

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : Ο ρόλος του ραντάρ στη σύγχρονη γέφυρα
και η αξιοποίησή του στη διεξαγωγή της ναυτιλίας**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΝΤΑΡΖΑΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ &

ΜΠΙΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ

ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ : κ. ΚΩΝ/ΝΟΣ ΛΙΩΤΣΙΟΣ

ΝΕΑ ΜΗΧΑΝΙΩΝΑ 2017

ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ

ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ

ΣΧΟΛΗ ΠΛΟΙΑΡΧΩΝ

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

**ΘΕΜΑ : Ο ρόλος του ραντάρ στη σύγχρονη γέφυρα
και η αξιοποίησή του στη διεξαγωγή της ναυτιλίας**

ΣΠΟΥΔΑΣΤΕΣ : ΝΤΑΡΖΑΝΟΣ ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ &

ΜΠΙΚΟΣ ΔΗΜΗΤΡΗΣ

ΑΜ : 3196 & 3525

ΗΜΕΡΟΜΗΝΙΑ ΠΑΡΑΔΟΣΗΣ : 27/09/2017

Βεβαιώνεται η ολοκλήρωση της παραπάνω πτυχιακής εργασίας

Ο καθηγητής

Περιεχόμενα

| | |
|---|----|
| ΠΕΡΙΛΗΨΗ | 3 |
| ABSTRACT | 3 |
| ΠΡΟΛΟΓΟΣ | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο | 5 |
| Εισαγωγή στα ραντάρ | 5 |
| Κεφάλαιο 2ο..... | 10 |
| ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ RADAR..... | 10 |
| 2.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER | 17 |
| 2.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΙΣΧΥ | 22 |
| 2.3. ΕΙΔΗ RADAR | 23 |
| 2.4 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ RADAR..... | 31 |
| 2.5 ΠΟΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ..... | 34 |
| 2.6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ RADAR | 37 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο | 48 |
| ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΤΟΧΩΝ..... | 48 |
| 3.1. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΛΟΓΩ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΥΛΙΔΑΣ | 48 |
| 3.2. ΜΙΚΡΟ ΥΨΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ..... | 49 |
| 3.3. ΟΨΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΧΩΝ..... | 49 |
| 3.4. ΥΛΙΚΟ ΣΤΟΧΟΥ | 49 |
| 3.5. ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ | 50 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο | 51 |
| ΤΟ RADAR ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ | 51 |
| 4.1. RADAR ΓΙΑ ΠΡΟΣΓΙΑΛΩΣΗ (landfall) | 52 |

| | |
|---|----|
| 4.2. RADAR ΓΙΑ ΝΑΥΣΙΠΛΟΙΑ | 52 |
| 4.3. RADAR ΓΙΑ ΠΑΡΑΠΛΟΥΣ ΑΚΤΕΣ | 53 |
| 4.4. RADAR ΣΤΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ | 54 |
| 4.5. RADAR ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ..... | 55 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο | 56 |
| ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ RADAR ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΥΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΤΟΧΩΝ | 56 |
| 5.1. MARPA | 60 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο | 62 |
| ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ RADAR..... | 62 |
| 6.1. ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΟΣ..... | 62 |
| 6.2 ΕΙΚΟΝΑ RADAR | 66 |
| 6.2.1. ΑΠΕΙΚΩΝΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΠΛΩΡΗ ΑΝΩ (HEAD UP)..... | 67 |
| 6.2.2. ΠΛΩΡΗ ΑΝΩ ΚΑΙ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΗ ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΟΥ (Head Up presentation and Azimuth ring stabilized)..... | 68 |
| 6.2.3. ΠΑΡΟΣΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΤΟ ΒΟΡΡΑ ΠΑΝΩ ΚΑΙ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΑ ΣΤΕΡΕΩΜΕΝ (NORTH UP) | 68 |
| 6.2.4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΠΟΡΕΙΑ ΠΑΝΩ (course up presentation) | 70 |
| 6.2.5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΜΑΖΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ | 70 |
| 6.2.6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΒΥΘΟ | 71 |
| 6.3. ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΕΝΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ RADAR | 71 |
| ΕΠΙΛΟΓΟΣ..... | 75 |
| Βιβλιογραφία..... | 76 |

ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Το ραντάρ αποτελεί ένα πολύ χρήσιμο μέσο εντοπισμού και παρακολούθησης τόσο κινούμενων όσο και ακίνητων αντικειμένων στον περιβάλλοντα χώρο του. Μάλιστα, η ικανότητα εντοπισμού είναι ανεξάρτητη από αντίξοες συνθήκες, όπως βροχή, ομίχλη, χαμηλή ορατότητα κλπ. Η αρχή λειτουργίας του βασίζεται στην εκπομπή ενός κύματος, το οποίο ανακλάται από ένα αντικείμενο – στόχο και επιστρέφει μέρος του αρχικού κύματος, δίνοντας πληροφορίες για το στόχο. Ως εκ τούτου, στον τομέα της ναυτιλίας ένα ραντάρ είναι ιδιαίτερα χρήσιμο, καθώς η κακοκαιρία είναι ένα συχνό φαινόμενο, ενώ η ασφάλεια του πληρώματος είναι ζωτικής σημασίας, κάτω από οποιοδήποτε συνθήκες. Η εξέλιξη στην τεχνολογία των ραντάρ επιτρέπει τον εντοπισμό άλλων πλοίων, υφάλων, αντικειμένων στη θάλασσα κλπ έγκαιρα και με ακρίβεια, αποτρέποντας ατυχήματα. Ακόμη, καθίσταται εφικτός ο εντοπισμός του πλοίου από ναυτιλιακές αρχές στη στεριά, ώστε να ελέγχεται η πορεία του.

ABSTRACT

Radar is a very useful means of tracking and supervising both moving and stationary objects within its environment. Furthermore, its tracking ability is independent of adverse conditions such as storm, fog, low visibility, etc. The principle of operation is based on the emission of a wave which is reflected by a target object and returns part of the original waveform, giving information about the target. Therefore, in the field of shipping a radar is particularly useful, as bad weather is a frequent phenomenon, while crew safety is vital under any circumstances. The development of radar technology makes it possible to locate other ships, reefs, objects at sea etc. in a timely and accurate manner, preventing accidents. It also makes it possible for the maritime authorities on land to locate the ship in order to check its course.

Λέξεις κλειδιά: ανάκλαση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων, ραντάρ ναυσιπλοΐας, Ναυτιλιακό ραντάρ με δυνατότητα αυτόματης αποτύπωσης στόχων, εικόνα ραντάρ.

Key words: Electromagnetic wave reflection, radar navigation, Marine radar with automatic targeting capability, radar image.

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ραντάρ είναι ζωτικής σημασίας για την ασφάλεια στη θάλασσα αλλά και κοντά στην ακτή. Οι καπετάνιοι πρέπει να είναι σε θέση να πραγματοποιούν ελιγμούς ακόμα και σε μικρές αποστάσεις από επικίνδυνους στόχους εν μέσω των χειρότερων καιρικών συνθηκών, κατά τις οποίες πρέπει να πλοηγήσουν το πλοίο σε εξαιρετικά μειωμένες συνθήκες ορατότητας. Το πρόβλημα αυτό έρχεται να λύσει το ραντάρ. Μία τυπική συσκευή ραντάρ παράγει από τον πομπό ένα κύμα, το οποίο ταξιδεύει στον περιβάλλοντα χώρο, ανακλάται μερικώς πάνω σε κινούμενα και ακίνητα αντικείμενα – στόχους και επιστρέφει στο ραντάρ, δίνοντας πληροφορίες για τους στόχους αυτούς. Στα εμπορικά πλοία, τα ραντάρ ενσωματώνονται σε ένα πλήρες σύστημα θαλάσσιων οργάνων, συμπεριλαμβανομένων των χαρτογράφων, του ηχοεντοπιστή, των αμφίδρομων συσκευών ραδιοεπικοινωνίας και των εντοπιστών έκτακτης ανάγκης (SART).

