η υπεριώδης, η ορατή, η εγγύς υπέρυθρη και η θερμική ακτινοβολία αναλύονται στις αντίστοιχες τους ζώνες μηκών κύματος. Μια αλληλουχία εσωτερικών ανιχνευτών (B), έκαστος των οποίων είναι ευαίσθητος σε συγκεκριμένη περιοχή μηκών κύματος, ανιχνεύει και μετρά την ενέργεια για κάθε φασματική ζώνη. Στη συνέχεια, το παραγόμενο ηλεκτρικό σήμα μετατρέπεται σε ψηφιακά δεδομένα που καταγράφονται για μετέπειτα υπολογιστική επεξεργασία.

Το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV (C) του αισθητήρα και το ύψος στο οποίο βρίσκεται η πλατφόρμα καθορίζουν το κελί ανάλυσης του εδάφους (ground resolution cell) που ανιχνεύεται (D) και επομένως τη χωρική ανάλυση. Το γωνιακό πεδίο παρατήρησης (angular field of view) διαμορφώνεται από την κυκλική κίνηση σάρωσης του κατόπτρου, μετράται σε μοίρες, χρησιμοποιείται για την καταγραφή της ανιχνευόμενης γραμμής και καθορίζει το πλάτος της ανιχνευόμενης διαδρομής (F). Οι αισθητήρες, που βρίσκονται σε εναέριες πλατφόρμες, σαρώνουν μεγάλες γωνίες (μεταξύ 90° και 120°), ενώ οι δορυφόροι λόγω του μεγαλύτερου ύψους τους χρειάζεται να σαρώνουν αρκετά μικρότερες γωνίες (10° - 20°) ώστε να καλύψουν ευρείες περιοχές. Εξαιτίας του ότι η απόσταση από τον αισθητήρα μέχρι το στόχο αυξάνει κοντά στις δύο άκρες της ανιχνευόμενης διαδρομής, τα κελιά ανάλυσης του εδάφους γίνονται μεγαλύτερα στις αντίστοιχες περιοχές, με αποτέλεσμα να εισάγονται γεωμετρικές παραμορφώσεις στις παραγόμενες εικόνες. Επιπλέον, το διάστημα του χρόνου (dwell time) κατά το οποίο το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης αντιστοιχίζεται σε συγκεκριμένο κελί ανάλυσης στο

έδαφος, κατά τη διαδικασία ανίχνευσης του περιστρεφόμενου κατόπτρου, είναι γενικά αρκετά μικρό και έτσι επηρεάζει τη χωρική, φασματική και ραδιομετρική ανάλυση με τις οποίες έχει σχεδιαστεί ο χρησιμοποιούμενος αισθητήρας.

Όπως ήδη αναφέρθηκε στη λειτουργία ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά χρησιμοποιείται ένα περιστρεφόμενο ή ταλαντευόμενο κάτοπτρο για τη σάρωση της περιοχής ενδιαφέροντος κατά μήκος μιας γραμμής (μήκους μερικών χιλιομέτρων ή μιλίων και πολύ μικρού πλάτους μερικών μέτρων) που διασχίζει κάθετα την ανιχνευόμενη διαδρομή ή, συνηθέστερα, για τη σάρωση κατά μήκος μιας ακολουθίας στενών γειτονικών γραμμών. Τα απαραίτητα τμήματα ενός τέτοιου αισθητήρα είναι: α) ένα τηλεσκόπιο για τη συλλογή του εισερχόμενου φωτός το οποίο καθορίζει τις διαστάσεις της παρατηρούμενης περιοχής σε κάθε χρονική στιγμή, β) κατάλληλα οπτικά συστήματα (όπως φακοί) που κατευθύνουν την πορεία του φωτός, γ) ένα κάτοπτρο (στους εναέριους αισθητήρες το κάτοπτρο μπορεί να περιστρέφεται πλήρως, ενώ στους δορυφορικούς αισθητήρες συνήθως ταλαντώνεται με μικρό γωνιακό εύρος), δ) μια συσκευή που διαχωρίζει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε φασματικές ζώνες (φασματοσκόπιο, φράγμα φασματικής περίθλασης, φίλτρα ζωνών), ε) ένα όργανο για την κατεύθυνση του σκεδαζόμενου φωτός σε μια συστοιχία ανιχνευτών, στ) ένα ηλεκτρικό όργανο που ανιχνεύει το φωτοηλεκτρικό φαινόμενο σε κάθε ανιχνευτή και, στη συνέχεια, επαναρυθμίζεται σε μια αρχική κατάσταση ώστε να λάβει το επόμενο "πακέτο" εισερχόμενου φωτός, με αποτέλεσμα να παράγεται ένα σήμα που ανταποκρίνεται στις μεταβολές στις τιμές φωτός που λαμβάνονται από το έδαφος ή από το στόχο και ζ) ένα καταγραφικό τμήμα το οποίο είτε διαβάζει το σήμα ως αναλογικό είτε το μετατρέπει σε ψηφιακούς αριθμούς. Τέλος, ένας αισθητήρας μπορεί να περιλαμβάνει έναν επιπλέον τμήμα το οποίο αποτελεί μια μετακινούμενη σχισμή, η οποία καθώς περιστρέφεται επιτρέπει διαδοχικά στο σήμα να περάσει προς τους ανιχνευτές ή διακόπτει την πορεία του προς αυτούς και έτσι το επανακατευθύνει σε έναν ανιχνευτή για βαθμονόμηση της απόκρισης του οργάνου.

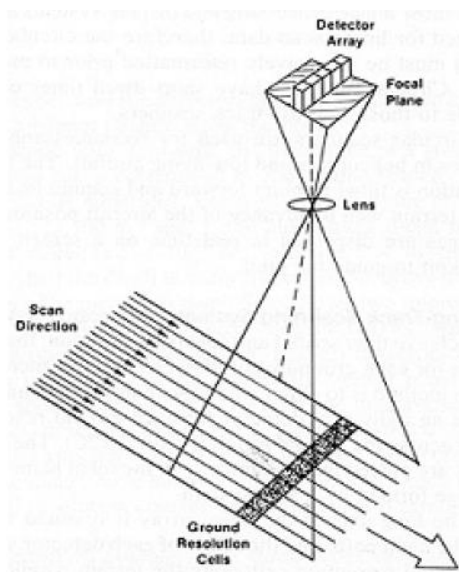


Σχήμα 2.13: Τμήματα αισθητήρα ανίχνευσης εγκάρσιας ως προς την τροχιά

2.2.5.2 Ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς (*along-track scanning*)

Οι αισθητήρες που πραγματοποιούν ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς χρησιμοποιούν επίσης την κίνηση προς τα εμπρός της πλατφόρμας στην οποία είναι τοποθετημένοι για την καταγραφή συνεχόμενων ανιχνευτικών γραμμών και για την παραγωγή δισδιάστατων εικόνων κάθετα ως προς την κατεύθυνση τροχιάς του δορυφόρου. Εντούτοις, σε αντίθεση με τα όργανα ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά που χρησιμοποιούν ένα ανιχνευτικό κάτοπτρο που σαρώνει και παρατηρεί σε διαφορετικές γωνίες, οι συγκεκριμένοι αισθητήρες χρησιμοποιούν μια ακολουθία μικρών ευαίσθητων ανιχνευτών, οι οποίοι τοποθετούνται ο ένας δίπλα στον άλλο και όλοι μαζί βρίσκονται πάνω στο εστιακό επίπεδο της εικόνας. Κάθε ανιχνευτής μετρά την ενέργεια ενός συγκεκριμένου κελιού ανάλυσης εδάφους, οπότε, το μέγεθος καθώς και το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης IFOV του αισθητήρα καθορίζουν τη χωρική ανάλυση του συστήματος. Για τη μέτρηση της ενέργειας σε κάθε φασματική ζώνη ή κανάλι απαιτείται μια ξεχωριστή γραμμική ακολουθία ανιχνευτών. Για κάθε ανιχνευόμενη γραμμή, η ενέργεια που ανιχνεύεται από κάθε ανιχνευτή κάθε γραμμικής ακολουθίας δειγματοληπτείται ηλεκτρονικά και καταγράφεται σε ψηφιακή μορφή.

Οι ανιχνευτές που χρησιμοποιούνται στους συγκεκριμένους αισθητήρες έχουν μικροσκοπικές διαστάσεις και μπορεί να υπάρχουν μέχρι μερικές χιλιάδες σε κάθε όργανο. Κάθε τέτοιος ανιχνευτής είναι μια συσκευή CCD (charge coupled device). Με τη χρήση τέτοιων συσκευών, τα pixels τα οποία τελικά θα δημιουργήσουν ολόκληρη την εικόνα αντιστοιχούν σε αυτούς τους ξεχωριστούς ανιχνευτές που αποτελούν τη γραμμική ακολουθία. Καθώς η πλατφόρμα προωθείται κατά μήκος της τροχιάς, σε δοσμένη χρονική στιγμή λαμβάνεται ταυτόχρονα ακτινοβολία στους αισθητήρες από κάθε κελί εδάφους κατά μήκος της ανιχνευτικής γραμμής και η συλλογή των φωτονίων από κάθε κελί προσπίπτει στην κατάλληλη γεωμετρική σχέση ως προς τη θέση του στο έδαφος σε κάθε αισθητήρα στη γραμμική ακολουθία που αντιστοιχεί στη συγκεκριμένη θέση. Το σήμα απομακρύνεται από κάθε αισθητήρα διαδοχικά σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα (χιλιοστά του δευτερολέπτου), οι ανιχνευτές αρχικοποιούνται και κατόπιν εκτίθενται σε νέα ακτινοβολία από την επόμενη γραμμή στο έδαφος που γίνεται προσβάσιμη από την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας.



Σχήμα 2.14 : Ανίχνευση κατά μήκος της τροχιάς

Οι ανιχνευτές κατά μήκος της τροχιάς παρουσιάζουν ορισμένα βασικά πλεονεκτήματα έναντι των ανιχνευτών εγκάρσια ως προς την τροχιά. Η ακολουθία των ανιχνευτών συνδυαζόμενη με την προς τα εμπρός κίνηση της πλατφόρμας επιτρέπει σε κάθε ανιχνευτή να παρατηρήσει και να μετρήσει την ενέργεια από κάθε κελί ανάλυσης του εδάφους για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα. Αυτό επιτρέπει ανίχνευση μεγαλύτερης ποσότητας ενέργειας και βελτιώνει τη ραδιομετρική ανάλυση. Η αυξημένη χρονική περίοδος κατά την οποία μετράται η λαμβανόμενη ενέργεια ευνοεί τη δημιουργία μικρότερων στιγμιαίων πεδίων παρατήρησης και στενότερων φασματικών περιοχών για κάθε ανιχνευτή. Έτσι, μπορεί να επιτευχθεί καλύτερη φασματική και χωρική ανάλυση χωρίς να επηρεάζεται αρνητικά η ραδιομετρική ανάλυση. Επειδή οι χρησιμοποιούμενοι ανιχνευτές είναι συνήθως στερεής κατασκευής μικροηλεκτρονικές συσκευές είναι γενικά μικρότεροι σε διαστάσεις, ελαφρότεροι, απαιτούν λιγότερη ενέργεια για να λειτουργήσουν, είναι περισσότερο αξιόπιστοι και έχουν μεγαλύτερη διάρκεια ζωής επειδή δεν περιλαμβάνουν κινούμενα μέρη. Από την άλλη πλευρά, η βαθμονόμηση και η αρχικοποίηση χιλιάδων αισθητήρων που απαιτείται για την επίτευξη ομοιόμορφης ευαισθησίας σε όλο το μήκος της ακολουθίας είναι απαραίτητη και περίπλοκη.

Τα ανιχνευτικά συστήματα οποιαδήποτε από τις παραπάνω δύο λειτουργίες και αν χρησιμοποιούν παρουσιάζουν αρκετά πλεονεκτήματα έναντι των φωτογραφικών μεθόδων. Το φασματικό πεδίο των φωτογραφικών συστημάτων περιορίζεται στην ορατή και στην εγγύς υπέρυθρη περιοχή ενώ τα πολυφασματικά ανιχνευτικά συστήματα επεκτείνουν το πεδίο αυτό ώστε να περιλαμβάνει και τη θερμική υπέρυθρη περιοχή. Επίσης είναι ικανά να παρέχουν πολύ μεγαλύτερη φασματική ανάλυση από ότι τα φωτογραφικά συστήματα.

Τα πολυφασματικά φωτογραφικά συστήματα χρησιμοποιούν συστήματα ξεχωριστών φακών για την απόκτηση κάθε φασματικής ζώνης. Το γεγονός αυτό μπορεί να δημιουργήσει προβλήματα στην εξασφάλιση της συγκρισιμότητας των διαφορετικών φασματικών ζωνών τόσο χωρικά όσο και ραδιομετρικά. Τα πολυφασματικά ανιχνευτικά συστήματα αποκτούν πληροφωρία για όλες τις φασματικές περιοχές ταυτόχρονα μέσω των ίδιων οπτικών συστημάτων προκειμένου να ανταπεξέλθουν στα παραπάνω προβλήματα.

Τα φωτογραφικά συστήματα καταγράφουν την ανιχνευόμενη ενέργεια μέσω μιας φωτοχημικής διαδικασίας που καθιστά δύσκολη και μη σταθερή τη μέτρηση. Από την άλλη πλευρά, τα πολυφασματικά ανιχνευόμενα δεδομένα καταγράφονται με ηλεκτρονικό τρόπο, επομένως καθίσταται ευκολότερος ο προσδιορισμός τού ακριβούς μεγέθους της μετρούμενης ενέργειας. Επιπλέον, η καταγραφή μπορεί να γίνει με ένα μεγάλο εύρος τιμών σε ψηφιακή μορφή. Τα φωτογραφικά συστήματα απαιτούν συνεχή παροχή film και επεξεργασία στο έδαφος με τη συλλογή των φωτογραφιών. Η ψηφιακή καταγραφή των πολυφασματικών ανιχνευτικών συστημάτων διευκολύνει τη μετάδοση της πληροφορίας στους σταθμούς λήψης στο έδαφος και την άμεση επεξεργασία της σε κάποιο κατάλληλο υπολογιστικό περιβάλλον.

2.2.6 Υπερφασματική τηλεπισκόπηση

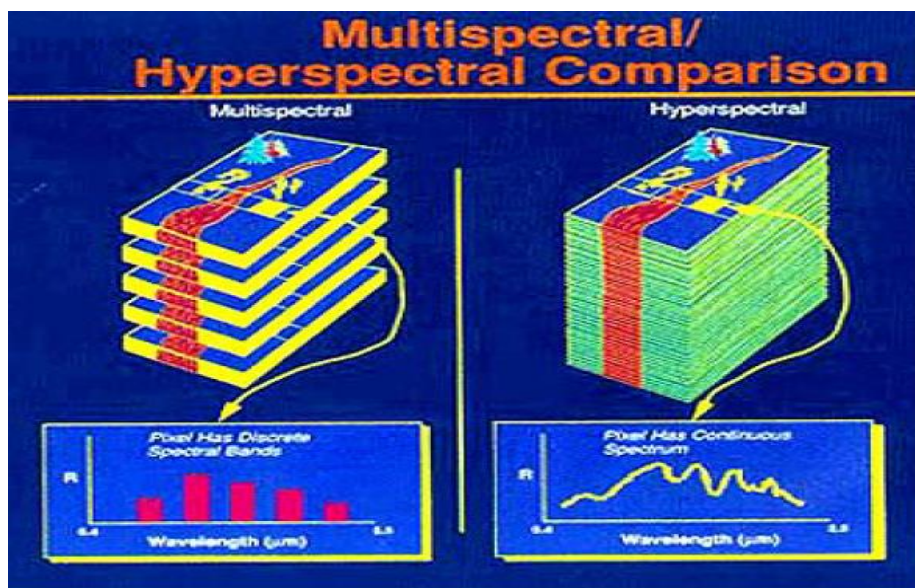
Τα πολυφασματικά όργανα πραγματοποιούν μετρήσεις, παρατηρώντας τη γη σε μερικές στρατηγικές περιοχές του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Οι περιοχές αυτές ή τα αντίστοιχα χρησιμοποιούμενα φασματικά κανάλια δεν είναι συνεχόμενα και παραλείπουν ολόκληρα

τμήματα μηκών κύματος. Η χωρική ανάλυση (μέγεθος pixel) μπορεί να είναι αρκετά καλή για τα όργανα αυτά και υπολογίζεται γύρω στα 30m. Η αυξημένη χωρική ανάλυση επιτρέπει τη διάκριση των διαφορετικών υλικών που απεικονίζονται με αυτού του είδους την τεχνική. Ωστόσο, ενώ τα πολυφασματικά όργανα μπορούν να διαχωρίσουν τα διαφορετικά υλικά, προκειμένου να προβούμε σε αναγνώριση των υλικών απαιτείται υπερφασματική απεικόνιση.

Η υπερφασματική τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη με την οποία μπορούμε να αποκτήσουμε ψηφιακές εικόνες των γήινων στόχων σε πολύ στενά συνεχή φασματικά κανάλια. Οι υπερφασματικοί αισθητήρες ή τα απεικονιστικά φασματομέτρα, όπως άλλως ονομάζονται, πραγματοποιούν μετρήσεις σχετικές με τους στόχους ενδιαφέροντος και παρέχουν ολοκληρωμένες φασματικές υπογραφές, χωρίς να παραλείπουν σημαντικά τμήματα μηκών κύματος. Τέτοια όργανα έχουν γίνει ιδιαίτερα δημοφιλή στις εφαρμογές της τηλεπισκόπησης και αποτελούν τμήματα των ωφέλιμων φορτίων τόσο δορυφορικών όσο και εναέριων πλατφορμών.

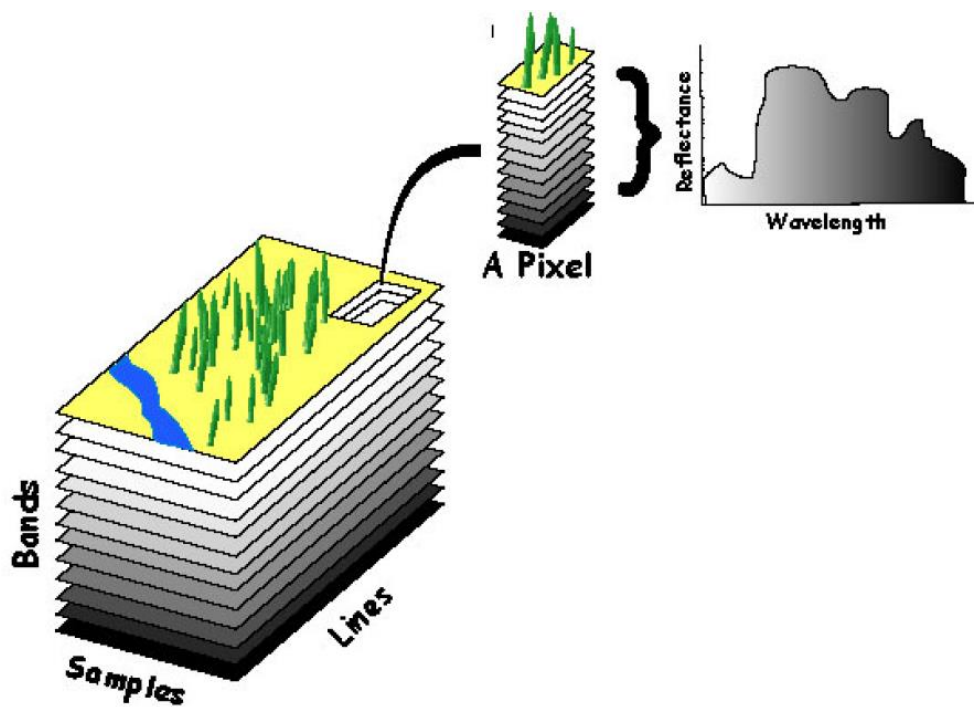
Αν και οι περισσότεροι υπερφασματικοί αισθητήρες μετρούν εκατοντάδες ζώνες μηκών κύματος και οι περισσότεροι πολυφασματικοί αισθητήρες μετρούν μόνο λίγες, αυτό που τελικά καθορίζει αν ένας αισθητήρας είναι πολυφασματικός ή υπερφασματικός δεν είναι ο αριθμός των μετρούμενων φασματικών ζωνών, αλλά η στενότητα και η συνεχής φύση των μετρήσεων. Για παράδειγμα ένας αισθητήρας που μετρά μόνο 20 ζώνες χαρακτηρίζεται υπερφασματικός, αν οι ζώνες είναι συνεχείς και πλάτους 10nm, ή πολυφασματικός αν οι μετρούμενες ζώνες είναι πλάτους 100nm και χωρίζονται από μη μετρούμενες περιοχές μηκών κύματος.

Το πλεονέκτημα των υπερφασματικών αισθητήρων είναι ότι μπορούμε όχι μόνο να αναγνωρίσουμε κάποιο αντικείμενο αλλά και το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο. Η ανακλαστικότητα αποτελεί το ποσοστό του προσπίπτοντος φωτός που ανακλάται από το στόχο. Ένα ανακλαστικό φάσμα δείχνει την ανακλαστικότητα ενός υλικού, όπως αυτό μετράται σε ένα εύρος μηκών κύματος. Τόσο η πολυφασματική όσο και η υπερφασματική απεικόνιση παρέχουν ανακλαστικά φάσματα για κάθε pixel σε κάθε εικόνα. Η μοριακή δομή των υλικών οδηγεί σε μοντέλα ανακλαστικότητας και απορρόφησης στο εύρος μηκών κύματος που μπορεί μοναδικά να προσδιορίσει το υλικό. Έτσι, παρατηρώντας το φάσμα κάθε pixel μπορούμε συνήθως να αναγνωρίσουμε τα υλικά που υπάρχουν μέσα σε κάθε pixel.