Η ενσωμάτωση αυτών των συσκευών είναι πολύ σημαντική, καθώς η παράλληλη εξέταση διάφορων οθονών αποσπά ιδιαίτερα τους χρήστες. Ως εκ τούτου, οι οθόνες μπορούν συχνά να ενσωματώσουν τη χαρτογράφηση, το ραντάρ, το σόναρ σε ένα ενιαίο σύστημα. Αυτό δίνει στον κυβερνήτη ζωτικής σημασίας όργανα για τον ελιγμό του πλοίου. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, αυτές οι συσκευές έχουν εξελιχθεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια. Για παράδειγμα, τα νεότερα ραντάρ διαθέτουν οθόνες 3D που επιτρέπουν την πλήρη εποπτεία του πλοίου, συμπεριλαμβανομένων επικαλύψεων δορυφορικής απεικόνισης.

Στα λιμάνια, ακτοπλοϊκά συστήματα ραντάρ χρησιμοποιούνται για την παρακολούθηση και ρύθμιση των μεταφορών πλοίων σε ύδατα αυξημένης κίνησης.

Τα συστήματα θαλάσσιων ραντάρ μπορούν να παράσχουν πολύ χρήσιμες πληροφορίες πλοήγησης ραντάρ για τους καπετάνιους στα πλοία. Με τη χρήση τους, η θέση του πλοίου θα μπορούσε να σχεδιαστεί και να καθοριστεί προς αποφυγήν ανεπιθύμητων σημείων – στόχων στη θάλασσα. Όλα τα πλοία πρέπει να διατηρούν κατάλληλα συστήματα ραντάρ ώστε να λαμβάνουν έγκαιρη προειδοποίηση σχετικά με τον κίνδυνο σύγκρουσης με άλλα πλοία που βρίσκονται κοντά.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1ο

Εισαγωγή στα ραντάρ

Το ραντάρ (radar) προέρχεται από τα αρχικά των λέξεων «RAdio Detection And Ranging» και συνεπώς σημαίνει «Ανίχνευση μέσω ραδιοκυμάτων και μέτρηση αποστάσεων». Η τεχνολογική του αξία έγκειται στην ικανότητά του να ανιχνεύει και να παρακολουθεί στόχους, είτε κινητούς, είτε ακίνητους, με μεγάλη ακρίβεια ακόμα και σε μεγάλες αποστάσεις, ακόμα και όταν ο συνήθης οπτικός εντοπισμός (μέσω ανθρώπινου ματιού ή τυπικών οπτικών συστημάτων) δεν είναι εφικτός. Φυσικά, δεν καλείται να αντικαταστήσει την ικανότητα της ανθρώπινης όρασης, αλλά να τη συμπληρώσει καλύπτοντας οπτικά γεγονότα που το μάτι αδυνατεί να διακρίνει, όπως συγκεκριμένες δυσχερείς καιρικές συνθήκες (χιόνι, ομίχλη, καταιγίδα).

Τα πρώτα βήματα πάνω στα οποία βασίστηκε η εφεύρεση του ραντάρ τέθηκαν τον 19ο αιώνα. Το 1849 ο Armand Fazio, Γάλλος φυσικός, μέτρησε την ταχύτητα του φωτός μέσω της ανάκλασης φωτεινής δέσμης σε εμπόδιο που βρισκόταν σε προκαθορισμένη απόσταση. Δεδομένης πλέον της ταχύτητας του φωτός μπορεί, αντίστροφα, να προσδιοριστεί με παρόμοιο πείραμα η απόσταση στην οποία βρίσκεται ένα αντικείμενο. Στη συνέχεια το 1866, μετά από σειρά πειραμάτων που διεξήγαγε ο Hertz, βεβαιώθηκε ότι τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ανακλώνται όταν συναντήσουν μεταλλικές επιφάνειες. Στη συνέχεια, στον 20ο αιώνα, κατασκευάστηκε από τον Hülsmeyer συσκευή για εντοπισμό πλοίων σε ομιχλώδεις συνθήκες, ώστε να αποφευχθεί πιθανή σύγκρουσή τους.