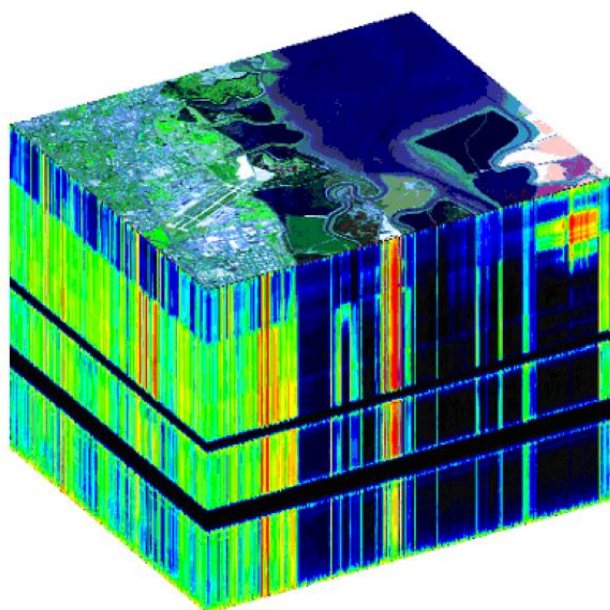
Σχήμα 2.15 : Σύγκριση πολυφασματικής/υπερφασματικής ανίχνευσης

Καθώς τα χαρακτηριστικά ανακλαστικότητας και η ικανότητα εκπομπής ενός αντικειμένου ποικίλλουν σημαντικά ανάλογα με το μήκος κύματος αλλά και τη σύσταση του αντικειμένου, η απόκτηση ενός φάσματος ανακλωμένων και εκπεμπόμενων φωτονίων μπορεί να δώσει πληροφορία σχετική με τα συστατικά στοιχεία του αντικειμένου. Επειδή όμως, στην περίπτωση των υπερφασματικών οργάνων, τα φασματικά κανάλια είναι ιδιαίτερα στενά, προκειμένου να αποκτήσουμε υψηλό λόγο σήματος προς παρεμβολή, πρέπει να αυξηθεί ο χρόνος που παραμένει το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης πάνω από κάθε κελί ανάλυσης του εδάφους (dwell time). Το σημαντικότερο αρνητικό αποτέλεσμα που προκαλείται από τη μείωση του εύρους των φασματικών ζωνών είναι η μείωση της χωρικής ανάλυσης. Προκειμένου να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα αυτό, έχουν αναπτυχθεί αλγόριθμοι που συγχωνεύουν την υπερφασματική πληροφορία με υψηλής ανάλυσης πολυφασματικές ή πανχρωματικές εικόνες. Το αποτέλεσμα είναι ένας κύβος από εικόνες ο οποίος είναι κατασκευασμένος από τρισδιάστατα στοιχεία όγκου voxel. Στο σχήμα 2.16 απεικονίζεται τέτοιος κύβος, ο οποίος έχει σχηματιστεί με την τεχνική της υπερφασματικής απεικόνισης.



Σχήμα 2.16 : Κύβος με την τεχνική της υπερφασματικής απεικόνισης

Μπορούμε να σκεφτούμε μια πολυφασματική εικόνα ως μια μοναδική εικόνα (αναφορικά με τις χωρικές διαστάσεις της) η οποία έχει ληφθεί σε αρκετές διαφορετικές φασματικές ζώνες ή μήκη κύματος. Υπερθέτοντας τις δισδιάστατες εικόνες ανάλογα με το μήκος κύματος, λαμβάνουμε έναν κύβο με δύο χωρικές διαστάσεις και μια τρίτη φασματική διάσταση. Κάθε στοιχείο της εικόνας διαθέτει μοναδική φασματική υπογραφή η οποία καθορίζεται από τον τρόπο με τον οποίο τα αντικείμενα που περιέχονται σε αυτό, ανακλούν, απορροφούν και εκπέμπουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Εξαιτίας αυτής της ιδιότητας, το φάσμα σε κάθε περιοχή της εικόνας μπορεί να παρέχει επαρκείς πληροφορίες για τα αντικείμενα που περιλαμβάνονται στη συγκεκριμένη περιοχή και για τις χημικές ιδιότητές τους.



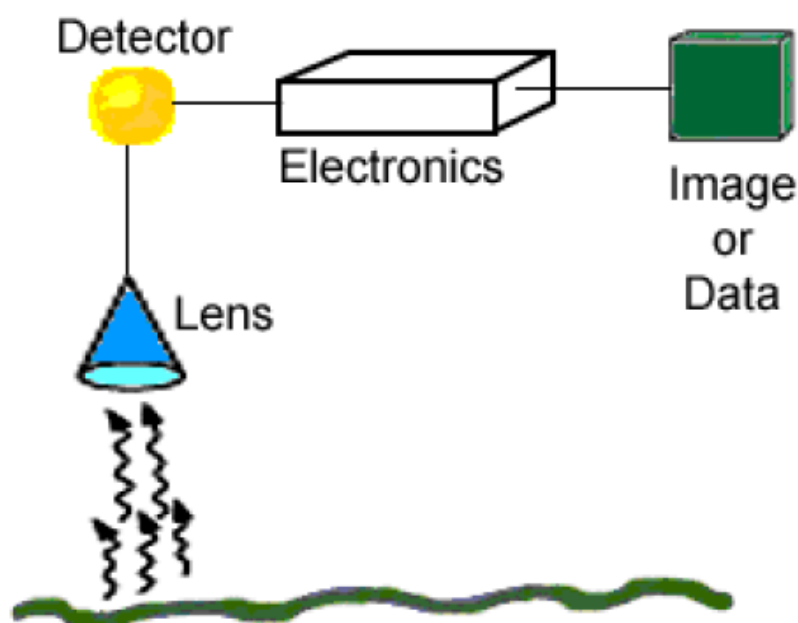
Σχήμα 2.17: Δομή κύβου από εικόνες που έχουν παραχθεί με χρήση του υπερφασματικού αισθητήρα AVIRIS

2.2.7 Θερμική απεικόνιση

Πολλά πολυφασματικά συστήματα ανιχνεύουν την ακτινοβολία τόσο στη θερμική υπέρυθη περιοχή όσο και στην ορατή και στην ανακλώμενη υπέρυθη περιοχή του φάσματος. Εντούτοις, η τηλεπισκόπηση της ενέργειας που εκπέμπεται από την επιφάνεια της γης στη θερμική υπέρυθη περιοχή (3μm έως 15μm) είναι διαφορετική από την ανίχνευση της ανακλώμενης ενέργειας. Οι θερμικοί αισθητήρες χρησιμοποιούν φωτογραφικούς ανιχνευτές ευαίσθητους στην απευθείας επαφή των φωτονίων στην επιφάνειά τους, προκειμένου να ανιχνεύσουν την εκπεμπόμενη θερμική ακτινοβολία. Οι ανιχνευτές αυτοί ψύχονται σε θερμοκρασίες κοντά στο απόλυτο μηδέν προκειμένου να περιορίσουν τις δικές τους θερμικές εκπομπές, οι οποίες αποτελούν θόρυβο για τον ανιχνευτή. Οι θερμικοί αισθητήρες μετρούν κυρίως τη θερμοκρασία επιφάνειας καθώς και τις θερμικές ιδιότητες των στόχων.

Τα θερμικά όργανα είναι ανιχνευτές εγκάρσια ως προς την τροχιά κίνησης, οι οποίοι ανιχνεύουν την εκπεμπόμενη ενέργεια μόνο στη θερμική περιοχή του φάσματος. Οι θερμικοί αισθητήρες περιλαμβάνουν μία ή περισσότερες αναφορές στην εσωτερική θερμοκρασία για σύγκριση με την ανιχνευόμενη ακτινοβολία. Η πληροφορία συνήθως καταγράφεται πάνω σε φιλμ ή σε μαγνητική ταινία, ενώ θερμοκρασιακή ανάλυση των συγκεκριμένων οργάνων μπορεί να φθάσει τους 0,1°C. Για την ανάλυση, μια εικόνα σχετικών ακτινοβολουμένων θερμοκρασιών (θερμόγραμμα) αναπαρίσταται υπό τη μορφή διαβαθμίσεων του γκρι, με τις θερμότερες θερμοκρασίες να αναπαρίστανται με ανοικτούς τόνους και τις ψυχρότερες με σκούρους τόνους. Για τις περισσότερες εφαρμογές επαρκούν εικόνες που αναπαριστούν τις σχετικές θερμοκρασιακές διαφορές στις αντίστοιχες χωρικές θέσεις τους. Απόλυτες θερμοκρασιακές μετρήσεις μπορούν να πραγματοποιηθούν αλλά απαιτούν ακριβείς ρυθμίσεις (βαθμονόμηση,

αρχικοποίηση), μέτρηση των αναφορών θερμοκρασίας και λεπτομερή γνώση των θερμικών ιδιοτήτων του στόχου, των γεωμετρικών παραμορφώσεων και των ραδιομετρικών επιδράσεων.



Σχήμα 2.18: Θερμικός αισθητήρας

Εξαιτίας των μεγάλων μηκών κύματος της θερμικής ακτινοβολίας (σε σύγκριση με τη ορατή ακτινοβολία), τα φαινόμενα ατμοσφαιρικής σκέδασης είναι ελάχιστα. Εντούτοις, η απορρόφηση από τα ατμοσφαιρικά αέρια συνήθως περιορίζει τη θερμική ανίχνευση σε δύο συγκεκριμένες περιοχές - 3 έως 5μm και 8 έως 14μm. Εξαιτίας του ότι η ενέργεια μειώνεται καθώς αυξάνεται το μήκος κύματος, οι θερμικοί αισθητήρες συνήθως έχουν μεγάλα στιγμιαία επίπεδα παρατήρησης προκειμένου να διασφαλίσουν ότι στον ανιχνευτή φθάνει επαρκής ποσότητα ενέργειας ώστε να πραγματοποιήσει μια αξιόπιστη μέτρηση. Έτσι, η χωρική ανάλυση των θερμικών αισθητήρων είναι γενικά χαμηλή, σε σχέση με τη χωρική ανάλυση που μπορεί να επιτευχθεί στην ορατή και στην ανακλώμενη υπέρυθρη περιοχή. Η θερμική απεικόνιση μπορεί να πραγματοποιηθεί τόσο την μέρα όσο και τη νύκτα, ακριβώς επειδή μετράται η εκπεμπόμενη και όχι η ανακλώμενη ακτινοβολία και χρησιμοποιείται για μια ευρεία ποικιλία εφαρμογών, όπως για διαχείριση φυσικών καταστροφών (χαρτογράφηση δασικών πυρκαγιών) και παρακολούθηση απώλειας της θερμότητας.

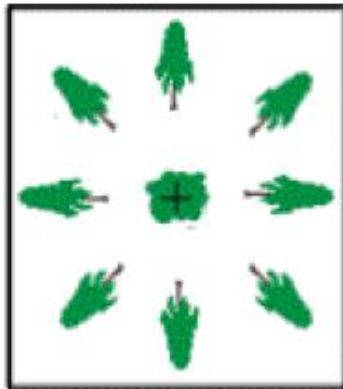
2.2.8 Γεωμετρικές παραμορφώσεις στην απεικόνιση

Ανεξάρτητα από τον τρόπο με τον οποίο έχει προκύψει, οποιαδήποτε τηλεπισκοπική εικόνα παρουσιάζει διάφορες γεωμετρικές παραμορφώσεις. Πρόκειται για πρόβλημα που ενυπάρχει στην τηλεπισκόπηση και που προκύπτει κατά την προσπάθειά μας να αναπαραστήσουμε με ακρίβεια την τρισδιάστατη επιφάνεια της γης υπό δισδιάστατη μορφή εικόνας. Όλες οι τηλεπισκοπικές εικόνες υποβάλλονται σε κάποια μορφή γεωμετρικής

παραμόρφωσης ανάλογα με τον τρόπο απόκτησής τους. Τα σφάλματα αυτά μπορεί να οφείλονται σε μια μεγάλη ποικιλία παραμέτρων στις οποίες περιλαμβάνονται :

- η προοπτική των οπτικών συστημάτων του αισθητήρα,
- η κίνηση του συστήματος ανίχνευσης,
- η κίνηση και η αστάθεια της πλατφόρμας,
- το ύψος, η τροχιά και η ταχύτητα της πλατφόρμας,
- το ανάγλυφο του εδάφους,
- η καμπυλότητα και η περιστροφή της γης.

Τα συστήματα πλαισίωσης (framing systems), όπως οι κάμερες που χρησιμοποιούνται για εναέρια φωτογράφιση, παρέχουν ένα ακαριαίο στιγμιότυπο κάποιας όψης της γήινης επιφάνειας που βρίσκεται ακριβώς από κάτω. Η βασική γεωμετρική παραμόρφωση στις κάθετες εναέριες φωτογραφίες οφείλεται στη διαφορετική εντύπωση που δημιουργεί η τρισδιάστατη όψη του κάθε αντικειμένου. Αντικείμενα που βρίσκονται ακριβώς κάτω από το φακό της φωτογραφικής μηχανής ή της κάμερας (στο ναδίρ) έχουν ορατό μόνο το επάνω τμήμα της επιφάνειάς τους, ενώ όλα τα υπόλοιπα αντικείμενα εμφανίζονται να αποκλίνουν από το κέντρο της φωτογραφίας με αποτέλεσμα να είναι ορατές από το φακό τόσο η επάνω όσο και κάποιες από τις πλαϊνές επιφάνειές τους. Αν τα αντικείμενα είναι κοντά στον φακό ή βρίσκονται αρκετά μακριά από το κέντρο της φωτογραφίας η παραμόρφωση και τα σφάλματα που σχετίζονται με τον προσδιορισμό της θέσης του αντικειμένου ως προς το έδαφος είναι ακόμη μεγαλύτερα.

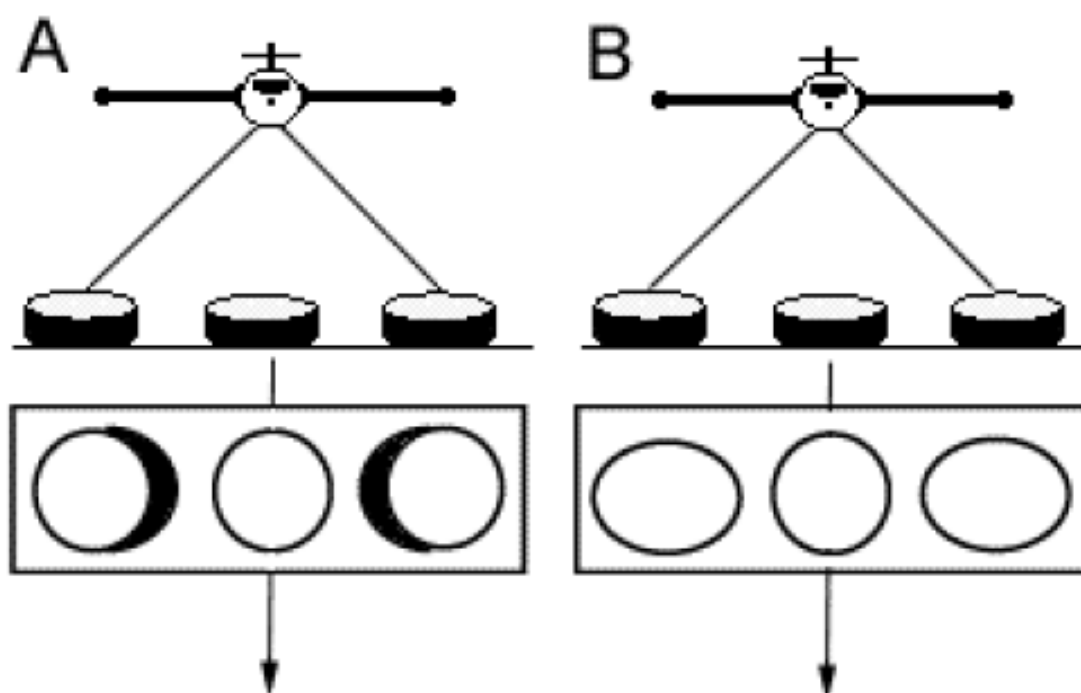


Σχήμα 2.19 : Γεωμετρικές Παραμορφώσεις

Σε ό,τι αφορά τις απεικονίσεις που λαμβάνονται από ανιχνευτές κατά μήκος της τροχιάς κίνησης, οι γεωμετρικές διαφοροποιήσεις μεταξύ των ανιχνευόμενων γραμμών οφείλονται στις τυχαίες μεταβολές στο ύψος της πλατφόρμας και στη στάση της κατά μήκος της κατεύθυνσης της τροχιάς.

Οι εικόνες που λαμβάνονται με τη μέθοδο της ανίχνευσης εγκάρσια ως προς την τροχιά κίνησης παρουσιάζουν δύο ειδών γεωμετρικές παραμορφώσεις. Το ένα είδος παραμόρφωσης (Α) σχετίζεται με τη διαφορετική εντύπωση που προκαλούν τα τρισδιάστατα αντικείμενα, όπως στην περίπτωση των εναέριων φωτογραφιών, αλλά μόνο ως προς μία κατεύθυνση, παράλληλη ως προς τη διεύθυνση της ανίχνευσης. Ακριβώς κάτω από τον αισθητήρα, στο ναδίρ, δεν υπάρχει κάποια παραμόρφωση. Όμως, καθώς ο αισθητήρας ανιχνεύει κάθετα ως προς την ανιχνευόμενη διαδρομή, τόσο η κορυφή όσο και οι πλαϊνές όψεις των αντικειμένων απεικονίζονται και εμφανίζονται να αποκλίνουν από το σημείο ναδίρ σε κάθε γραμμή ανίχνευσης.

Μια ακόμη παραμόρφωση (B) που παρατηρείται οφείλεται στην περιστροφή του ανιχνευτικού οπτικού συστήματος. Καθώς ο αισθητήρας σαρώνει την περιοχή σε κάθε γραμμή ανίχνευσης, η απόσταση μεταξύ του αισθητήρα και του εδάφους αυξάνεται όσο απομακρυνόμαστε από το κέντρο της ανιχνευόμενης διαδρομής γίνεται μέγιστη στις δύο άκρες αυτού. Παρά το γεγονός ότι το ανιχνευτικό κάτοπτρο περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα, το στιγμιαίο πεδίο παρατήρησης του αισθητήρα μετακινείται ταχύτερα (σε σχέση με το έδαφος) και ανιχνεύει μεγαλύτερη περιοχή καθώς κινείται πλησιέστερα προς τις άκρες. Το φαινόμενο αυτό οδηγεί στη συμπίεση των στοιχείων της εικόνας σε σημεία μακριά από το σημείο ναδίρ του αισθητήρα και συχνά αποκαλείται εφαπτομενικά κλιμακούμενη παραμόρφωση (tangential scale distortion).



Σχήμα 2.20: Γεωμετρικές παραμορφώσεις

Όλες οι εικόνες είναι ευαίσθητες σε γεωμετρικές παραμορφώσεις οι οποίες οφείλονται σε μεταβολές στην ευστάθεια των πλατφορμών και στις οποίες περιλαμβάνονται αλλαγές στην ταχύτητά τους, το ύψος και τον προσανατολισμό τους (γωνιακός προσανατολισμός αναφορικά με το έδαφος) κατά τη διάρκεια της συλλογής πληροφοριών. Οι επιδράσεις των παραπάνω μεταβολών είναι περισσότερο έντονες όταν χρησιμοποιούνται αεροσκάφη ως πλατφόρμες. Αντίθετα, με χρήση δορυφορικών πλατφορμών οι επιδράσεις εξασθενούν σε μεγάλο βαθμό, καθώς οι τροχιές των δορυφορικών πλατφορμών είναι σχετικά σταθερές αναφορικά με τη απόστασή τους από τη γη.

Οι πηγές γεωμετρικών παραμορφώσεων και σφαλμάτων προσδιορισμού της θέσης των στόχων ποικίλλουν κατά περίπτωση. Γενικά, μπορεί να θεωρηθεί ότι είναι σύμφυτες με την τεχνική απεικόνισης μέσω τηλεπισκόπησης. Στις περισσότερες περιπτώσεις, υπάρχει η δυνατότητα διόρθωσης ή τουλάχιστον μείωσης των σφαλμάτων, τα οποία όμως πρέπει σε κάθε περίπτωση να ληφθούν υπόψη πριν γίνουν μετρήσεις ή εξαχθούν περαιτέρω πληροφορίες.

3 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 - ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΩΝ – SMART BUOY

3.1 Ο ΠΛΑΝΗΤΗΣ ΤΩΝ ΩΚΕΑΝΩΝ

Η Γη θα μπορούσε να χαρακτηριστεί ως ο πλανήτης των ωκεανών, αφού το 70% της επιφάνειας της καλύπτεται από ωκεανούς. Οι ωκεανοί παίζουν έναν κρίσιμο ρόλο στον καθορισμό του παγκόσμιου κλίματος και είναι άρρηκτα συνδεδεμένοι με την ατμόσφαιρα, κατά την εξέλιξη των φυσικών διακυμάνσεων του κλιματολογικού συστήματός μας. Όμως, πέρα από την αναμφισβήτη σημασία των ωκεανών στον καθορισμό του παγκόσμιου κλίματος, ο ρόλος τους εκτείνεται και στον τρόπο ζωής των ανθρώπων σήμερα :

- 90 % όλων των αγαθών μεταφέρεται μέσω θάλασσας
- 95 % της παγκόσμιας κίνησης του κυβερνοχώρου κείται στο βυθό της θάλασσας
- 80 % του πληθυσμού της Γης ζει σε παράκτιες περιοχές
- 75 % των αγαθών διέρχεται από διεθνή κανάλια
- <95 % του λαθρεμπορίου και εμπόριου ναρκωτικών πραγματοποιείται με θαλάσσια μέσα

Επομένως, γίνεται φανερό το ολοένα και αυξανόμενο πρόβλημα προστασίας των θαλάσσιων εθνικών συνόρων και τον έλεγχο της κίνησης μεταξύ χωρών. Η μέχρι πρόσφατα προτεινόμενη λύση παρουσιάζουν προβλήματα. Η ανάπτυξη και αποστολή ελικοπτέρων, αεροπλάνων και ακτοπλοϊκών σκαφών, καίτοι προσφέρει μία αξιόπιστη λύση, είναι σχετικά περιορισμένη από τις κατά καιρούς ακραίες καιρικές συνθήκες και το υψηλό κόστος. Χαρακτηριστική ένδειξη του κόστους της προαναφερθείσας λύσης είναι ότι το μέσο κόστος για ένα ακτοπλοϊκό σκάφος περιπολίας κοστίζει 1000 € ανά ημέρα. Αν αναλογιστούμε το πλήθος των σκαφών αλλά και την απαραίτητη καθημερινή περιπολία των σκαφών, αντιλαμβανόμαστε το μέγεθος του κόστους.

3.2 ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ SMART BUOY

3.2.1 Γενικά

Η νέα προτεινόμενη λύση ακούει στο όνομα Smart Buoy (έξυπνες σημαδούρες) και αφορά ένα ασύρματο δίκτυο από πλωτές πλατφόρμες αισθητήρων που θα λειτουργούν ως δίκτυο λήψης πληροφορίας άμεσου χρόνου. Επιπλέον και λειτουργώντας ως πρόσθετοι κόμβοι στο προαναφερθέν δίκτυο, μπορεί να υπάρχουν μη επανδρωμένα οχήματα και μη επανδρωμένα

αεροσκάφη. Όλα τα δεδομένα από τους αισθητήρες μεταφέρονται σε μία κεντρική μονάδα μέσω ασφαλών δορυφορικών ζεύξεων.

Όπως γίνεται αντιληπτό, η τεχνολογία των buoys συλλέγει την πληροφορία με επίγειους και όχι απομακρυσμένους αισθητήρες. Με αυτό τον τρόπο, αποφεύγονται όλα τα προβλήματα των απομακρυσμένων αισθητήρων, τα οποία και αναφέρθηκαν στο προηγούμενο κεφάλαιο. Από την άλλη πλευρά, η συγκεκριμένη προσέγγιση έχει και αρνητικά χαρακτηριστικά τα οποία σχετίζονται με :

- Την πρόσθετη καθυστέρηση που εισάγεται λόγω της μετάδοσης της πληροφορίας μέσω δορυφορικής ζεύξης
- Τη μειωμένη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, αφού πλέον εξαρτάται από τις κατά τόπους καιρικές συνθήκες και την ικανότητα δορυφορικής εκπομπής του εκάστοτε εκπομπού
- Την πρόσθετη καθυστέρηση, λόγω της μεγαλύτερης πολυπλοκότητας επεξεργασίας της πληροφορίας (ιδιαίτερα στην περίπτωση όπου πρέπει να γίνει συνδυαστική επεξεργασία δεδομένων διαφορετικών buoys)
- Την πρόσθετη καθυστέρηση, λόγω του μεγέθους της πληροφορίας, αφού πλέον δεν πρόκειται για δεδομένα μίας μόνο υπηρεσίας, αλλά πολλών διαφορετικών που λειτουργούν είτε συνδυαστικά με άλλες υπηρεσίες είτε λειτουργούν αυτόνομα αλλά σε πολλούς περισσότερους σταθμούς



Σχήμα 3.1 : Πρότυπο δίκτυο Smart Buoy

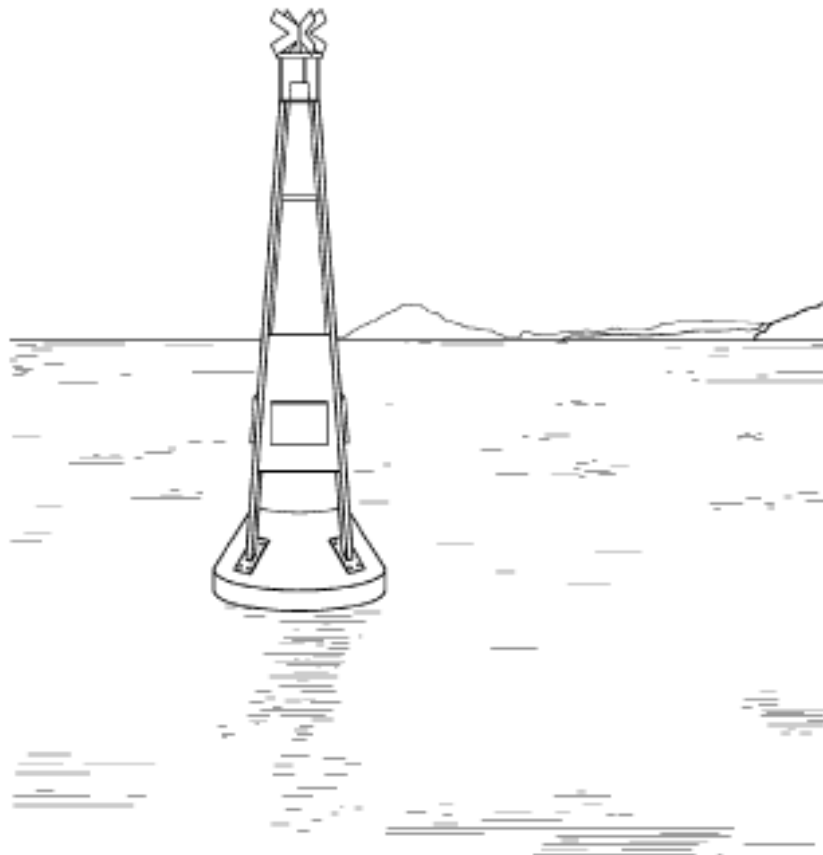
Με την τεχνολογία των ηλεκτρονικών κυκλωμάτων να αυξάνεται με εκθετικούς ρυθμούς, οι καθυστερήσεις αυτού του τύπου έχουν μειωθεί σημαντικά και δεν αποτελούν πλέον πρόβλημα στην προσπάθεια παροχής μιας υπηρεσίας πραγματικού χρόνου.

3.2.2 Δομή Smart Buoy

Παραδοσιακά, η παρακολούθηση και οι μετρήσεις σε περιβάλλοντα παραθαλάσσια ή ανοικτής θάλασσας περιβάλλοντα γίνονται κυρίως με δύο τεχνικές : 1) με αισθητήρες που ήταν βυθισμένοι μέσα στο νερό, και 2) ερευνητικά σκάφη εξοπλισμένα με πληθώρα δυνατοτήτων.

Μηχανήματα που υλοποιήθηκαν για συγκεκριμένους αισθητήρες έχουν μικρότερη διάρκεια ζωής για δύο λόγους : 1) τέτοια συστήματα είναι εξαρτημένα από τους αισθητήρες τους και οι αισθητήρες νέας τεχνολογίας είναι δύσκολο να ενσωματωθούν στα μηχανήματα αυτά χωρίς κάποια σημαντική τροποποίηση του συστήματος, η οποία θα απαιτεί πολύ χρόνο και χρήμα, και 2) οι αισθητήρες είναι βυθισμένοι και μονίμως εκτεθειμένοι στο νερό, το οποίο επηρεάζει σημαντικά τη διάρκεια ζωής τους, αφού η συγκεντρωση οργανικών αλλά και ανόργανων υλικών προκαλεί δυσλειτουργίες και, μετά από μερικές εβδομάδες, αναξιόπιστες μετρήσεις. Κατά συνέπεια, ο μόνος τρόπος να εγγυηθούμε αξιόπιστες μετρήσεις είναι με το να εξετάζουμε και να συντηρούμε τα buoys σε εβδομαδιαία βάση. Αυτό όμως απαιτεί μια χρονοβόρα διαδικασία, η οποία περιλαμβάνει μετάβαση στο buoy, τη συλλογή όλων των υποθαλάσσιων αισθητήρων, τον καθαρισμό τους, τη συντήρηση και την επανατοποθέτησή τους στο σωστό βάθος. Κάτι τέτοιο είναι αρκετά περιοριστικό, αφού κάποια buoys μπορεί να λειτουργούν σε δύσκολα προσβάσιμες περιοχές, ή οι καιρικές συνθήκες μπορεί να μην επιτρέπουν τη συντήρηση κάποιων διατάξεων. Η συντήρηση είναι ακόμα δύσκολη σε συστήματα που περιλαμβάνουν αρκετούς αισθητήρες συνδεδεμένους σε μία σειρά, ώστε να λειτουργούν σε διαφορετικά βάθη, αφού κάθε βυθισμένος αισθητήρας πρέπει να συλλεχθεί, καθαριστεί, ρυθμιστεί και επανατοποθετηθεί στο ίδιο ακριβώς βάθος.

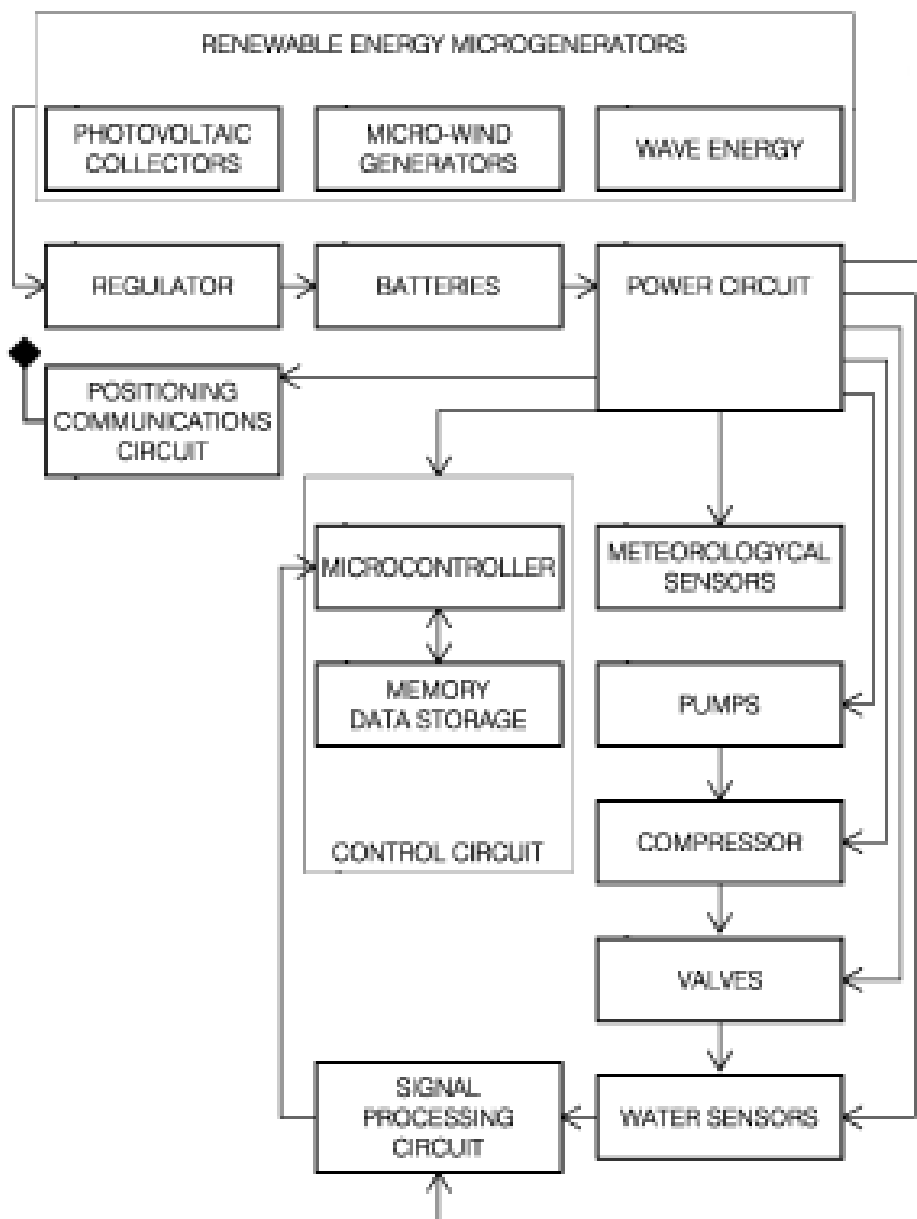
Επιπλέον των περιορισμών που σχετίζονται με το τωρινό σύστημα παρακολούθησης των buoys, με την έκθεση των αισθητήρων στο νερό και την αναγκαία συντήρηση που αυτή η τεχνολογία επιβάλλει, άλλοι περιορισμοί έχουν σχέση με το μέγιστο βάθος στο οποίο μπορούμε να βυθίσουμε τους αισθητήρες και να λειτουργούν χωρίς πρόβλημα.



Σχήμα 3.2 : Πρότυπο Smart Buoy

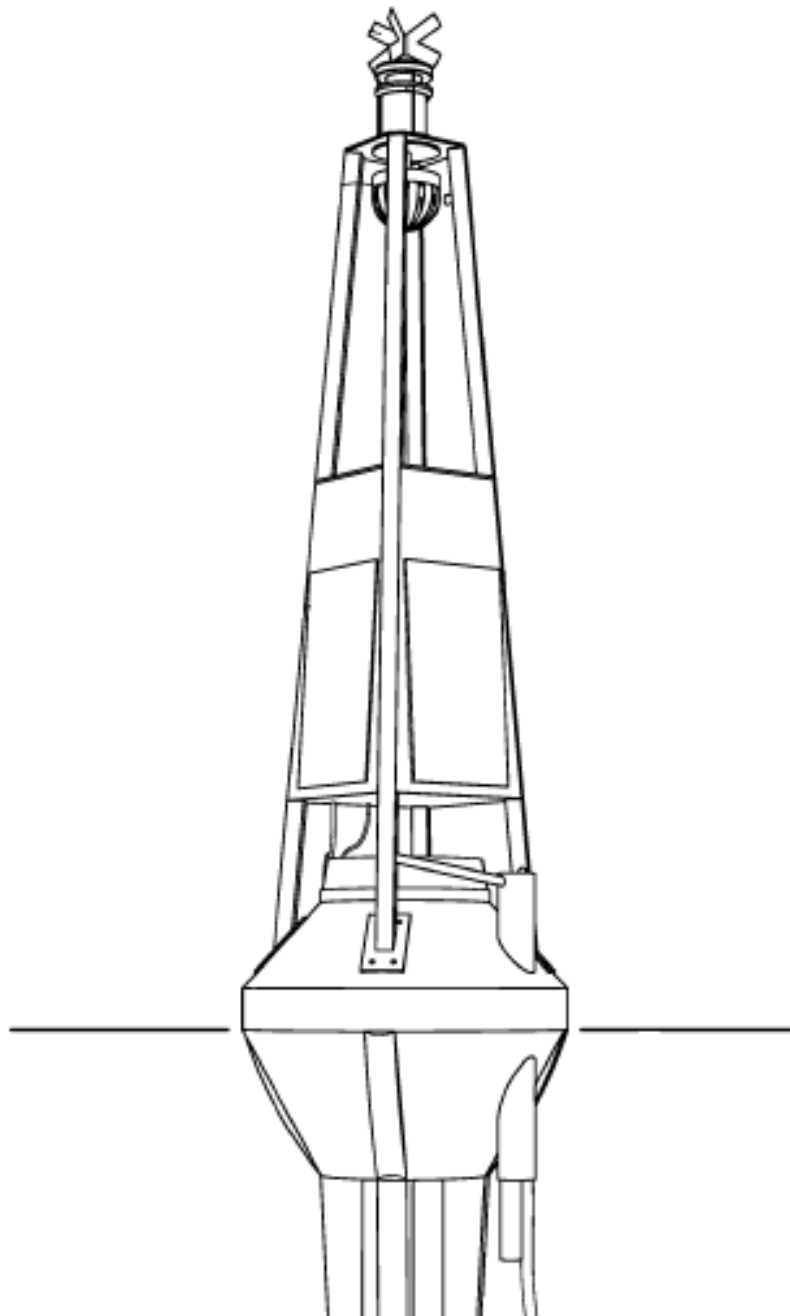
Τα μέχρι πρότινος διαθέσιμα συστήματα, ήταν περιορισμένα στο να λειτουργούν σε μικρά βάθη (close-to-surface-level waters). Αυτό περιορίζει το είδος των αναλύσεων που μπορούν να διαχειριστούν τα buoys, καθώς και το εύρος των προβλημάτων που μπορούν να επιλύσουν. Κατά συνέπεια, ήταν επιθυμητή η δημιουργία ενός συστήματος που θα υπερέβαινε τα προαναφερθέντα προβλήματα και περιορισμούς.

Η τεχνολογία των Smart Buoys βασίστηκε πάνω στην προαναφερθείσα ήδη υπάρχουσα τεχνολογία των θαλάσσιων πλατφορμών, εξελίσσοντας κυρίως την αυτονομία του συστήματος και το σύστημα μετάδοσης πληροφορίας. Για το σκοπό αυτό, η νέα αυτή τεχνολογία υιοθέτησε πολλά νέα ηλεκτρονικά συστήματα αυξάνοντας μεν κατά πολύ την πολυπλοκότητα του υπολογιστικού τμήματος, αλλά αυξάνοντας παράλληλα τη διαλειτουργικότητα της πλατφόρμας με κάθε είδους αισθητήρα.

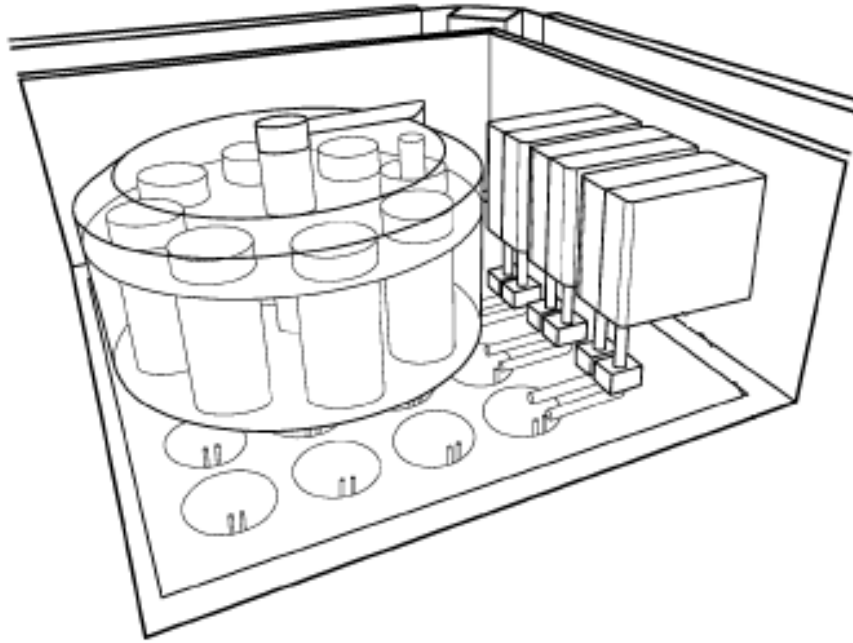


Σχήμα 3.3 : Μπλόκ διάγραμμα με τα σημαντικότερα ηλεκτρονικά συστήματα ενός Smart Buoy

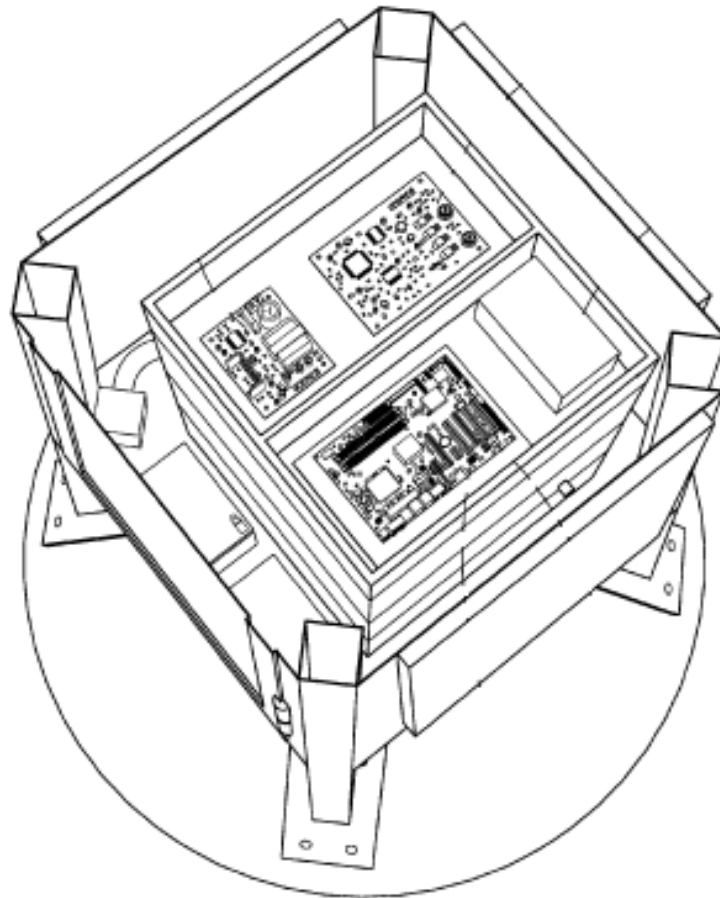
Η κύρια διαφορά των Smart Buoyς έγκειται σε δύο σημεία. Πρώτον, η εισαγωγή πληθώρας ανανεώσιμων πηγών ενέργειας, όπως φωτοβολταϊκά στοιχεία, ανεμογεννήτρια, και υδραυλικό στοιχείο, που προσφέρουν σταθερή και συνεχή ενέργεια στο σύστημα που ελέγχει το smart buoy. Δεύτερον, η εγκατάσταση συστήματος βαλβίδων και αντλιών που λειτουργεί ως σύστημα απομακρυσμένης συντήρησης, το οποίο βασίζεται σε αντιρρυπαντικά επιχρίσματα και σε αυτοκαθαριζόμενους – αυτορυθμιζόμενους αισθητήρες. Η ενσωμάτωση των δύο αυτών συστημάτων ουσιαστικά απάλλαξε τις πλατφόρμες από την ανάγκη περιοδικής συντήρησής τους και κατά συνέπεια κατέστησαν περισσότερο αξιόπιστες και οικονομικές τις παρεχόμενες υπηρεσίες.