Το φως αποδείχθηκε να μην είναι το καταλληλότερο μέσο για την εκτίμηση της απόστασης ενός αντικειμένου από την πηγή αφού σκεδάζεται και απορροφάται εύκολα από τα μόρια της ατμόσφαιρας. Από την άλλη, τα ραδιοκύματα είναι κατάλληλα για εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων, με την προϋπόθεση το μήκος κύματος να είναι αρκετά μικρό, άρα η συχνότητα αρκετά μεγάλη, διαφορετικά κατά την πρόσκρουσή τους στη μεταλλική επιφάνεια κάμπτονται και αλλάζει η κατεύθυνσή τους.

Το πρώτο ραντάρ που λειτούργησε ποτέ κατασκευάστηκε από τον Robert Watson-Watt, προϊστάμενο του Εθνικού Εργαστηρίου Φυσικής της Μεγάλης Βρετανίας. Κατά τη διάρκεια της εργασίας του στο μετεωρολογικό γραφείο της Μεγάλης Βρετανίας την εποχή του Α' Παγκοσμίου πολέμου μελέτησε τη χρήση των ραδιοκυμάτων στην πρόγνωση καιρικών συνθηκών. Η τεχνολογία

που αναπτύχθηκε τότε αποδείχθηκε χρήσιμη για εντοπισμό αεροσκαφών στον Β' Παγκόσμιο πόλεμο. Ο Robert Watson-Watt με το βοηθό του, Arnold Wilkins, κατασκεύασαν ένα ιδιαίτερος πολύπλοκο δίκτυο ραντάρ σε ακτές της Μεγάλης Βρετανίας. Το αρχικό του σχέδιο περιλάμβανε ραντάρ με εκπομπές μήκους κύματος 49 μέτρων, δηλαδή μήκος διπλάσιο του ανοίγματος των φτερών των βομβαρδιστικών αεροπλάνων. Οι μεταλλικές επενδύσεις των αεροπλάνων κατ' αυτόν τον τρόπο ανακλούσαν τα κύματα του ραντάρ ως δίπολα μισού μήκους κύματος. Έτσι, το ραντάρ λειτούργησε ευεργετικά στη βρετανική άμυνα έναντι των Γερμανών. Η ιστορική σημασία του ραντάρ περιλαμβάνει η συνεισφορά του στην επιτυχή έκβαση της 'μάχης της Αγγλίας' (απόπειρα καταστροφής της Βασιλικής Πολεμικής Αεροπορίας - Royal Air Force, σύντμηση RAF από την Πολεμική Αεροπορία της Γερμανίας - Deutsche Luftwaffe).

Οι εφαρμογές των ραντάρ καλύπτουν ένα ευρύ φάσμα. Συγκεκριμένα, περιλαμβάνουν την εναέρια επιτήρηση, την πλοήγηση και την αποφυγή συγκρούσεων, την πρόβλεψη του καιρού, την αστρονομία, τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας, την επιβολή του νόμου, πολεμικές επιχειρήσεις, γεωδαισία και οικολογία. Ένα σύγχρονο ραντάρ μπορεί να ανιχνεύσει όχι μόνο τη θέση ενός αντικειμένου, αλλά περισσότερες πληροφορίες προερχόμενες από το ανακλώμενο σήμα που ανιχνεύει

1.1. ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα καλύπτουν ένα εύρος συχνοτήτων, το οποίο συνιστά το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα, με θεωρητική έκταση από το μηδέν έως το άπειρο. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα χωρίζεται σε επιμέρους ζώνες, ανάλογα με τη συχνότητα (συνεπώς και το μήκος κύματος) της ακτινοβολίας στην οποία αναφερόμαστε:

Πίνακας 1.1: Περιοχές του ΗΜ φάσματος, συχνότητες και ενέργειες φωτονίων στις περιοχές αυτές.