Σχήμα 3.4 : Ένα πρότυπο smart buoy εξοπλισμένο με φωτοβολταϊκά και ανεμογεννήτρια



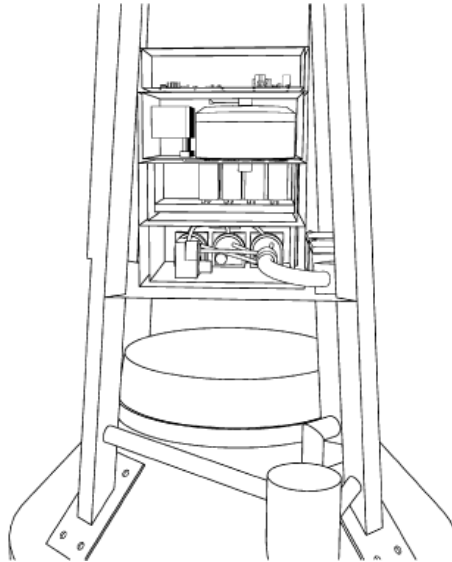
Σχήμα 3.5 : Το σύστημα της αυτόματης ρύθμισης των αισθητήρων καθώς και η αποθήκη των διαφόρων υγρών για αυτή τη διαδικασία



Σχήμα 3.6 : Τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, δεδομένων, θέσης και επικοινωνίας

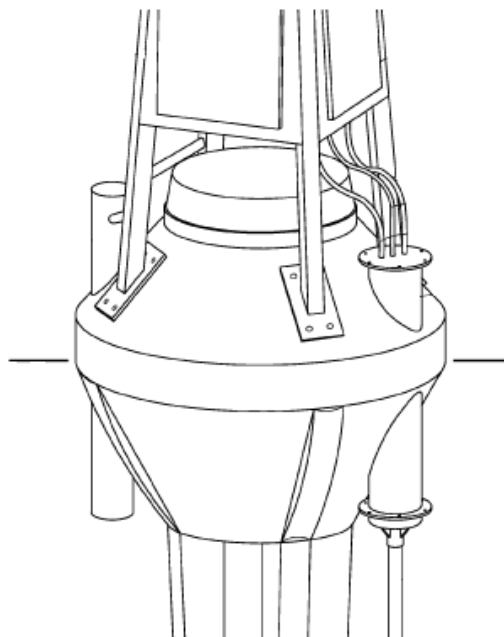
Ο σκελετός ενός βουγ χωρίζεται σε τρία τμήματα :

- Το άνω τμήμα (upper level), στο οποίο βρίσκονται οι μικρογεννήτριες, ο δορυφορικός πομπός και μέρος του συστήματος επεξεργασίας και αποθήκευσης των μετρήσεων. Κατ' εξαίρεση, μπορεί να υπάρχουν αισθητήρες και σε αυτό το τμήμα του σκελετού, συνήθως κάμερες και φωτοκύτταρα.



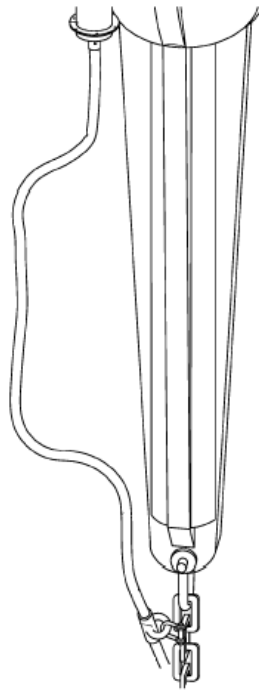
Σχήμα 3.7 : Εσωτερικό του ανώτερου τμήματος με εμφανές το σύστημα αποθήκευσης της προς μετάδοση πληροφορίας

- Το μεσαίο τμήμα (water level), η βάση ουσιαστικά του σκελετού όπου γίνεται η επεξεργασία των μετρήσεων, βρίσκονται οι μπαταρίες και όλα τα ηλεκτρονικά συστήματα ελέγχου, θέσης και επικοινωνίας. Το μεσαίο τμήμα του βουγ είναι και το ασφαλέστερο μέρος της πλατφόρμας.



Σχήμα 3.8 : Το μεσαίο τμήμα(water-level) του βουγ, το οποίο αποτελείται από ένα υποστηρικτικό σωλήνα και το σκελετό του βουγ.

- Το κάτω τμήμα (lower ή sinked level), κύριες λειτουργίες του οποίου είναι η ισορροπία αγκυροβόληση της πλατφόρμας, η δειγματοληψία νερού (σε περίπτωση που έχουμε εγκαταστήσει αυτή την εφαρμογή) και η τοποθέτηση των αισθητήρων και υποθαλάσσιων καμερών.



Σχήμα 3.9 : Το βυθισμένο τμήμα συνδέεται με την άγκυρα και τους υποθαλάσσιους αισθητήρες

3.2.3 Μη επανδρωμένα σκάφη και αεροσκάφη – USVs & UAVs

Τα μη επανδρωμένα σκάφη (USVs – Unmanned Surface Vehicles) και αεροσκάφη (UAVs – Unmanned Aerial Vehicles) λειτουργούν ως κινούμενοι κόμβοι ενσωματωμένοι στο δίκτυο των Smart Buoys. Είναι ικανά να επικοινωνούν και να ανταλλάσσουν πληροφορία με τα buoys και το κέντρο ελέγχου. Προσφέρουν μια σχετικά χαμηλού κόστους προσέγγιση για :

- Επιθεωρήσεις Συμβάντων
- Αποστολές επιτήρησης συνόρων
- Αποστολές έρευνας και διάσωσης
- Συλλογή και μεταφορά πληροφοριών από τα buoys

USV



Σχήμα 3.10 : Δομή και κύρια χαρακτηριστικά ενός USV

UAV



Σχήμα 3.11 : Δομή και κύρια χαρακτηριστικά ενός UAV

3.2.4 Το δίκτυο επικοινωνίας

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η τεχνολογία των Smart Buoy αναπτύχθηκε για να υποστηρίξει, με τη βοήθεια και άλλων τεχνολογιών, υπηρεσίες λήψης πληροφορίας άμεσου χρόνου από απομακρυσμένες θαλάσσιες περιοχές υψηλού ενδιαφέροντος, όπως περιοχές κινδύνου πετρελαιοκηλίδων, δρομολογίων τάνκερ και εθνικών συνόρων. Όλα τα δεδομένα μεταφέρονται σε μία κεντρική μονάδα (Ground Station) μέσω ασφαλών δορυφορικών - επι το πλείστον - ζεύξεων.

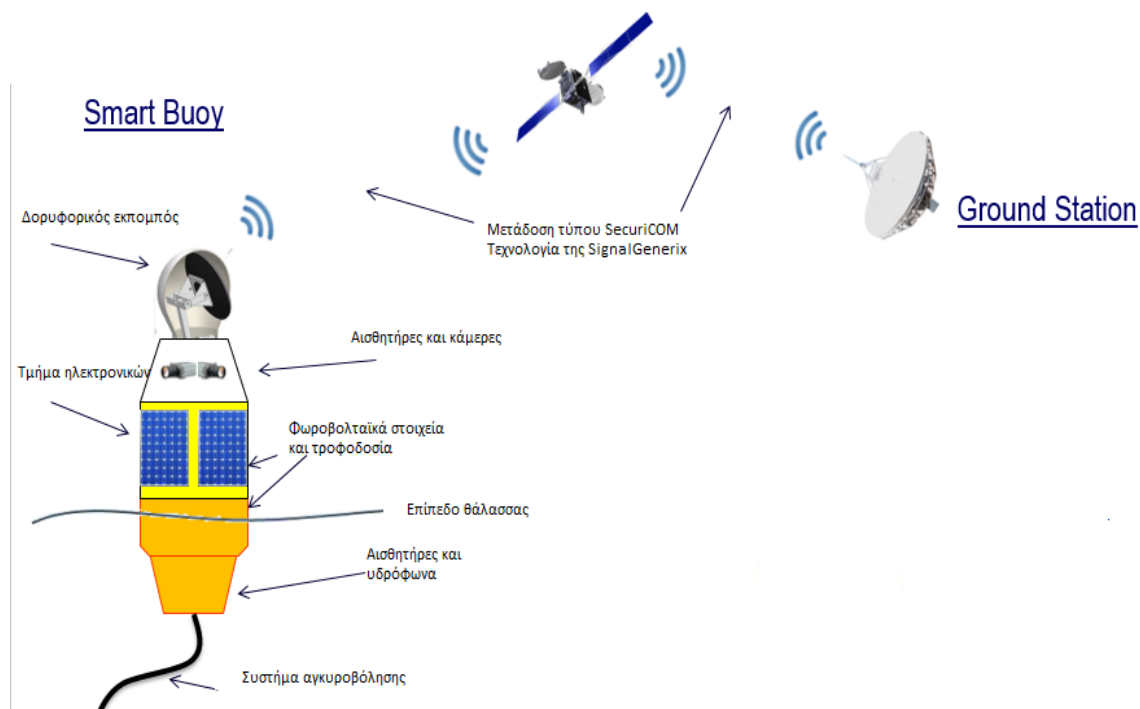
Τα δυο βασικά ερωτήματα που τίθενται στη συγκεκριμένη τεχνολογία είναι :

- Πού θα γίνεται η επεξεργασία των δεδομένων από τους αισθητήρες και κατά συνέπεια η εξαγωγή πληροφορίας ; Θα γίνεται απευθείας στην πλωτή μονάδα (buoy) ή σε μία κεντρική μονάδα ;
- Με ποιόν ακριβώς τρόπο θα αποστέλλεται μέσω δορυφόρου η πληροφορία στο κέντρο; Θα λειτουργεί κάθε buoy αυτόνομα ως δορυφορικός πομπός ή θα γίνεται επίγεια μια ομαδοποίηση πληροφορίας πριν αποσταλεί δορυφορικά ;

Η πρώτη ερώτηση είναι πολύ ευκολότερο να απαντηθεί σε σχέση με τη δεύτερη. Ανέκαθεν, η επεξεργασία των δεδομένων ενός αισθητήρα είναι προτιμότερο και αποτελεσματικότερο να γίνεται απευθείας στο σημείο τοποθέτησης του αισθητήρα. Με αυτό τον τρόπο επιτυγχάνεται πληρέστερη και περισσότερο αξιόπιστη επεξεργασία των δεδομένων, αφού δεν υπάρχει ο κίνδυνος να χαθούν δεδομένα κατά τη μετάδοση. Επίσης, αποφεύγεται η πρόσθετη τηλεπικοινωνιακή κίνηση στο δίκτυο της υπηρεσίας, αφού αντί να μεταφέρονται όλα τα δεδομένα του αισθητήρα, μεταφέρονται μόνο τα αποτελέσματα της επεξεργασίας. Τέλος, αποφεύγουμε την πρόσθετη καθυστέρηση που εισάγεται λόγω της κωδικοποίησης και αποκωδικοποίησης αρκετά μεγαλύτερου μεγέθους πληροφορίας και κατά συνέπεια αποφεύγουμε την αύξηση της πολυπλοκότητας του συστήματος. Αντίθετα, για τη δεύτερη ερώτηση δεν υπάρχει σίγουρη και αδιαμφισβήτητη απάντηση. Πολλά χαρακτηριστικά καθορίζουν τη δομή ενός δικτύου μετάδοσης πληροφορίας των buoys :

- Η τοποθεσία των buoys
- Το πλήθος και η κατανομή των buoys ανά περιοχή
- Το μέγεθος της πληροφορίας που καλούνται να μεταδώσουν
- Οι καιρικές συνθήκες στην περιοχή του κάθε buoy
- Οι προδιαγραφές των λειτουργιών που καλούνται να επιτελέσουν το κάθε buoy

Συγκεκριμένα, η τοποθεσία των buoys παίζει πολύ μεγάλο ρόλο καθώς επηρεάζει την απόστασή τους από το κέντρο ελέγχου καθώς και τη δυνατότητα δορυφορικής ζεύξης. Αν για παράδειγμα, τοποθετήσουμε την πλατφόρμα σε μικρή απόσταση από το κέντρο ελέγχου, τότε ρυθμίζεται το buoy να αποστέλλει τα δεδομένα απευθείας στο κέντρο ελέγχου αντί μέσω δορυφόρου αποφεύγοντας μεγαλύτερη καθυστέρηση αλλά και απώλειες δεδομένων.



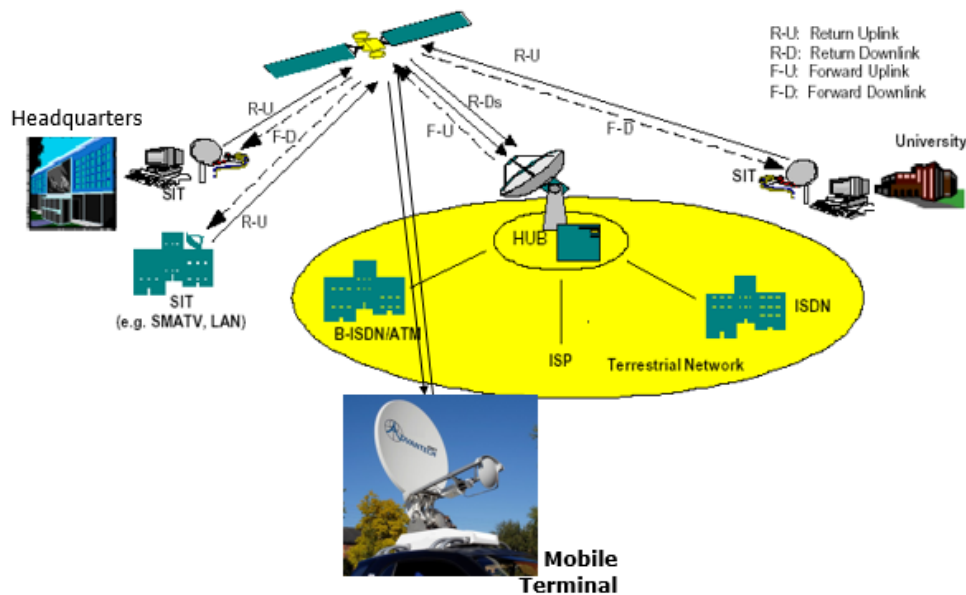
Σχήμα 3.12 : Συνοπτική λειτουργία ενός Smart Buoy

Επίσης, ο πληθυσμός των buoys ανά περιοχή είναι καθοριστικός παράγοντας από τη στιγμή που διαθέτουν μικρό δορυφορικό πομπό και κατά συνέπεια παράγουν παρεμβολές. Όταν λειτουργούν όλα μαζί, σε σχετικά κοντινή απόσταση, προκαλούν παρεμβολές στις ζεύξεις με αποτέλεσμα την υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας (Quality of Service – QoS). Όταν η επιλογή να εκπέμπουν συντονισμένα ώστε να μην αλληλοπαρεμβάλλονται δεν είναι εφικτή και εφόσον είναι επιθυμητή η υπηρεσία πραγματικού χρόνου, η πληροφορία όλων των buoys πρέπει να συγκεντρώνεται σε προκαθορισμένο buoy και να αποστέλλεται στην ίδια ζεύξη.

Η ίδια μέθοδος, αλλά για διαφορετικούς λόγους, χρησιμοποιείται και στην περίπτωση όπου η προς μετάδοση πληροφορία είναι μικρή σε μέγεθος. Αν δεν μπορούμε να ρυθμίσουμε δυναμικά τη χωρητικότητα κάθε καναλιού, τότε η δέσμευση ενός καναλιού με μεγάλη χωρητικότητα για μεταφορά μικρού μεγέθους δεδομένων αποτελεί σπατάλη των διαθέσιμων φασματικών πόρων. Για το λόγο αυτό, οι διάφορες ροές δεδομένων συνδυάζονται και πολυπλέκονται με στόχο τη βέλτιστη αξιοποίηση των φασματικών πόρων.

Παρά τη μεγάλη αξιοπιστία των δορυφορικών ζεύξεων ακόμα και υπό δυσμενείς συνθήκες, η άριστη ποιότητα υπηρεσίας (99,99 %) επιτυγχάνεται με μεγάλους δορυφορικούς εκπομπούς, υψηλής κατευθυντικότητας και ισχύος. Τα buoys είναι εξοπλισμένα με μικρούς δορυφορικούς πομπούς, όμοιους με αυτούς που έχουμε στα σπίτια μας για δορυφορική τηλεόραση. Αυτοί οι πομποί, καίτοι λειτουργούν άριστα υπο ευνοϊκές συνθήκες, σε περιπτώσεις ραγδαίων κατακρυμνίσεων και γενικότερα δυσμενών κλιματικών συνθηκών δεν έχουν την ίδια επίδοση. Για να πετύχουμε το επιθυμητό επίπεδο υπηρεσίας, θα συλλέξουμε την προς μετάδοση πληροφορία σε μέρος όπου οι καιρικές συνθήκες είναι ευνοϊκές. Αυτή η τοπική μεταφορά πληροφορίας επιτυγχάνεται συνήθως με ένα ασύρματο ad hoc δίκτυο αποτελούμενο από άλλα buoys ή μη επανδρωμένα αεροσκάφη και σκάφη.

Η ιδέα αυτής της μορφής δικτύου ακολουθεί την ίδια φιλοσοφία που ακολουθούν και τα σύγχρονα επίγεια δορυφορικά δίκτυα. Ας πάρουμε για παράδειγμα την αρχιτεκτονική ενός τυπικού δορυφορικού δικτύου όπως αυτό λειτουργεί σήμερα.



Σχήμα 3.13 : Αρχιτεκτονική ενός τυπικού δορυφορικού δικτύου

Η ιδέα της συγκέντρωσης και ομαδοποίησης των δεδομένων προς αποστολή καθώς και η διαλειτουργικότητα υπηρεσιών, πρωτοκόλλων και σταθμών βάσης ήδη εφαρμόζεται με επιτυχία. Το δίκτυο των Smart Buoyς ακολουθεί την ίδια ακριβώς λογική, ενσωματώνοντας και άλλες τεχνολογίες όπως αυτή των μη επανδρωμένων οχημάτων και σκαφών καθώς και αυτή των κινητών σταθμών βάσεων (πλοία, ελικόπτερα, οχήματα).



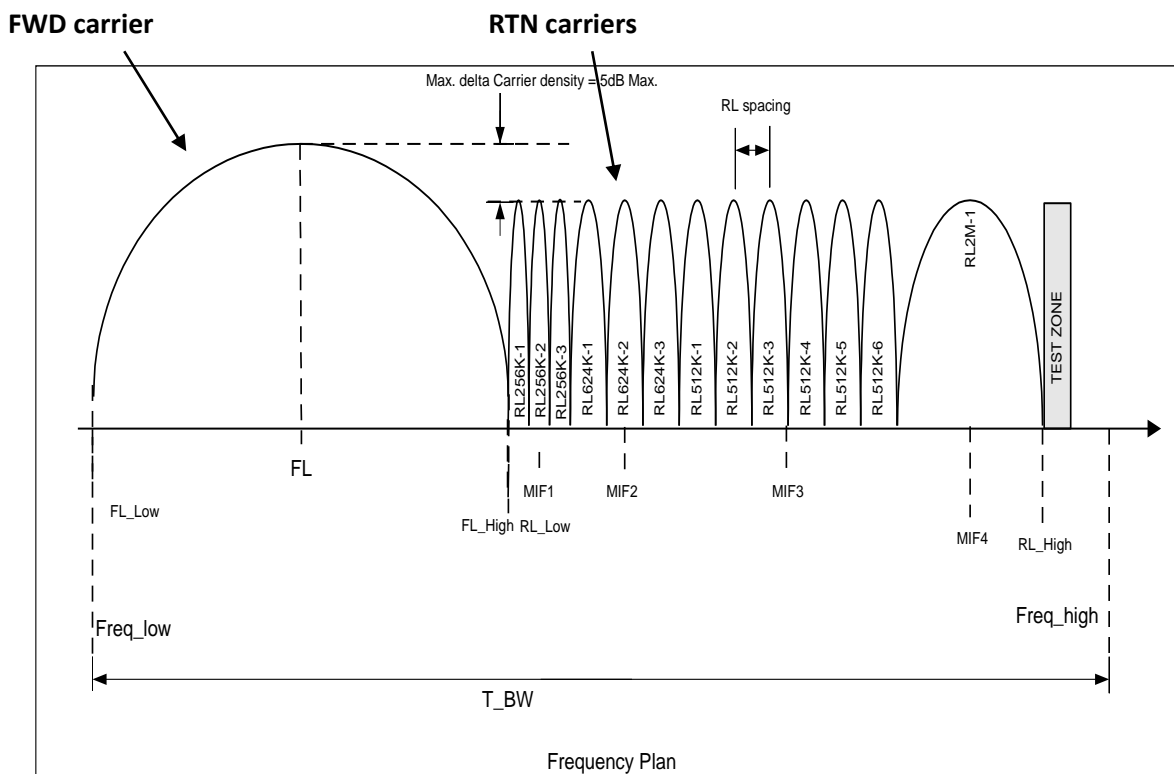
Σχήμα 3.14 : Σύστημα λειτουργίας Smart Buoyς/USVs/UAVς του Hellas-Sat (σύμπραξη με την SignalGeneriX Ltd)

3.2.5 Φασματική απόδοση

Η τεχνολογία των Smart Buoyς αναπτύχθηκε ώστε να προσφέρει μία υπηρεσία αξιόπιστη ακόμα και υπό ακραίες καιρικές συνθήκες σε 24ώρη βάση και οικονομική στην λειτουργία και συντήρησή της. Για τον λόγο αυτό δόθηκε ιδιαίτερη σημασία στην φασματική απόδοση του δικτύου των buoyς. Βασικοί στόχοι στην σχεδίαση του δικτύου των Smart Buoyς ήταν :

- Η δυνατότητα για επεκτασιμότητα οποιαδήποτε στιγμή. Δηλαδή, η αποδέσμευση και ενσωμάτωση διατάξεων και σταθμών στο δίκτυο δυναμικά
- Η βέλτιστη φασματική απόδοση της υπηρεσίας χωρίς την υποβάθμιση της ποιότητας υπηρεσίας
- Το χαμηλό κόστος της μετάδοσης πληροφορίας (Βίντεο, Εικόνες, Data)

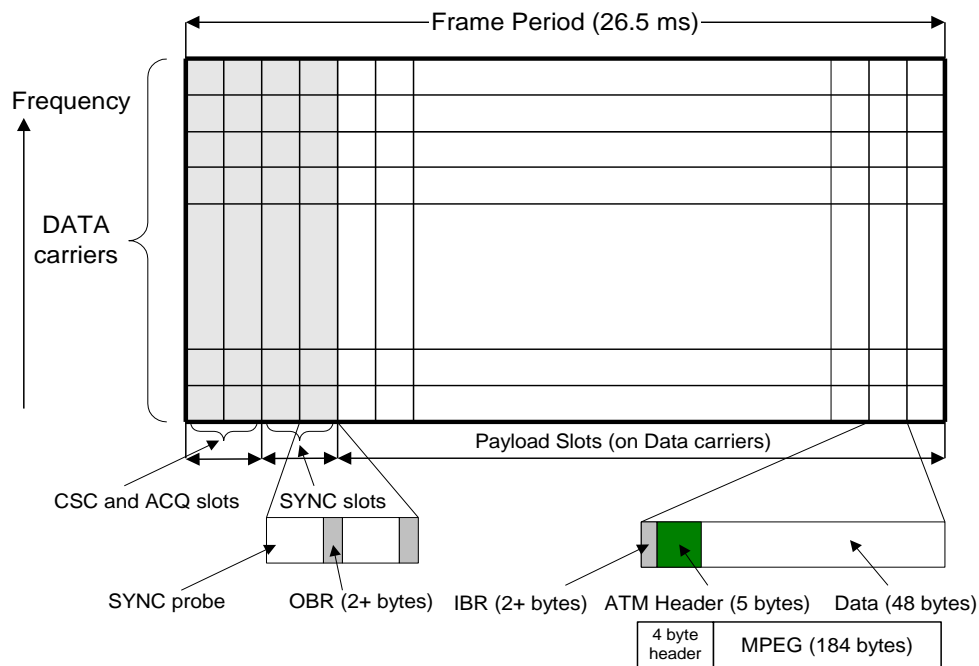
Το φάσμα συχνοτήτων είναι ένα περιορισμένο και κατά συνέπεια ακριβό αγαθό. Για την βέλτιστη αξιοποίηση του φάσματος είναι επιτακτική η εγκατάσταση αρκετών σταθμών βάσης, οι οποίοι θα υπακούουν στις προδιαγραφές πρωτοκόλλου για δορυφορικές επικοινωνίες (Space Communications Protocol Specifications– SCPS), που έχουν οριστεί πάνω σε υπάρχοντα πρωτόκολλα όπως το FTP (File Transfer Protocol), το TCP (Transmission Control Protocol) και το IPSec (Internet Protocol Security), ώστε να βελτιώσουν την επίδοσή τους σε διαστημικά περιβάλλοντα. Ταυτόχρονα, ανάλογα με την μέθοδο διαμόρφωσης και κωδικοποίησης, είναι πλέον εφικτό να μεταδώσουμε χωρίς λάθος δεδομένα ταχύτητας 1.5 – 2 Mbps σε κανάλι εύρους ζώνης 1 MHz.



Σχήμα 3.15 : Διάγραμμα διαθέσιμων καναλιών FWD και RT

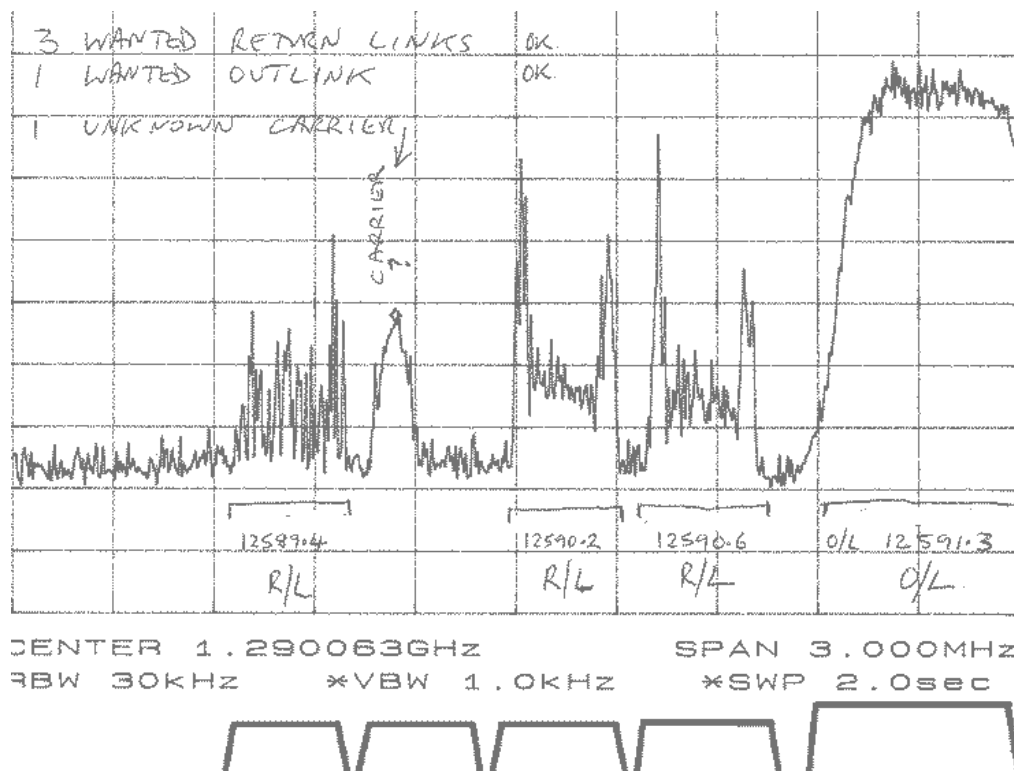
Υλοποιώντας δίκτυο σε συνδεσμολογία αστέρα (Star Network ή Hub-Spoke), η κίνηση προς το χρήστη πολυπλέκεται, στον ενδιάμεσο σταθμό (hub), σε μία συμβατική ροή αναμετάδοσης πληροφορίας τύπου DVB/MPEG-2 ή MPEG-4 και στη συνέχεια μεταβιβάζεται στα τερματικά. Για την μετάδοση χρησιμοποιούμε κανάλια για την προώθηση εντολών (FWD carriers) από το κέντρο ελέγχου και κανάλια για την πρόσληψη των δεδομένων (RTN carriers) των buoys και των μη επανδρωμένων οχημάτων.

Τα πρότυπα DVB/MPEG-2 ή MPEG-4 ορίζουν την μορφοποίηση και συμπίεση των διάφορων συστατικών στοιχείων μιας υπηρεσίας πολυμέσων, η οποία μπορεί να αποτελείται από βίντεο, ήχο, δεδομένα και δεδομένα ελέγχου). Ορίζουν επίσης τον τρόπο που αυτά τα συστατικά πολυπλέκονται σε μία ροή σύγχρονης μετάδοσης. Η ροή αυτή, αποτελείται από μία ακολουθία πακέτων MPEG μήκους 188 bytes. Από τα 188 bytes κάθε πακέτου, τα 4 πρώτα λειτουργούν σαν επικεφαλίδα ενώ τα υπόλοιπα 184 bytes αποτελούν το ωφέλιμο φορτίο. Τα πακέτα MPEG ενθυλακώνονται σε πακέτα ATM (Asynchronous Transfer Mode), προτού αποσταλούν βάσει του πρωτοκόλλου σύγχρονης ψηφιακής ιεραρχίας (Synchronous Digital Hierarchy – SDH).



Σχήμα 3.16 : Μορφή πακέτου SDH

Για να υπολογισθεί το εύρος του απαιτούμενου φάσματος και κατά συνέπεια τον αριθμό των καναλιών που χρειαζόμαστε για την λειτουργία της υπηρεσίας των buoys, ας θεωρηθεί δίκτυο από 30 buoys, 3 μη επανδρωμένα αεροσκάφη και πλοιάρια. Καίτοι όλα τα buoys θα λειτουργούν σε 24ώρη βάση αυτόνομα, η πιθανότητα να χρειαστεί να μεταδώσουν όλα ταυτόχρονα είναι πολύ μικρή. Εκτιμάται ότι το πολύ 3 buoys θα χρειαστεί να μεταδώσουν ταυτόχρονα, κατά συνέπεια απαιτούνται 3 κανάλια πρόσληψης δεδομένων (return links – RTN) χωρητικότητας 256Kbps. Από την άλλη πλευρά, λόγω του μικρού όγκου των δεδομένων ελέγχου, το κέντρο ελέγχου αρκείται σε ένα κανάλι προώθησης εντολών (forward link – FWD) χωρητικότητας 256Kbps.



Σχήμα 3.17 : Φασματική απεικόνιση απαιτούμενων ζεύξεων

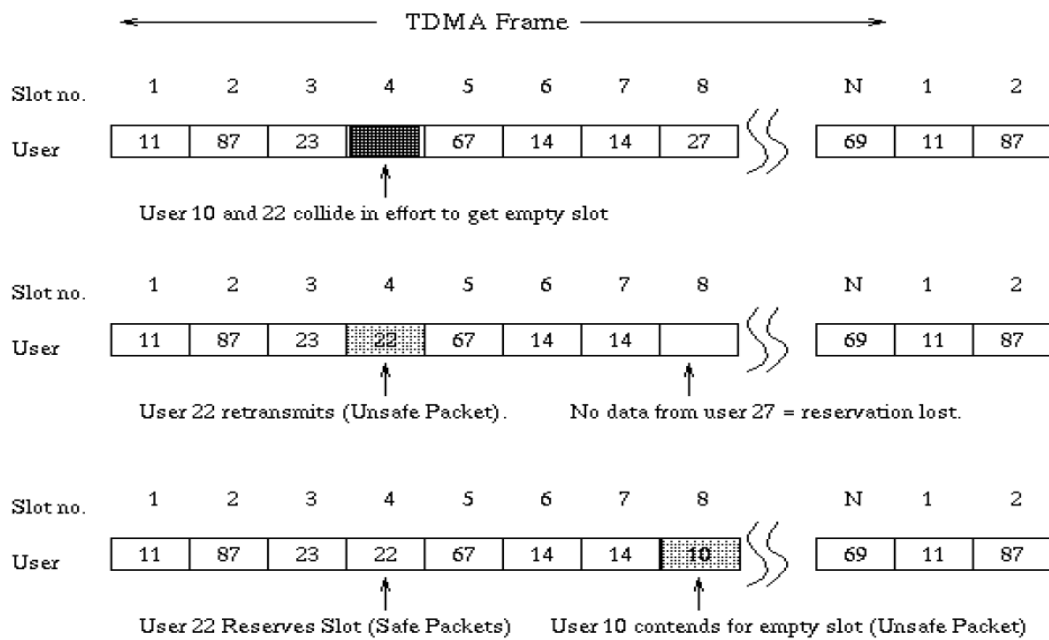
3.2.6 Χρονοδιαμετρική Πολλαπλή Πρόσβαση Πολλαπλών Συχνοτήτων (Multi-Frequency Time Division Multiple Access – MF-TDMA)

Με στόχο την βέλτιστη φασματική απόδοση και την δυναμική ανάθεση πόρων στο δίκτυο, η χωρητικότητα του δορυφορικού καναλιού και ο τρόπος μετάδοσης λειτουργούν βάσει του πρωτοκόλλου MF-TDMA (Multi-Frequency Time Division Multiple Access).

Η MF-TDMA είναι η κυρίαρχη τεχνολογία στη δυναμική ανάθεση και διαμοιρασμό φασματικών πόρων σε ένα εναέριο τηλεπικοινωνιακό δίκτυο αμφίδρομης επικοινωνίας. Παραλλαγές της MF-TDMA τεχνολογίας χρησιμοποιούνται ευρέως σε διάφορους τύπους δικτύων, συμπεριλαμβανομένων των :

- Περισσότερων δορυφορικών δικτύων αμφίδρομων ζεύξεων
- Συνηθέστερων κυψελωτών κινητών δικτύων (όπως το GSM – Global System for Mobile), και
- Ορισμένων ασύρματων μητροπολιτικών δικτύων όπως το WiMax (Worldwide Interoperability for Microwave Access)

Στα δορυφορικά δίκτυα, η MF-TDMA είναι η κυρίαρχη τεχνολογία επειδή παρέχει τη μεγαλύτερη χωρητικότητα καναλιού, την καλύτερη συνολική αποδοτικότητα και την καλύτερη ποιότητα υπηρεσίας, ενώ παράλληλα επιτρέπει την δυναμική ανάθεση του διαθέσιμου φάσματος ανάμεσα σε πληθώρα (δεκάδες χιλιάδες) πομπών με δυνατότητα αμφίδρομης επικοινωνίας. Τα δίκτυα MF-TDMA μπορούν να είναι σε μορφή αστέρα, να είναι πλήρως δικτυωμένα ή και μερικώς δικτυωμένα.



Σχήμα 3.18 : Λειτουργία TDMA πρωτοκόλλου

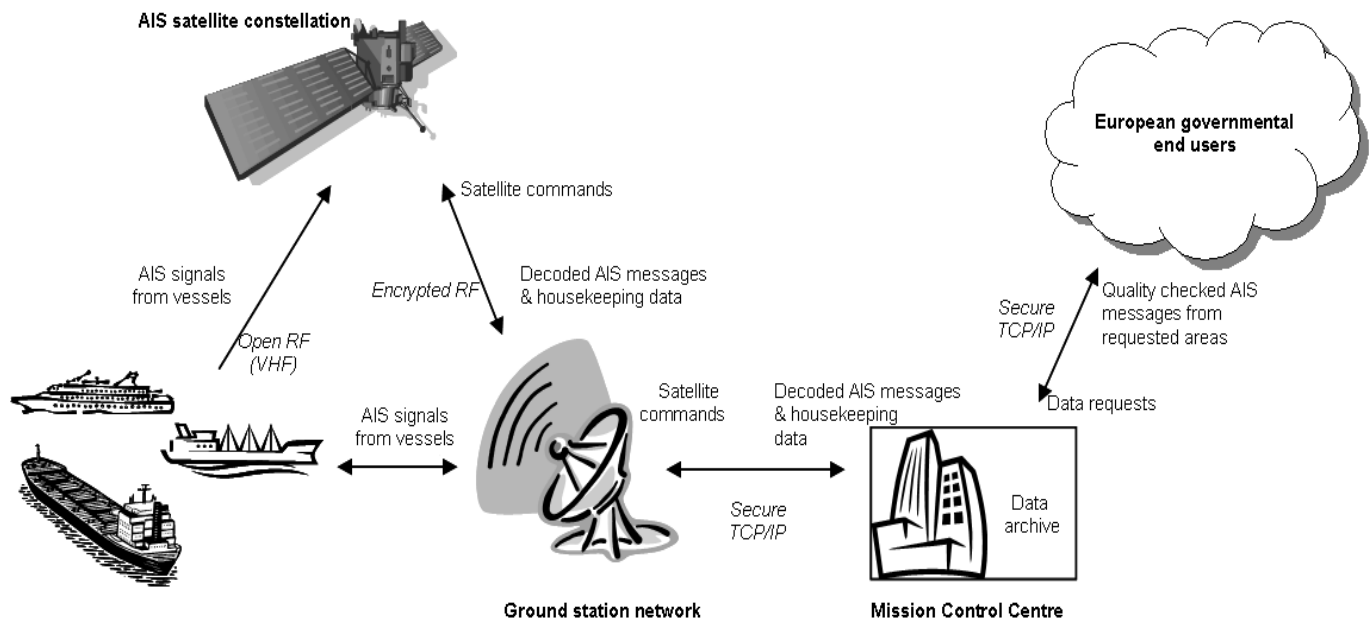
Πιο αναλυτικά, το σύστημα MF-TDMA αναπτύχθηκε για δορυφορικά τηλεπικοινωνιακά δίκτυα ζεύξεων μικρής χωρητικότητας, συνδυάζοντας τα καλύτερα στοιχεία των FDMA (Frequency Division Multiple Access και TDMA (Time Division Multiple Access) συστημάτων. Μελέτες έχουν δείξει ότι, όταν η ισχύς των πομπών σε ένα δορυφορικό δίκτυο είναι περιορισμένη και το δίκτυο αποτελείται από σταθμούς βάσης διαφορετικής ισχύος εκπομπής και με διαφορετικές απαιτήσεις για περιθώριο διαλείψεων, τότε τα MF-TDMA και FDMA συστήματα έχουν μεγαλύτερη διέλευση καναλιού συγκριτικά με το σύστημα TDMA. Η βελτίωση αυτή εξαρτάται από την ένταση της οπισθοσκέδασης (backoff) του δορυφορικού πομπού που απαιτείται ώστε να περιορίσει τα φαινόμενα ενδοδιαμόρφωσης σε χαμηλά επίπεδα αφού η κάτω ζεύξη του TDMA έχει παραμετροποιηθεί με βάση τον επίγειο σταθμό ασθενέστερης εκπομπής και το μεγαλύτερο περιθώριο διαλείψεων. Αντίθετα, στην περίπτωση που ο επίγειος σταθμός πρέπει να συνδεθεί με πολλούς σταθμούς ταυτόχρονα, η MF-TDMA τεχνολογία είναι αποδοτικότερη της FDMA, επειδή απαιτεί λιγότερους διαποδιαμορφωτές (modems).

Συνοπτικά, η χρήση ενός συστήματος MF-TDMA οδηγεί σε χαμηλότερα κόστη επίγειων σταθμών αφού απαιτεί λιγότερη ισχύ εκπομπής από ότι ένα σύστημα TDMA και λιγότερα modems σε σχέση με ένα FDMA. Παρόλο που ο αλγόριθμος ενός MF-TDMA συστήματος είναι αυξημένης πολυπλοκότητας, η τεχνολογία διατηρεί έναν υψηλό βαθμό ευελιξίας στην διαχείριση του καναλιού.

3.2.7 Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης - Automatic Identification System (AIS)

Το Σύστημα Αυτόματης Αναγνώρισης (AIS) είναι ένα αυτόματο σύστημα παρακολούθησης που χρησιμοποιείται σε πλοία και υπηρεσίες εξυπηρέτησης κυκλοφορίας πλοίων (VTS) με στόχο την ταυτοποίηση και τον εντοπισμό σκαφών με ηλεκτρονική ανταλλαγή

δεδομένων με άλλα κοντινά πλοία, σταθμούς βάσης AIS, και τους δορυφόρους. Όταν χρησιμοποιούνται δορυφόροι για την ανίχνευση υπογραφών AIS, χρησιμοποιείται ο όρος Satellite-AIS (S-AIS). Οι πληροφορίες που παρέχει το AIS βοηθούν το ναυτικό ραντάρ, το οποίο εξακολουθεί να είναι η κύρια μέθοδος αποφυγής μιας σύγκρουσης.



Σχήμα 3.19 : Διάγραμμα αρχιτεκτονικής του AIS

Οι πληροφορίες που παρέχονται από το σύστημα, όπως η μοναδική ταυτοποίηση, η θέση, η πορεία και η ταχύτητα, εμφανίζονται σε μία οθόνη. Το AIS έχει ως στόχο να βοηθήσει τους αξιωματικούς ενός σκάφους και να επιτρέψει στις ναυτιλιακές αρχές να παρακολουθούν και να ελέγχουν τις κινήσεις των πλοίων. Ενσωματώνει ένα τυποποιημένο πομποδέκτη υψηλής συχνότητας (Very High Frequency-VHF), ένα σύστημα εντοπισμού θέσης (GPS) και άλλους ηλεκτρονικούς αισθητήρες πλοήγησης (γυροσκοπική πυξίδα κ.α.). Τα σκάφη που είναι εξοπλισμένα με AIS πομποδέκτες μπορούν να παρακολουθούνται τόσο από τους σταθμούς βάσης AIS που βρίσκονται κατά μήκος των ακτών όσο και από παρακείμενα σκάφη. Για την επιτήρηση πλοιαρίων που βρίσκονται σε μακρινή απόσταση χρησιμοποιούνται ειδικά εξοπλισμένοι AIS δορυφόροι, ικανοί να απομπλέκουν και να διακρίνουν μεγάλο αριθμό φασματικών υπογραφών.

Τα περισσότερα σύγχρονα συστήματα AIS παρέχουν περιορισμένη κάλυψη κοντά σε ακτές και δεν είναι σε θέση να παρέχουν παγκόσμια κάλυψη ανοικτής θάλασσας. Με την ενσωμάτωση AIS αναμεταδοτών στο δίκτυο των buoys, αυξάνεται η χρησιμότητα του συστήματος AIS αφού έτσι αυξάνεται το εύρος κάλυψης της υπηρεσίας με εφαρμογές στην :

- Αποφυγή συγκρούσεων
- Παρακολούθηση και έλεγχο του αλιευτικού στόλου
- Ασφάλεια
- Πλοήγηση πλοίων και σκαφών
- Έρευνα και διάσωση
- Διερεύνηση Ατυχημάτων



Σχήμα 3.20 : Απεικόνιση πληροφοριών του AIS σε οθόνη πλοίου

3.2.8 Εφαρμογές και δυνατότητες απομακρυσμένης παρακολούθησης

Με την τεχνολογία των αισθητήρων να έχει εξελιχθεί σε μεγάλο βαθμό, σε συνδυασμό με την ολοένα και αυξανόμενη ενεργειακή αυτονομία των buoys λόγω των μικρογεννητριών ηλιακής, αιολικής και υδραυλικής ενέργειας, οι δυνατότητες της πλατφόρμας καλύπτουν ένα μεγάλο εύρος λειτουργιών όπως :

- On-demand θερμική απεικόνιση πραγματικού χρόνου
- On-demand σάρωση radar πραγματικού χρόνου
- Απευθείας πρόσβαση στα πραγματικού χρόνου δεδομένα οποιουδήποτε αισθητήρα
- Πρόσβαση και επεξεργασία παλαιότερων δεδομένων
- Συνεχής ροή δεδομένων από αισθητήρες για τον έλεγχο των συνόρων
- Ομαδοποίηση και παράλληλη επεξεργασία δεδομένων από διαφορετικά Smart Buoys για τη διαχείριση αποστολών έρευνας και διάσωσης
- Έλεγχο των θαλάσσιων συνόρων και έγκαιρη ενημέρωση σε περίπτωση εισβολής.