| Ζώνες του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος | | |
|---|---|---|
| Περιοχή του φάσματος | Περιοχή συχνοτήτων | Ενέργεια φωτονίων |
| Ραδιοκύματα | 0-300 <u>MHz</u> | 0-10 ⁻⁶ eV |
| Μικροκύματα | 300 <u>MHz</u> - 300GHz | 10 ⁻⁶ - 10 ⁻³ eV |
| υπέρυθρη ακτινοβολία | 300GHz - 400THz | 10 ⁻³ - 1,6eV |
| ορατή ακτινοβολία | 400-800THz | 1,6 - 3,2 eV |
| υπεριώδης ακτινοβολία | 800THz - 3 · 10 ¹⁷ Hz | 3eV - 2000eV |
| ακτίνες X | 3 · 10 ¹⁷ Hz - 5 · 10 ¹⁹ Hz | 1200 eV - 2,4 · 10 ⁵ eV |
| ακτίνες γ | 5 · 10 ¹⁹ Hz - 3 · 10 ²² Hz | 10 ⁵ eV - 10 ⁷ eV |
| Κοσμικές ακτίνες | 3 · 10 ²² Hz - | 10 ⁷ eV - |

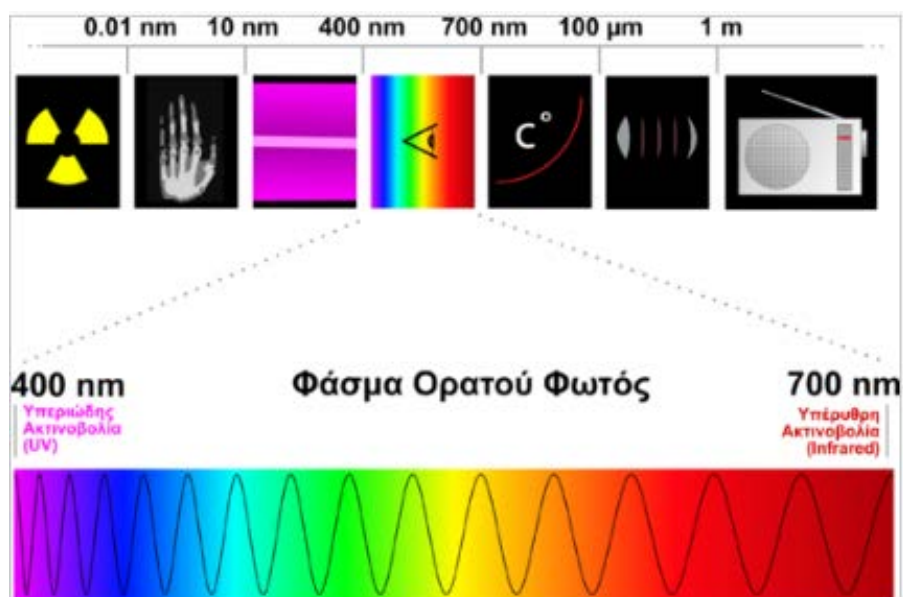
Στην αρχή του φάσματος βρίσκονται τα ραδιοκύματα τα οποία καλύπτουν τις μικρότερες συχνότητες, και χωρίζονται σε μικρότερες υποκατηγορίες, από τα λεγόμενα βιομηχανικά κύματα ως τα υπερβραχέα. Παράγονται από κεραίες και χρησιμοποιούνται ευρύτατα στις τηλεπικοινωνίες.

Στον ίδιο τομέα επίσης εφαρμόζονται τα μικροκύματα, τα οποία είναι η αμέσως επόμενη κατηγορία του φάσματος. Οι επιμέρους ζώνες των μικροκυμάτων είναι η ζώνη των δεκατομετρικών μικροκυμάτων (UHF), η ζώνη των εκατοστομετρικών μικροκυμάτων (SHF) και η ζώνη των χιλιοστομετρικών μικροκυμάτων (EHF).