Σχήμα 3.21 : Απεικόνιση πραγματικού χρόνου βασισμένη στην τεχνολογία SONAR



Σχήμα 3.22 : Βίντεο πραγματικού χρόνου με ταυτόχρονη απεικόνιση θέσης και ταχύτητας

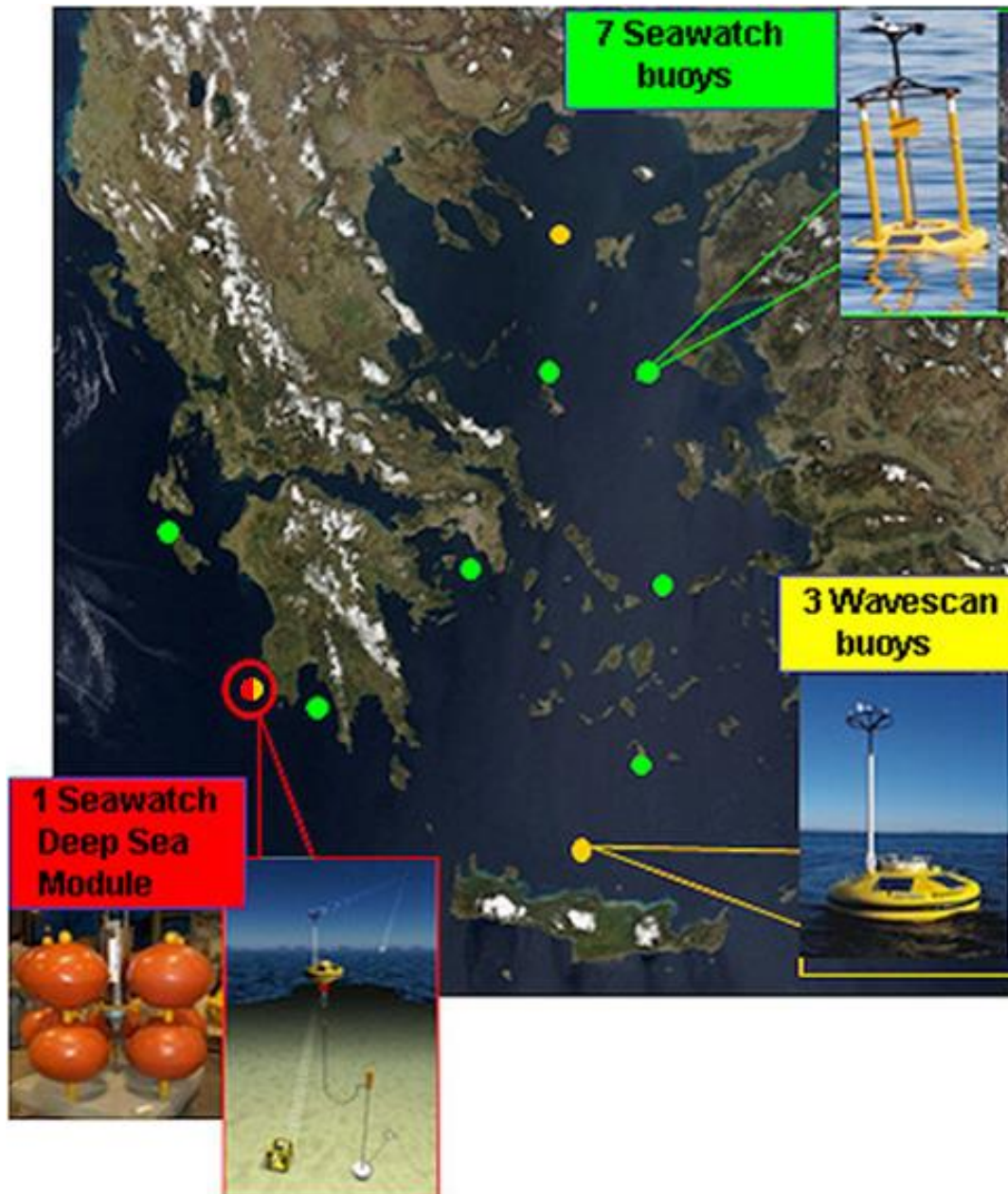
Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, ο κύριος περιορισμός ως προς το πλήθος λειτουργιών ενός βυογ είναι η ενεργειακή του αυτονομία. Όσο εξελιγμένη και αν είναι η τεχνολογία των μικρογεννητριών, η ταυτόχρονη λειτουργία πολλών λειτουργιών σε ένα βυογ απαιτεί μεγάλη κατανάλωση ενέργειας από τους αισθητήρες και υψηλή επεξεργαστική ισχύ για την ανάλυση των μετρήσεων. Ανάλογα με την υπηρεσία, κάθε βυογ εξοπλίζεται με διαφορετική γκάμα αισθητήρων. Όσο μεγαλύτερη η ενεργειακή αυτονομία του βυογ, τόσο περισσότερες υπηρεσίες μπορεί να υποστηρίξει.

Εφαρμογές	Αισθητήρες / Περιβαλλοντικοί παράγοντες
Έλεγχος ποιότητας νερού	Ρh, καθαρότητα, θερμοκρασία, διηθημένο οξυγόνο
Παρακολούθηση κυμάτων, ρευμάτων και παλίρροιας σε πραγματικό χρόνο για την έγκαιρη αντίδραση σε επείγον περιστατικό	Ταχύτητα, κατεύθυνση και ταυτοποίηση ανέμων, ρευμάτων Στάθμη νερού
Παρακολούθηση παράκτιας ρύπανσης πετρελαίου και φυσικού αερίου	Συγκέντρωση πετρελαίου και φυσικού αερίου στο νερό
Αποστολές έρευνας και διάσωσης	Διεύθυνση και ταχύτητα ανέμου, θερμοκρασία νερού, ταυτοποίηση ρευμάτων και κυμάτων, εντοπισμός
Ασφάλεια και έλεγχος συνόρων	Οπτικοακουστική παρακολούθηση επιλεγμένων περιοχών ενδιαφέροντος

Πίνακας 3.1 : Αντιστοιχία αισθητήρων με είδος υπηρεσίας

3.2.9 Smart Buoy στην Ελλάδα

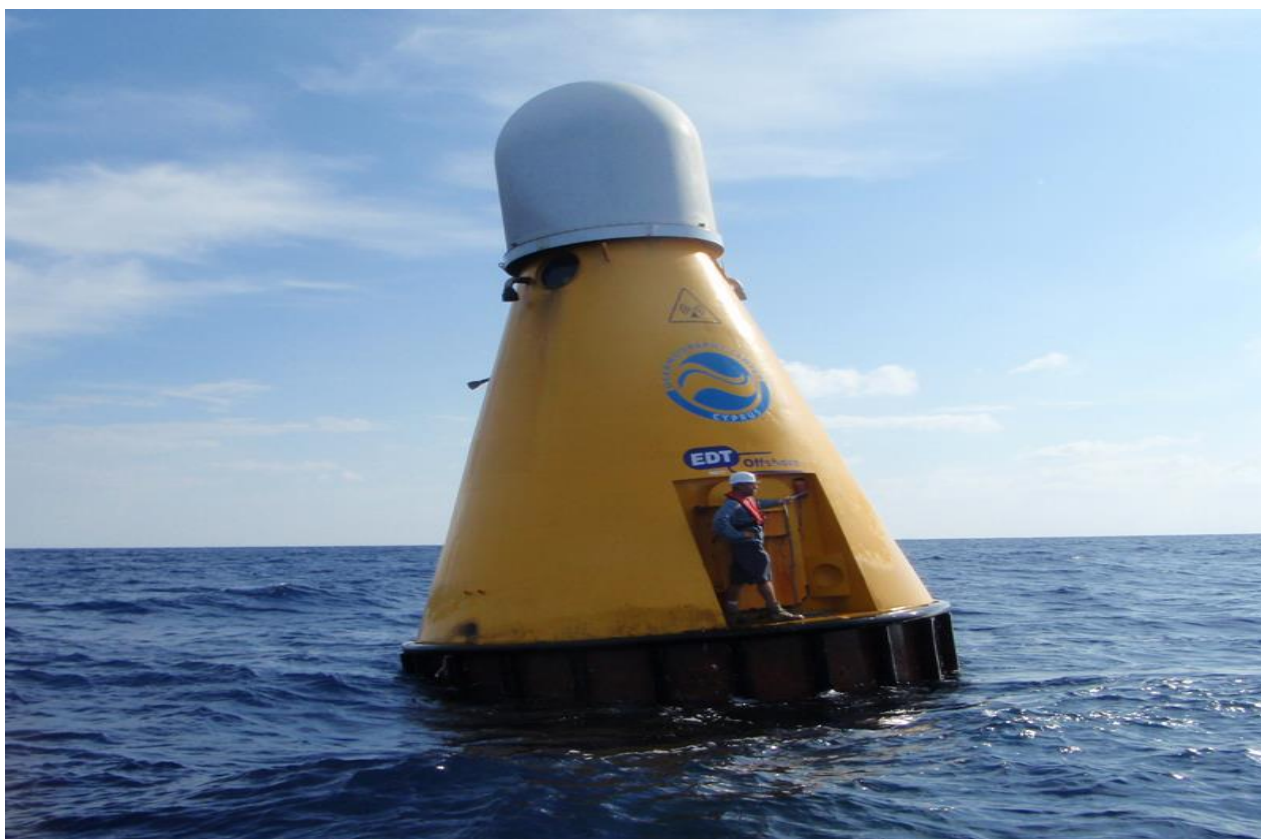
Αυτή τη στιγμή, στην Ελλάδα λειτουργούν 10 buoys σε Αιγαίο και Ιόνιο Πέλαγος ως τμήμα του προγράμματος Poseidon του Ελληνικού Κέντρου Θαλάσσιων Ερευνών. Από αυτά, τα επτά εστιάζουν στην παρακολούθηση και έλεγχο συνόρων, αλλά και στην παρακολούθηση κυμάτων, ρευμάτων και παλίρροιας για την έγκαιρη αντίδραση σε επείγον περιστατικό. Τα άλλα τρία, διαθέτουν αισθητήρες σάρωσης και εστιάζουν στον εντοπισμό εισβολέων ή ατυχημάτων. Ένα από αυτά τα τρία buoys διαθέτει και υποθαλάσσιους αισθητήρες που ελέγχουν την ποιότητα του νερού και διεξάγουν μετρήσεις για την έγκαιρη πρόβλεψη σεισμού.



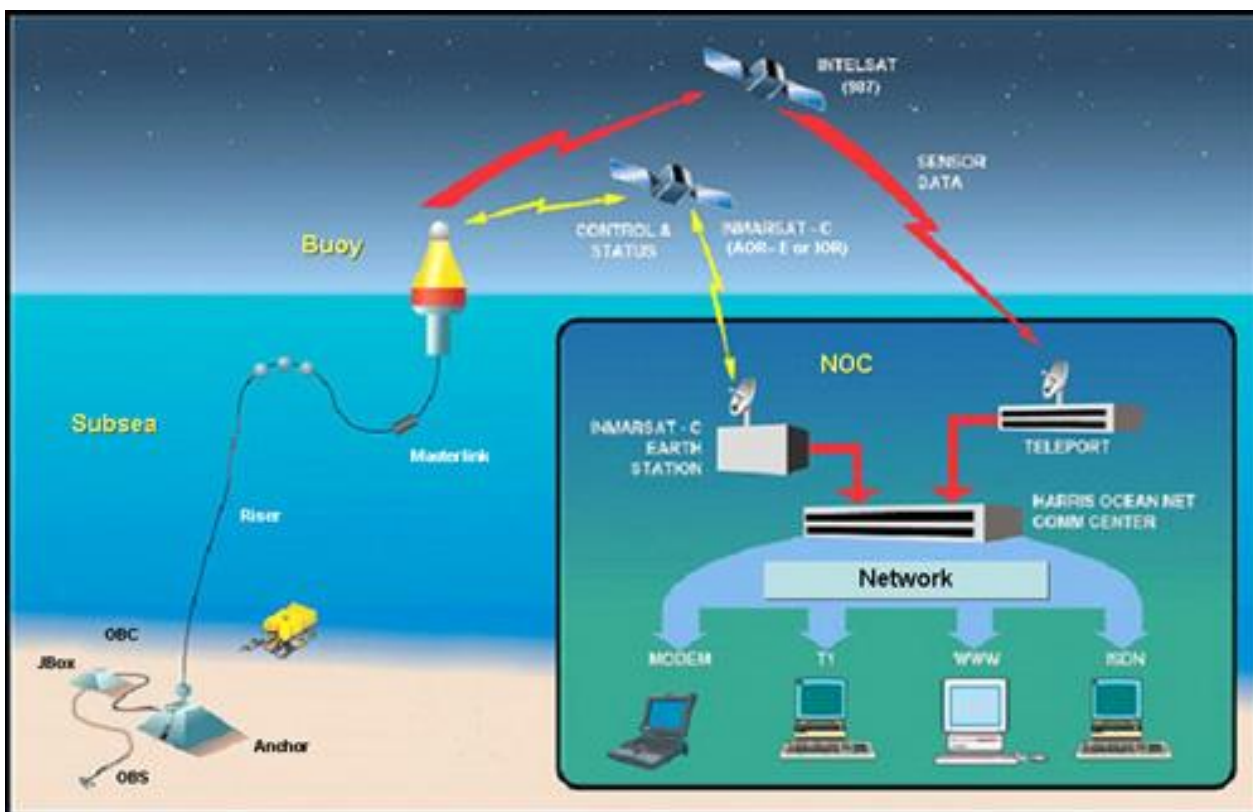
Σχήμα 3.23 : Γεωγραφική θέση των 10 buoys του προγράμματος Poseidon

3.2.10 Κυριότερα projects Smart Buoy εθνικής ασφάλειας

Στη συνέχεια, αναφέρονται συνοπτικά τα κυριότερα projects διαφορετικού τύπου Smart Buoy που αφορούν θέματα εθνικής ασφάλειας. Λόγω της υψηλής στρατιωτικής σημασίας της τεχνολογίας δεν έχουμε περισσότερες αναφορές και προδιαγραφές για τις εφαρμογές αυτές. Εντούτοις, η διασύνδεσή τους με το δίκτυο και η ενσωμάτωσή τους με άλλες υπηρεσίες είναι όμοια με αυτή που παρουσιάστηκε προηγούμενως.



Σχήμα 3.24 : Τυπική πλατφόρμα Smart Buoy



Σχήμα 3.25 : Απλοποιημένη απεικόνιση δικτύου Smart Buoy

Lawrence Livermore National Laboratory & Defense Threat Reduction Agency (LLNL – DTRA)

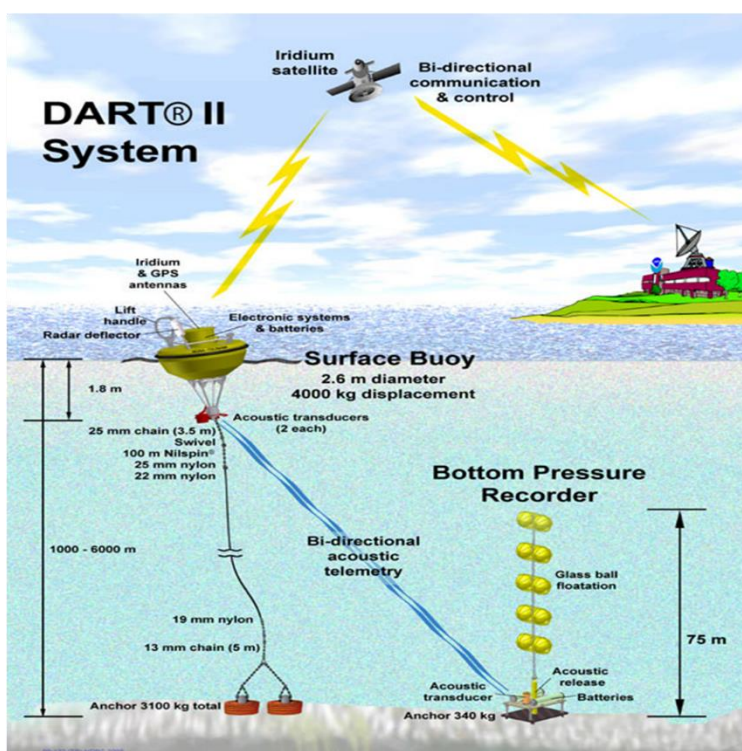
Κύριες λειτουργίες αυτής της πλατφόρμας που αποτελεί project της LLNL & DTRA είναι :

- Ο εντοπισμός πυρηνικών στοιχείων
- Ο εντοπισμός και έγκαιρη αντιμετώπιση τρομοκρατικών επιθέσεων με όπλα μαζικής καταστροφής
- Έχουν ενσωματωμένους αισθητήρες ακτινοβολίας και όπλων μαζικής καταστροφής
- Μεταβιβάζουν τα δεδομένα σε κέντρα ελέγχου και ομαδοποίησης

Smart Buoys Help Protect Submarine Base



Dart II Smart Buoy

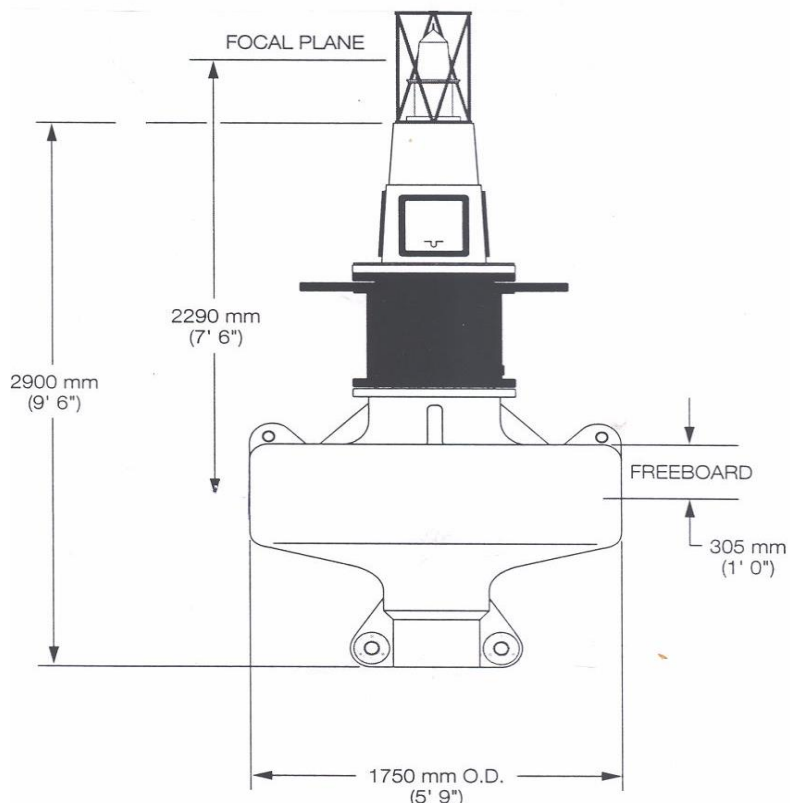


Κύρια χαρακτηριστικά :

- GPS και κεραία ιριδίου
- Εξοπλισμένο με SONAR για ακουστική τηλεμετρία
- Δυνατότητα αγκυροβόλησης μέχρι και σε βάθος 6000 m
- Μη εντοπίσιμο από Radar – Stealth τεχνολογία σε συνδυασμό με ανακλαστήρα

Royal Services Smart Buoy (Louisiana - Gulf of Mexico)

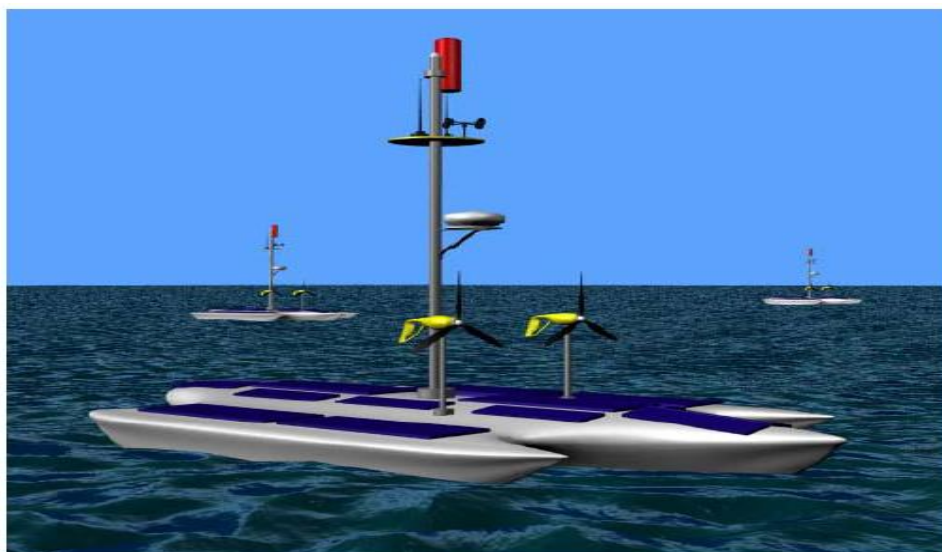
- Σχεδιασμένο ειδικά για αποστολές έρευνας και διάσωσης
- Σύστημα παρακολούθησης Εμπορίου και Διακίνησης λευκής σαρκός
- Παρακολούθηση Διακίνησης Ναρκωτικών
- Ομαδοποίηση και αποστολή δεδομένων στο κέντρο ελέγχου της ακτοφυλακής



Berkeley & Stanford Universities (main stakeholders)

Αποτελεί ένα συνδυασμό της τεχνολογίας των Smart Buoys με αυτή των μη επανδρωμένων σκαφών θαλάσσης. Επιπροσθέτως, δεν έχει πλέον παθητικό ρόλο στην άμυνα μιας χώρας καθώς μπορούν να λειτουργούν και σαν όπλα. Συνοπτικά :

- Αυτο-τοποθετούμενα
- Αυτοκινούμενα
- Ενεργειακά αυτόνομα
- Μηδενική ανάγκη για συντήρηση
- Έλεγχος μέσω δορυφόρου
- Δυνατότητα εξοπλισμού με οπλισμό πέραν των αισθητήρων



3.2.11 Οικονομικά μεγέθη

Πρόσφατες οικονομικές μελέτες του Hellas-Sat έδειξαν ότι κάθε σκάφος της ακτοφυλακής που χρησιμοποιείται για περιπολία και φύλαξη των συνόρων κοστίζει 1000 € ανά ημέρα. Στην Ελλάδα, λόγω της πληθώρας των νησιών και ακτών αλλά και του ότι σε μεγάλο βαθμό τα σύνορά μας είναι θαλάσσια, η ασφάλεια και περιφρούρηση είναι καίριας σημασίας. Με μία πολύ ρεαλιστική εκτίμηση, στην Ελλάδα λειτουργούν τουλάχιστον 100 σκάφη περιπολίας. Με λειτουργικό κόστος εκάστου εξ αυτών ίσο προς 1000 € την ημέρα, το συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος ανέρχεται σε 36.500.000 €. Το ποσό ανεβαίνει πολύ αν συνυπολογιστούν τα κόστη αγοράς των σκαφών και εξοπλισμού των σταθμών βάσεων, αλλά και αυτά της πρόσληψης και εκπαίδευσης του απαραίτητου προσωπικού για τη λειτουργία τους.

Η προτεινόμενη λύση με την τεχνολογία των Smart Buoy κοστίζει :

	Αξία μονάδας (€)	Παράγοντες κόστους
Βουογ	30.000-200.000	Ωφέλιμο φορτίο, μέγεθος, πλήθος και είδη αισθητήρων, ρυθμός μετάδοσης ψηφίου (bit ratio)
USV/UAV	500.000 – μερικά εκατομμύρια	Αρχιτεκτονική και τρόπος διασύνδεσης του δικτύου
Κέντρο ελέγχου	50.000-500.000	Κτήριο, επίγειος δορυφορικός πομπός, προσωπικό, ενεργειακή αυτονομία
Δορυφορικό τερματικό θαλάσσης	3.000-20.000	Η απόσταση του δορυφόρου, μέγεθος κεραίας, τεχνολογία του modem, απαιτήσεις πελατών
Gateway/Hub	50.000-500.000	Τεχνολογία, άδειες, επεξεργαστική ισχύς, routers, βαθμός συμπίεσης
Εύρος MHz	2.000-4.000 /μήνα / 25 buoys	Δορυφορική ισχύς, βαθμός συμπίεσης, κάλυψη υπηρεσίας, διαθέσιμο φάσμα, Quality of Service, διάρκεια δέσμευσης καναλιού από κάθε buoy
Χωρητικότητα Mbps	Περίπου 3.000 /μήνα / 25 buoys	Τη συμφωνία του επιπέδου της υπηρεσίας (Service Level Agreement – SLA), τη διαθεσιμότητα της υπηρεσίας, διάρκεια κατάληψης και αξιοπιστία του δικτύου, απαιτήσεις του χρήστη

Από τα παραπάνω κόστη, μόνο το κόστος της χωρητικότητας του καναλιού είναι λειτουργικό, αφού οι πλατφόρμες των buoys και τα μη επανδρωμένα οχήματα είναι ενεργειακά αυτόνομα, και ανέρχεται στις 36.000 € / έτος /25 buoys. Με το ετήσιο λειτουργικό κόστος των σκαφών περιπολίας να ανέρχεται σε 36.500.000, ενδεχόμενη εγκατάσταση ενός δικτύου από buoys εξοικονομεί εκατομμύρια ευρώ το χρόνο. Με μία απόλυτα ασφαλή εκτίμηση, η Ελλάδα για την υλοποίηση ενός δικτύου επιτήρησης συνόρων χρειάζεται 100 buoys, 10 μη επανδρωμένα οχήματα, 10 hubs και 5 κέντρα ελέγχου.

	Αξία μονάδας (€)	Πλήθος	Κόστος (€)
Buoys	200.000	100	20.000.000
USVs / UAVs	1.000.000	10	10.000.000
Κέντρα ελέγχου	500.000	5	2.500.000
Δορυφορικά τερματικά θαλάσσης	20.000	100	2.000.000
Hubs	500.000	10	5.000.000
Χωρητικότητα καναλιών	3.000 / μήνα /25 buoys	4	12.000 / μήνα
Συνολικό σταθερό κόστος δικτύου			39.500.000
Συνολικό ετήσιο λειτουργικό κόστος			144.000

Πίνακας 3.2 : Ανάλυση κόστους δικτύου buoy

Η υλοποίηση αυτού του δικτύου εξασφαλίζει 24ωρη παντός καιρού αξιόπιστη υπηρεσία ασφάλειας και επιτήρησης πραγματικού χρόνου των θαλάσσιων συνόρων της Ελλάδας. Παρέχει τη δυνατότητα γρήγορης αντίδρασης και αντιμετώπισης περιπτώσεων ξένης εισβολής, διακίνησης ναρκωτικών και λευκής σαρκός, λαθρεμπορίου, ατυχημάτων και επικείμενης σύγκρουσης πλοίων. Παράλληλα, ελαχιστοποιεί τον κίνδυνο ανθρώπινου τραυματισμού αφού το ανθρώπινο δυναμικό της υπηρεσίας εμπλέκεται στο εκάστοτε περιστατικό καλά προετοιμασμένο από τις πληροφορίες που προσφέρει το δίκτυο.

Τέλος, καίτοι το κόστος εγκατάστασης του προαναφερθέντος δικτύου είναι υψηλό (39.500.000 €), το ετήσιο οικονομικό όφελος από ενδεχόμενη εγκατάσταση του δικτύου

ανέρχεται στα 36.356.000 € (36.5000.000 € – 144.000 €). Το οικονομικό όφελος από τα ετήσια λειτουργικά κόστη της εφαρμοζόμενης και της προτεινόμενης πολιτικής είναι τόσο υψηλό που η απόσβεση του κόστους εγκατάστασης των buoys γίνεται σε σχεδόν ένα χρόνο.

3.2.12 Πίνακας Ακρωνυμίων

USV	Unmanned Surface Vehicle	Μη επανδρωμένα σκάφη
UAV	Unmanned Aerial Vehicle	Μη επανδρωμένα αεροσκάφη
QoS	Quality of Service	Ποιότητα υπηρεσίας
SCPS	Space Communications Protocol Specifications	Προδιαγραφές πρωτοκόλλου για δορυφορικές επικοινωνίες
FTP	File Transfer Protocol	Πρωτόκολλο μεταφοράς πακέτου
TCP	Transmission Control Protocol	Πρωτόκολλο ελέγχου μετάδοσης
IPSec	Internet Protocol Security	Πρωτόκολλο ασφάλειας Internet
DVB	Digital Video Broadcasting	Ευρεεκτομπί ψηφιακού βίντεο
MPEG	Moving Pictures Experts Group	Ομάδα προδιαγραφών κινούμενης εικόνας
FWD	Forward link	Ζεύξη προώθησης εντολών
RTN	Return link	Ζεύξη πρόσληψης δεδομένων
ATM	Asynchronous Transfer Mode	Τρόπος ασύγχρονης μετάδοσης
SDH	Synchronous Digital Hierarchy	Πρωτόκολλο σύγχρονης ψηφιακής ιεραρχίας
MF-TDMA	Multi-Frequency Time Division Multiple Access	Χρονοδιαμετρική πολλαπλή πρόσβαση πολλαπλών συχνοτήτων
GSM	Global System for Mobile	Παγκόσμιο σύστημα κινητής τηλεφωνίας
WiMax	Worldwide Interoperability for Microwave Access	Παγκόσμια διαλειτουργικότητα για μικροκυματική πρόσβαση
AIS	Automatic Identification System	Σύστημα αυτόματης ταυτοποίησης

Πίνακας 3.3 : Αντιστοιχίες ακρωνυμίων κεφαλαίου

4 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 - ΣΥΣΤΗΜΑ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ – SYSTEM OF SYSTEMS (SoS)

4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι μεταβαλλόμενες και εξελισσόμενες περιπτώσεις απειλής αυξάνουν την ανάγκη για ευελιξία και προσαρμοστικότητα στον τρόπο που οι χώρες υλοποιούν και διαχειρίζονται τα αμυντικά τους συστήματα. Το σύστημα των Smart Buoy, των μη επανδρωμένων οχημάτων και των δορυφόρων που περιγράφηκε, ενσωματώνει διαφορετικές τεχνολογίες και υπηρεσίες σε ένα ευρύτερο σύστημα, σε ένα σύστημα συστημάτων. Η έννοια του «συστήματος συστημάτων» είναι μια κρίσιμη προοπτική όσο αφορά τον τρόπο σκέψης σχετικά με τα υπάρχοντα και μελλοντικά συστήματα.

Ένα Σύστημα Συστημάτων (System of Systems – SoS) είναι μια συλλογή από ειδικά προσανατολισμένα αυτόνομα συστήματα, που συγκεντρώνουν τους πόρους και τις ικανότητες τους με στόχο τη δημιουργία ενός πολυπλοκότερου συστήματος με μεγαλύτερο εύρος λειτουργιών και αυξημένες επιδόσεις σε σχέση με το άθροισμα των συνιστωσών του. Σήμερα, τα SoS αποτελούν ένα κρίσιμο ερευνητικό τομέα για τον οποίο τα πλαίσια αναφοράς, οι διαδικασίες εξέλιξης και επεξεργασίας, οι ποσοτικές αναλύσεις, τα εργαλεία και οι μέθοδοι σχεδιασμού είναι ακόμα ασαφείς. Η διαδικασία του καθορισμού ενός συστήματος, της εξαγωγής συμπερασμάτων, της μοντελοποίησης του συστήματος και της ανάλυσης των προβλημάτων συνήθως αναφέρεται ως μηχανική συστήματος συστημάτων (system of systems engineering).

Η μηχανική SoS ασχολείται με την ανάλυση, το σχεδιασμό, την οργάνωση και την ενσωμάτωση των δυνατοτήτων ενός μίγματος είτε υφιστάμενων είτε νέων συστημάτων σε ένα SoS με δυναμική μεγαλύτερη από το άθροισμα των δυνατοτήτων των συνιστώντων τμημάτων. Συνεπώς με το όραμα μεταμόρφωσης των συστημάτων και επιτρέποντας δικτυοκεντρωμένες πράξεις (NetworkCentric Operations-NCO), ένα SoS μπορεί να δημιουργηθεί συνδυάζοντας πολλαπλά συνεργατικά ή και αυτόνομα συστήματα. Ενώ τα μεμονωμένα συστήματα που αποτελούν ένα σύστημα συστημάτων μπορεί να είναι πολύ διαφορετικά και να λειτουργούν ανεξάρτητα, οι αλληλεπιδράσεις τους συνήθως εμφανίζουν και προσφέρουν σημαντικές αναδυόμενες ιδιότητες. Αυτά τα αναδυόμενα πρότυπα έχουν μια εξελισσόμενη φύση, την οποία οι ενδιαφερόμενοι για τα προβλήματα αυτά φορείς πρέπει να αναγνωρίσουν, να αναλύσουν και να κατανοήσουν.

4.2 ΤΥΠΟΙ SoS ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

Τα περισσότερα στρατιωτικά συστήματα σήμερα είναι μέρος ενός SoS ακόμη και αν δεν αναγνωρίζονται ρητά ως τέτοια. Για παράδειγμα, τα Υπουργεία Άμυνας κάθε χώρας, λειτουργικά, ενεργούν ως SoS με τους στρατιωτικούς διοικητές να συντονίζουν τις δυνάμεις τους και τα συστήματα (π.χ., τα όπλα, τους αισθητήρες, τις πλατφόρμες) για να επιτευχθεί ένας

στρατιωτικός στόχος. Σήμερα, ένα SoS μπορεί να λάβει διάφορες μορφές που βασίζονται σε αναγνωρισμένη ταξινόμηση SoS. Υπάρχουν τέσσερις μορφές SoS :

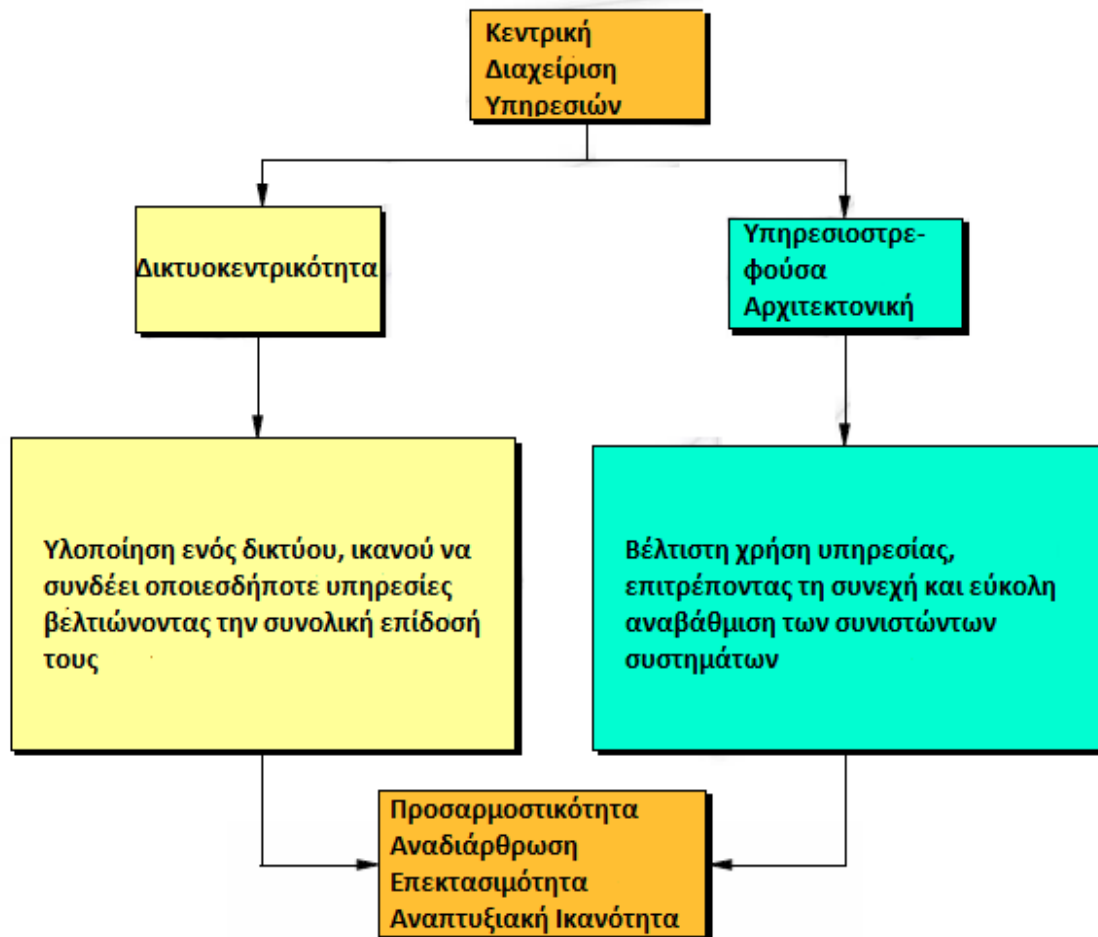
- Εικονική. Στην εικονική μορφή SoS λείπει μια κεντρική αρχή διαχείρισης και ένας κεντρικά συμφωνηθείς σκοπός.
- Συνεργατική. Σε συνεργατικά SoS τα συστατικά συστήματα αλληλεπιδρούν για να εκπληρωθούν οι συμφωνηθέντες στόχοι. Το Διαδίκτυο είναι ένα συλλογικό σύστημα. Οι κεντρικοί φορείς αποφασίζουν συλλογικά για το πώς να παρέχουν ή να αρνηθούν υπηρεσία, παρέχοντας έτσι κάποια μέσα επιβολής και διατήρησης των προτύπων.
- Καθοδηγούμενη. Καθοδηγούμενα SoS είναι εκείνα στα οποία τα ολοκληρωμένο σύστημα συστημάτων είναι δομημένο και ελεγχόμενο με στόχο να εξυπηρετήσει ειδικούς σκοπούς. Είναι κεντρικά διαχειριζόμενο κατά τη διάρκεια μακροπρόθεσμης λειτουργίας ώστε να εκπληρώνει και να συνεχίζει να εκπληρώνει τους ειδικούς σκοπούς, καθώς και όποιους νέους οι διαχειριστές του συστήματος επιθυμήσουν. Τα συνιστώσα συστήματα διατηρούν την ικανότητα να λειτουργούν ανεξάρτητα, αλλά η κανονική κατάσταση λειτουργίας τους υπάγεται στην κεντρική διαχείριση.
- Διακριτή. Τα διακριτά SoS έχουν αναγνωρίσει τους στόχους, έχουν ορίσει κεντρικό διαχειριστή και έχουν συγκεκριμένους πόρους. Ωστόσο, τα συστατικά συστήματα διατηρούν την ανεξάρτητη διαχείριση, τους στόχους, τη χρηματοδότηση, την ανάπτυξη και ξεχωριστή προσέγγιση. Οι αλλαγές στα συστήματα βασίζονται στη συνεργασία μεταξύ του SoS και το κάθε συνιστών σύστημα. Το SoS των Buoy / UAVs / USVs είναι ένα διακριτό SoS. Τυπικά, σε ένα διακριτό SoS η προσοχή επικεντρώνεται στα θέματα διαχείρισης που προκύπτουν από την επικάλυψη αρμοδιοτήτων λήψης αποφάσεων και όχι στις τεχνικές επιπτώσεις στη μηχανική του συστήματος.

4.3 ΔΙΚΤΥΟΚΕΝΤΡΙΚΟΤΗΤΑ

Δικτυοκεντρικότητα ορίζεται ως η ικανότητα προσφοράς ενός πλαισίου λειτουργίας για την πλήρη ανθρώπινη και τεχνική διαλειτουργικότητα που (1) επιτρέπει σε όλους τους χρήστες-εταίρους να μοιράζονται τις πληροφορίες που χρειάζονται, όταν τις χρειάζονται, σε απλή κατανοητή μορφή και να ενεργούν με ασφάλεια ως προς την εγκυρότητα της πληροφορίας, και (2) προστατεύει τις πληροφορίες από εκείνους που δεν πρέπει να τις έχουν. Το όραμα της δικτυοκεντρικότητας είναι να αξιοποιήσει τη δύναμη της πληροφορίας και της σύνδεσης με το δίκτυο για όλους τους εξουσιοδοτημένους χρήστες.

Η δικτυοκεντρική (Net-Centric-NC) στρατηγική δεδομένων, καθιερώνει τη χρήση των κοινοτήτων ενδιαφέροντος για την επίλυση δεδομένων υψηλής προτεραιότητας, πληροφορίες και ζητήματα που αντιμετωπίζουν οι υπηρεσίες ασφαλείας (πχ Υπουργεία Αμυνας, Υπηρεσία Εθνικής Ασφαλείας). Επιπλέον, η Net-Centric στρατηγική υπηρεσιών θεσπίζει τον στόχο για την εύκολη και άμεση ανταλλαγή πληροφοριών ανάμεσα στα συνιστώσα τμήματα ενός SoS. Θεμελιώδης αρχή της επικοινωνίας των υπηρεσιών είναι η απεικόνιση των πληροφοριών και των

εντολών της κεντρικής διαχείρισης μέσω μιας καλά καθορισμένης πλατφόρμας. Η πλατφόρμα επικοινωνίας των συνιστώντων του SoS είναι ανεξάρτητη από την λειτουργία της υπηρεσίας. Αυτή η τακτική οδηγεί σε πολύ πιο χαλαρή σύζευξη των συστημάτων ενός SoS και επιτρέπει σχετικά αυτόνομη εξέλιξη των συνιστώντων συστημάτων.



Σχέδιο 4.1 : Διάγραμμα Δικτυοκεντρικού Συστήματος

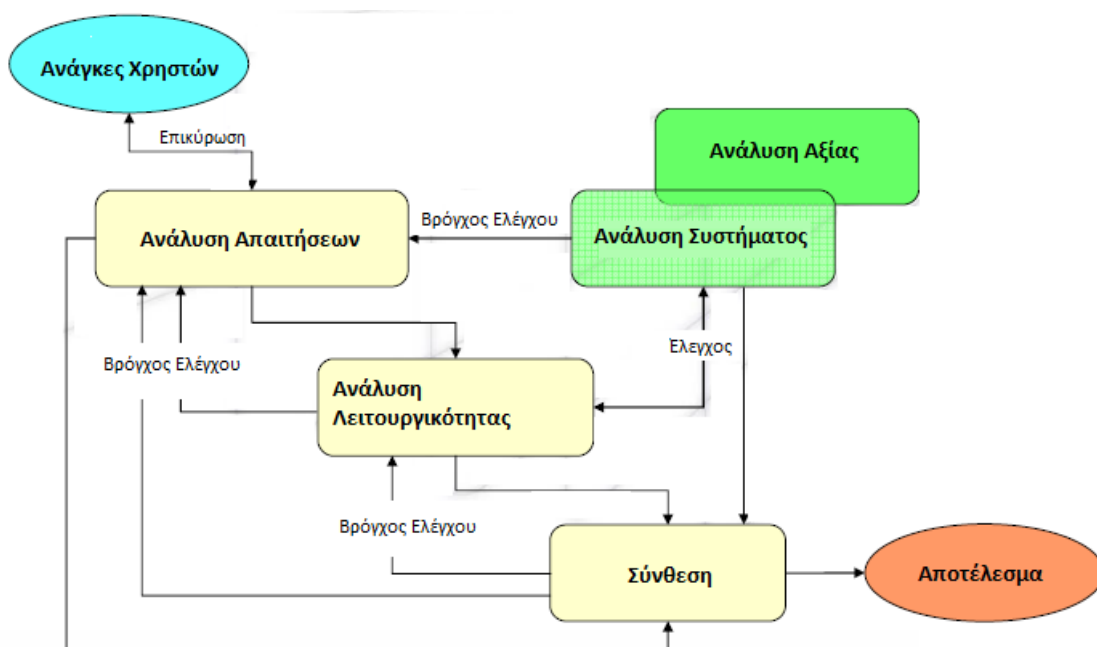
4.4 ΔΙΑΧΕΙΡΗΣΗ ΚΑΙ ΕΠΙΒΛΕΨΗ

Η διακυβέρνηση ενός SoS είναι πολύπλοκη. Περιλαμβάνει το σύνολο των θεσμών, των δομών της εξουσίας και τη συνεργασία που απαιτείται για την κατανομή των πόρων και τον συντονισμό της υπηρεσίας. Η αποτελεσματική διακυβέρνηση του SoS είναι κρίσιμη για την ενοποίηση των προσπαθειών πολλών ανεξάρτητων προγραμμάτων και συστημάτων σε ένα SoS. Καίτοι το SoS έχει διαχειριστή και πόρους που διατίθενται για τους στόχους του, τα συστήματα του SoS συνήθως έχουν και αυτά τους δικούς τους διαχειριστές, χορηγούς, χρηματοδότηση, μηχανικούς συστημάτων, και ανεξάρτητα προγράμματα ανάπτυξης. Επιπλέον, ορισμένα συστήματα μπορεί να συμμετέχουν σε πολλαπλά SoS. Κατά συνέπεια, η διαχείριση της υλοποίησης ενός SoS θα γίνει αναγκαστικά σε συνεργατική φύση.

4.5 ΥΛΟΠΟΙΗΣΗ

Η υλοποίηση ενός SoS έχει στόχο να δημιουργήσει λειτουργική ικανότητα πέραν εκείνης που τα συστήματα μπορούν να παρέχουν ανεξάρτητα. Αυτό μπορεί να δημιουργήσει νέες απαιτήσεις από τα συνιστώσα συστήματα, οι οποίες δεν είχαν ληφθεί υπόψη στα επιμέρους σχέδια τους, για τη λειτουργία τους ή τον τρόπο ανταλλαγής δεδομένων με άλλες υπηρεσίες. Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι νέες αυτές απαιτήσεις μπορούν να έρχονται σε αντίθεση με τους αρχικούς στόχους των επιμέρους συστημάτων.

Το περιβάλλον για την υλοποίηση ενός ενιαίου συστήματος εστιάζει συνήθως στον κύκλο ζωής του συστήματος εναρμονισμένο με συγκεκριμένες απαιτήσεις. Γενικά, είναι δυνατόν να υποβληθεί ολόκληρο το σύστημα για δοκιμή και αξιολόγηση, ή τουλάχιστον τα υποσυστήματα που σχετίζονται με την καθορισμένη αποστολή και συγκεκριμένες απαιτήσεις.



Σχήμα 4.2 : Διάγραμμα Διαδικασίας Υλοποίησης ενός SoS

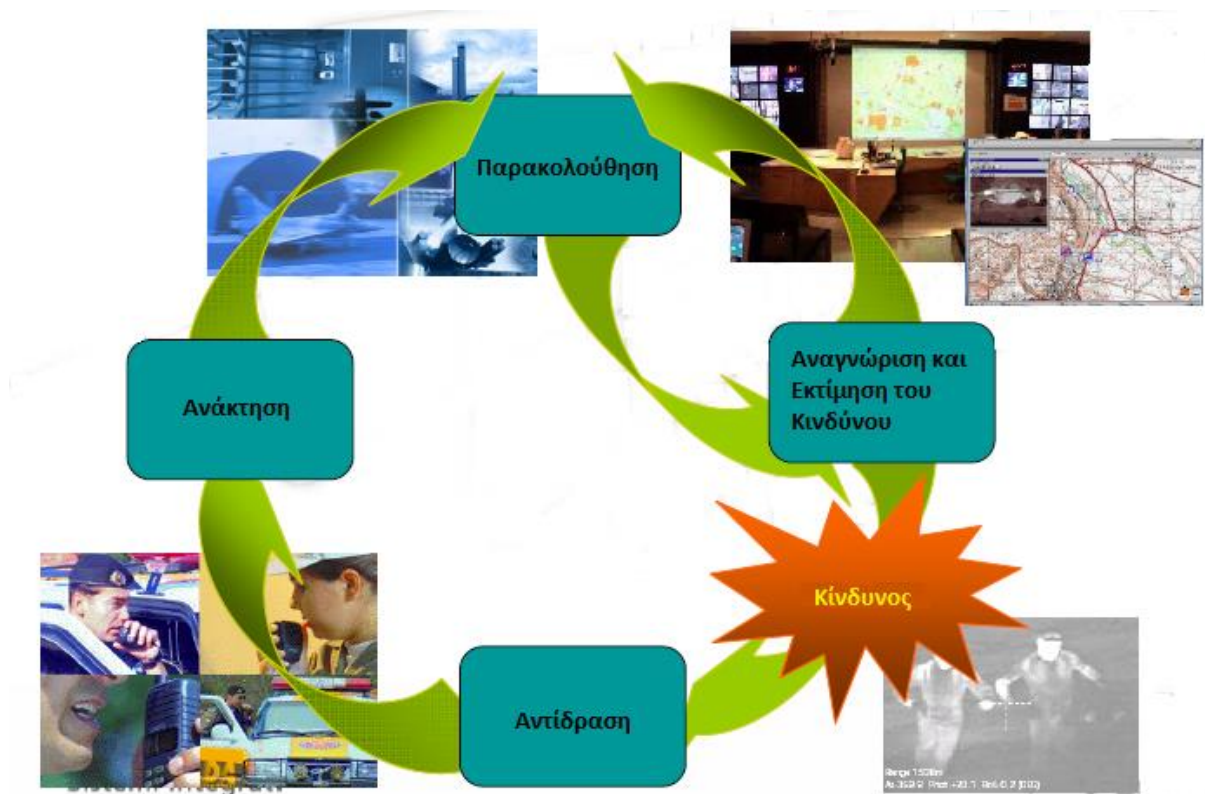
Τυπικά, ένα SoS περιλαμβάνει πολλαπλά συστήματα που μπορεί να είναι σε διαφορετικά στάδια ανάπτυξης. Το SoS μπορεί να περιλαμβάνει αναπτυξιακά συστήματα νέας τεχνολογίας, προγράμματα παράτασης διάρκειας ζωής, και συστήματα που σχετίζονται με άλλες πρωτοβουλίες. Ο διαχειριστής ενός SoS και ο μηχανικός συστημάτων πρέπει να μπορούν να επεκτείνουν ή να επαναπροσδιορίσουν τις διαδικασίες υλοποίησης ώστε φιλοξενηθούν οι ιδιαιτερότητες των επιμέρους συστημάτων. Είναι ο ρόλος του μηχανικού συστημάτων SoS να καθοδηγήσει τα εξελισσόμενα σχέδια και αναπτυξιακές προτεραιότητες των συνιστώντων συστημάτων του SoS, και παράλληλα να οργανώσει την εξέλιξη του SoS.

Η απόδοση ενός SoS δεν εξαρτάται μόνο από την απόδοση των συνιστώντων συστημάτων, αλλά και από την από άκρο-σε-άκρο συμπεριφορά τους. Για την σωστή λειτουργία

του SoS, τα συνιστώσα συστήματα πρέπει να εργαστούν από κοινού για την επίτευξη της αναγκαίας από άκρο-σε-άκρο απόδοσης. Αρχικά, πρέπει να προσδιοριστούν οι απαιτήσεις από το νέο SoS και στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν οι εν λόγω απαιτήσεις ώστε να επιλέχθούν τα συστήματα που αναμένεται να συνεισφέρουν στις δυνατότητες του SoS. Κατά συνέπεια, σε ένα SoS, είναι σημαντικό να προσδιοριστεί εκείνο το κρίσιμο σύνολο συστημάτων που επηρεάζουν την ικανότητα επίτευξης των στόχων του SoS και να μελετηθούν οι μεταξύ τους σχέσεις. Αυτό είναι ιδιαίτερα σημαντικό, διότι τα συνιστώσα συστήματα ενός SoS τυπικά θα έχουν διαφορετικούς διαχειριστές και υποστήριξη διαφορετικών οργανωτικών δομών πέρα από του SoS.

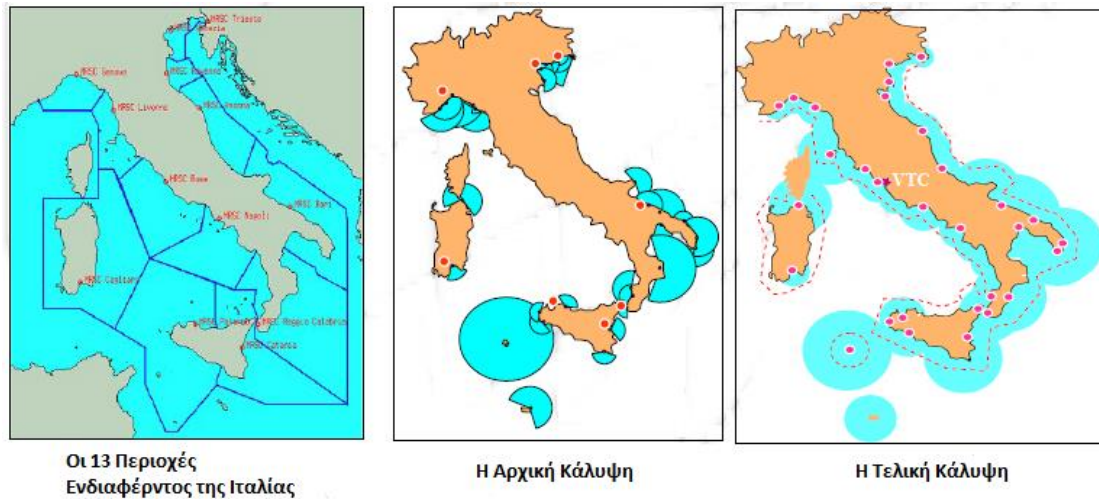
4.6 SoS ΕΠΙΤΗΡΗΣΗΣ ΘΑΛΑΣΣΙΩΝ ΣΥΝΟΡΩΝ

Σήμερα, το ενδιαφέρον για τα SoS εστιάζεται κυρίως σε τομείς εθνικής ασφαλείας και παρακολούθησης λόγω των αυξημένων λειτουργιών τους και της δυνατότητας που παρέχουν για άμεση και γρήγορη αντίδραση σε καταστάσεις απειλής. Πρόσφατα, η Ευρωπαϊκή Ένωση συμφώνησε στην ιδιαίτερη σημασία εξέλιξης τέτοιων συστημάτων για την καλύτερη επιτήρηση της Μεσογείου. Κυριότερα από αυτά είναι τα : AMASS, SAMURAI, SEABILLA, PERSEUS, WIMMAS. Κατά τη μεγαλύτερη πλειοψηφία τους, τα προγράμματα αυτά υιοθετούν την τεχνολογία των Smart Buoy σε συνδυασμό με μη επανδρωμένα οχήματα λόγω των υψηλών επιδόσεων τους, της αυτονομίας τους και του μεγάλου εύρους λειτουργιών τους.



Σχήμα 4.3 : Στάδια στη «ζωή» ενός SoS ασφαλείας

Στη συνέχεια, μέσω ενός υποθετικού σεναρίου, παρουσιάζεται η λειτουργία του SoS ασφάλειας θαλάσσιων συνόρων της Ιταλίας, το οποίο βασίζεται στο προαναφερθές δίκτυο λειτουργιών. Με το σύστημα αυτό, η Ιταλία, βελτίωσε σημαντικά τον χρόνο αντίδρασης της στις θαλάσσιες απειλές, την έκταση του υπό επιτήρηση θαλάσσιου χώρου της καθώς και τα ποσοστά επιτυχούς αντιμετώπισης της εκάστοτε απειλής (από 80% σε 99%).



Σχήμα 4.4 : Θαλάσσιος χώρος Ιταλίας και κάλυψη πριν και μετά την εφαρμογή του SoS

4.6.1 Παράδειγμα αντιμετώπισης απειλής από το SoS ασφαλείας της Ιταλίας

Στάδιο 1^ο : Ανίχνευση μέσω της τεχνολογίας των Smart Buoyς ενός νέου άγνωστου πλοιαρίου



Στάδιο 2° :

- Έναρξη της διαδικασίας ταυτοποίησης άγνωστου αντικειμένου
- Αποστολή μιας αίτησης ταυτοποίησης στην οποία ο στόχος δεν απαντά



Στάδιο 3° : Μεταβιβάζεται αίτημα από τα κεντρικά του SoS σε σύστημα εναέριας υπηρεσίας (διαφορετική από αυτή των Buoy) για την έναρξη αποστολής ταυτοποίησης

HOOK			
ID			
C.S.			
TYPE			
COMPANY		NATIONALITY	
LENGTH		DRAUGHT	
WIDTH		HEIGHT	
COURSE	273°	SPEED	12 kts
HEADING		ANCHORAGE	
POSITION	N26°31'58" LAT - E52°54'57" LON		

Στάδιο 4^ο : Από την μεριά τους οι διαχειριστές της εναέριας υπηρεσίας λαμβάνουν το αίτημα και αναθέτουν την αποστολή σε ένα από τα διαθέσιμα μη επανδρωμένα οχήματα ανάλογα με την απόστασή τους από τον στόχο.

AIR Support Request

TARGET ID

SEARCH & RESCUE

SURVEY

THREAT COURSE 273° - THREAT SPEED 12 kts

THREAT POSITION N25°31'58" LAT - E52°54'57" LON

TIME TO INFRINGEMENT 240 MIN

ACK STATUS → SEND

THREAT

AIR Support Availability

HELOs	STATUS	LAT LON	AUTONOMY	TIME TO TARGET
1	ON DUTY	N24°44'30" E50°54'28"	300 NM	—
2	IN FLIGHT	N25°19'51" E51°40'54"	280 NM	40 MIN
3	READY 8 MIN	N25°15'50" E51°33'58"	400 NM	52 MIN

COURSE 273° SPEED 12 kts

POSITION N25°31'58" LAT - E52°54'57" LON


TIME TO INFRINGEMENT 240 MIN


ACK STATUS → SEND


Στάδιο 5° : Το μη επανδρωμένο αεροσκάφος πραγματοποιεί μια οπτική επιθεώρηση του στόχου και επιστρέφει εικόνα ή βίντεο (ανάλογα τι ζητηθεί από τον διαχειριστή).



AIR Support Identification Message

ID	UNKNOW	
C.S.	UNKNOW	
TYPE	FISHING	
COMPANY		NATIONALITY
LENGTH	18 mt	DRAUGHT
WIDTH		HEIGHT
COURSE	242°	SPEED 12 kts
POSITION	N25°27'43" LAT - E52°15'50" LON	
BEHAVIOUR	→ SUSPECT	
ACK →	IMAGE → YES	





Στάδιο 6° :

- Με την σειρά της η υπηρεσία αποστέλει άμεσα ένα αίτημα για υποστήριξη στην ακτοφυλακή, μαζί με τις απαραίτητες συντεταγμένες, ταχύτητα και πορεία του ύποπτου στόχου
- Ομοίως, το κέντρο ελέγχου της ακτοφυλακής μεταβιβάζει το αίτημα στο καταλληλότερο διαθέσιμο σκάφος της, μαζί με όλες τις πληροφορίες αλλά και την θεωρητικά αναμενόμενη θέση του στόχου την ώρα συνάντησής του με το σκάφος της ακτοφυλακής για γρηγορότερη αντιμετώπιση



Coast Guard Availability

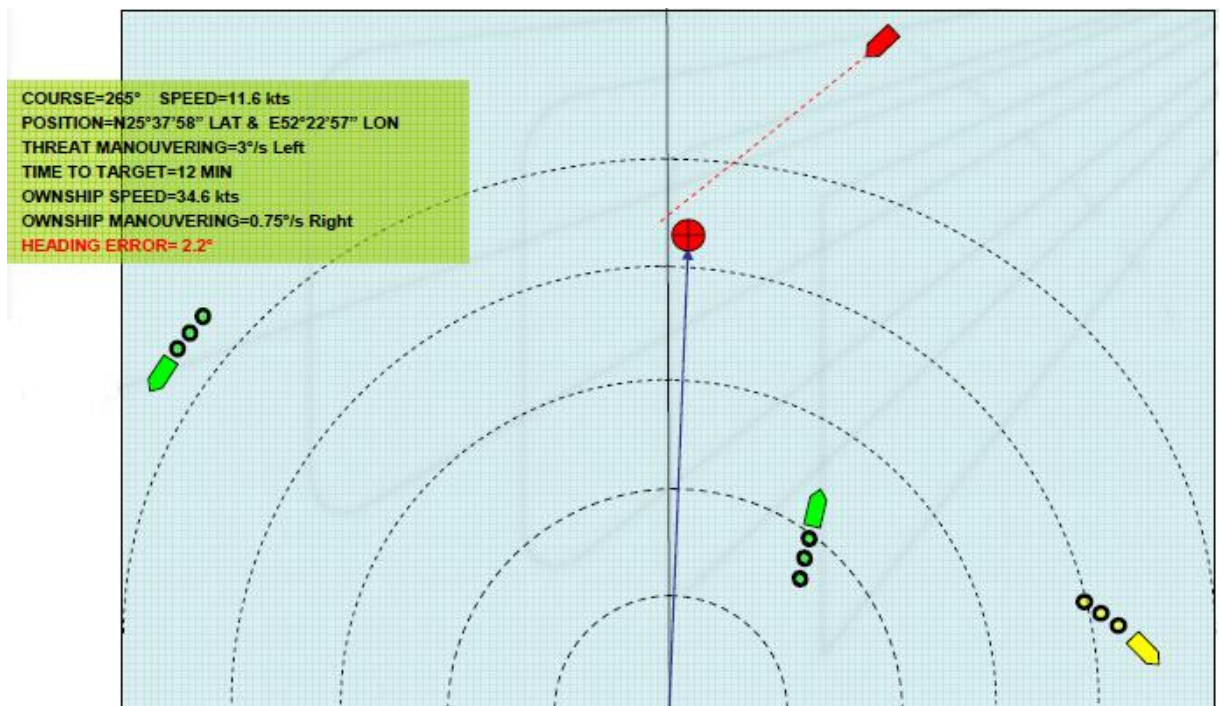
UNITS	STATUS	LAT LON	AUTONOMY	TIME TO TARGET
6	PATROL 10 MIN	N25°12'45" E51°49'27"	500 NM	75 MIN
9	PATROL 10 MIN	N25°35'07" E51°46'15"	250 NM	71 MIN
11	PATROL 10 MIN	N25°17'32" E51°34'68"	340 NM	60 MIN

COURSE 267° SPEED 12 kts
 POSITION N25°31'58" LAT - E52°44'57" LON

TIME TO INFRINGEMENT 188 MIN

ACK STATUS → OK TIME TO START 70 MIN

GUIDANCE → ✓ ORDER SEND



5 ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 - ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- [1]. Carlos Duran Nelra, Xullo Fernandez Herralda, Autonomous and remote-controlled multi-parametric buoy for multi-depth water sampling, monitoring, data collection, transmission, and analysis, Pub.No: US 2011/0009019 A1, 2011.
- [2]. Manley, J., Marsh, A., Cornforth, W., and Wiseman. Evolution of the autonomous surface craft Autocat. IEEE Oceans, 2000.
- [3]. Curtin, T., Crimmins, D., Curcio, J., Benjamin, M., Roper, C., "Autonomous Underwater Vehicles: Trends and Transformations" The Marine Technology Society Journal, Volume 39, Number 3, fall 2005.
- [4]. Curcio, J., Leonard, J., Vaganay, Patrikalakis, A., Bahr, A., Battle, D., Schmidt, H., Grund, M. 2005. "Experiments in Moving Baseline Navigation using Autonomous Surface Craft", in IEEE Oceans, 2005.
- [5]. Heidt, H., J. Puig-Suari, A.S. Moore, S. Nakasuka, and R.J. Twiggs, 2001. "CubeSat: A new Generation of Picosatellite for Education and Industry Low-Cost Space Experimentation" In Proceedings of the 14th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites, Logan, Utah, August 24-2, 2001.
- [6]. Swartwout, M. 2004. University-Class Satellites: From Marginal Utility to 'Disruptive' Research Platforms. 18th Annual AIAA/USU Conference on Small Satellites. 11pp.
- [7]. Benjamin, M., J. Curcio, J. Leonard, and P. Newman. 2006. "Navigation of Unmanned Marine Vehicles in Accordance with the Rules of the Road" International Conference on Robotics and Automation (ICRA), Orlando FL, May 2006.
- [8]. Nason, I; Puig-Suari, J; Twiggs, R. 2002. "Development Of A Family Of Picosatellite Deployers Based On The CubeSat Standard", In Proceedings of the 2002 IEEE Aerospace Conference Proceedings, Vol. 1, Big Sky, Montana, March 9-16 2002.
- [9]. Joseph A. Curcio, Massachusetts Institute of Technology, Cambridge, MA; Philip A. McGillivray, USCG PACAREA Science Liaison, Alameda, CA; Kevin Fall, Intel Research Berkeley, Berkeley, CA; Andy Maffei, Woods Hole Oceanographic Institution, Woods Hole, MA; Kurt Schwehr, Center for Coastal and Ocean Mapping, Univ. of New Hampshire, Durham, NH; Bob Twiggs, Department of Aeronautics and Astronautics, Stanford University, Stanford, CA; Chris Kitts, Santa Clara University, Santa Clara, CA; Phil Ballou, Ocean Systems, Inc., Alameda, CA, "Self-Positioning Smart Buoys, The "Un-Buoy" Solution: Logistic Considerations using Autonomous Surface Craft Technology and Improved Communications Infrastructure".
- [10]. ETSI EN 301 790: "Digital Video Broadcasting (DVB); Interaction channel for satellite distribution systems".
- [11]. K.P. Liolis, S. Pantazis, V. Gennatos, S. Costicoglou, I. Andrikopoulos, "An Automated Fire Detection and Alerting Application based on Satellite and Wireless Communications", in Proc. 5th Advanced Satellite Multimedia Systems Conference & 11th Signal Processing for Space Communications Workshop (ASMS2010), Cagliari, Italy, September 2010.
- [12]. A. Silva, F. Zabel, and C. Martins. Acoustic oceanographic buoy: a telemetry system that meets rapid environmental assessment requirements. to appear Sea-Technology, September 2006.
- [13]. S.M. Jesus, P. Felisberto, A.J. Silva, C. Soares, L. Farinha, and C. Martins. Acoustic maritime rapid environmental assessment during the mrea'04 sea trial. Internal Report Rep. 02/05, SiPLAB/CINTAL, Universidade do Algarve, Faro, Portugal, March 2005.

- [14]. P.F.J. Lermusieux and C.S. Chiu. Transfer of uncertainties through physical-acoustical sonar end-to-end systems: A conceptual basis. In Pace and Jensen, editors, *Impact of Littoral Environment Variability on Acoustic Predictions and Sonar Performance*, pages 603–610, Kluwer, September 2002.
- [15]. Unmanned Ground Systems Roadmap, Robotic Systems Joint Project Office, Addendum, July 2010.
- [16]. U.S. Navy Information Dominance Roadmap for Unmanned Systems, December 2010.
- [17]. U.S. Army Unmanned Aircraft Systems Roadmap, 2010-2035, 2010.
- [18]. DOD Unmanned Systems Integrated Roadmap, FY 2009-2034, April 6, 2008.
- [19]. Unmanned Aircraft Systems Spectrum Report, Second Interim Report, Unmanned Aircraft Systems Task Force, Frequency and Bandwidth Integrated Product Team, September 30, 2010.
- [20]. Τηλεπισκόπηση και Περιβαλλοντική Παρακολούθηση μέσω στρατοσφαιρικών πλατφόρμων, Κανελλοπούλου Δήμητρα, Αθήνα 2003
- [21]. Manthorpe Jr., W.H., "The Emerging Joint System-of-Systems: A Systems Engineering Challenge and Opportunity for APL," *Johns Hopkins APL Technical Digest*, Vol. 17, No. 3 (1996), pp. 305–310.
- [22]. DeLaurentis, D. "Understanding Transportation as a System of Systems Design Problem," 43rd AIAA Aerospace Sciences Meeting, Reno, Nevada, January 10–13, 2005. AIAA-2005-0123.
- [23]. Boxer, P., Morris, E., Anderson, W., & Cohen, B. (2008), "Systems-of-Systems Engineering and the Pragmatics of Demand," Montreal, Canada: IEEE Systems Conference, 7-10 April.
- [24]. Brownsword, L., Fisher, D., Morris, E., Smith, J. & Kirwan, P. (2006), "System of Systems Navigator: An Approach for Managing System of Systems Interoperability," Integration of Software-Intensive Systems Initiative, Software Engineering Institute.
- [25]. System Engineering Guide for Systems of Systems, USA Department of Defence, August 2008
- [26]. Maritime Border Control, SCI-174 Workshop "Tactical Decision Making and Situational Awareness for Defence Against Terrorism", Antonio Levato, Turin May 2006