Στη συνέχεια ακολουθεί η υπέρυθη ακτινοβολία η οποία παράγεται λόγω θερμότητας και είναι χαρακτηριστικό όλων των σωμάτων. Εφαρμόζεται ιδιαίτερα στην τεχνολογία, πιο

συγκεκριμένα στα οπτικά ηλεκτρονικά μέσα όπως πχ τα CD player, στις ηλεκτρονικές επικοινωνίες με οπτικές ίνες και με ασύρματη εκπομπή υπερύθρων, και στην υπέρυθρη φωτογραφία, η οποία βρίσκει εφαρμογές στην αρχαιολογία, τη δασοπονία, τη γεωργία, τη γεωλογία, την οικολογία και την υδρολογία.

Ακολουθεί το ορατό φάσμα, δηλαδή το σύνολο των οπτικών συχνοτήτων που αντιλαμβάνεται το ανθρώπινο μάτι, με τις επιμέρους συχνότητες να γίνονται αντιληπτές ως διαφορετικά χρώματα: ιώδες, μπλε, πράσινο, κίτρινο, πορτοκαλί και ερυθρό σε σειρά αυξανόμενου μήκους κύματος, άρα μειούμενης συχνότητας.



Εικόνα 1.1: Ορατό φάσμα

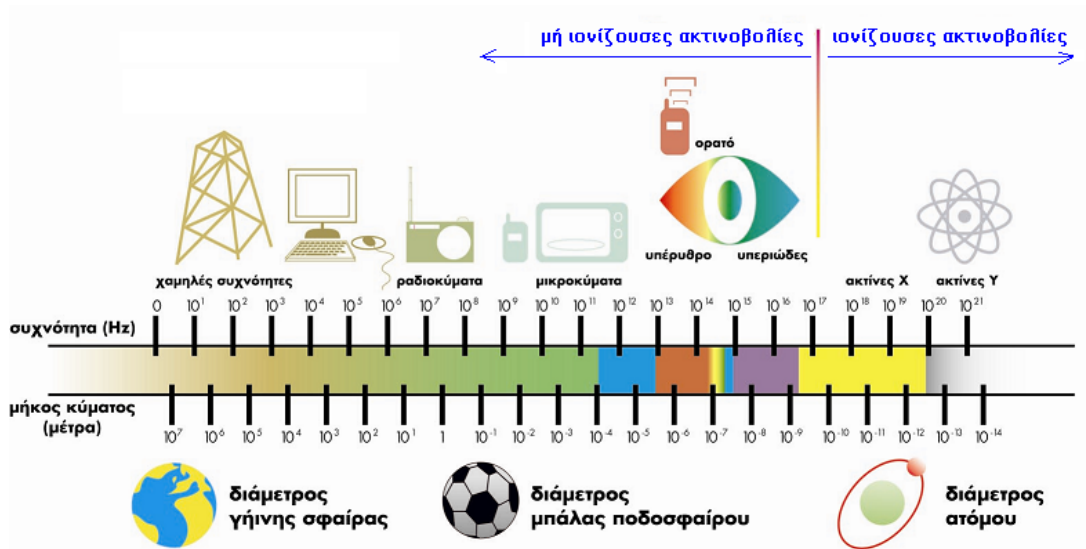
Έπειτα, έχουμε την υπεριώδη ακτινοβολία, η οποία εκπέμπεται από σώματα με πολύ υψηλή θερμοκρασία, όπως τα αστέρια. Λόγω της υψηλής ενέργειάς της μπορεί να αποβεί επιβλαβής για τους ανθρώπινους ιστούς.

Η ακτινοβολία X διαθέτει ακόμα υψηλότερη ενέργεια και μπορεί να παραχθεί κατά την επιτάχυνση ηλεκτρονίων από άνοδο μέσω μεγάλης διαφοράς δυναμικού δεκάδων χιλιάδων volt με κατεύθυνση προς μια κάθοδο – στόχο, αποτελούμενο από μεταλλικό υλικό μεγάλου ατομικού αριθμού.

Στις εξαιρετικά υψηλές συχνότητες συναντάται η ακτινοβολία γ , η οποία παράγεται από ραδιενεργούς πυρήνες και αστέρια.

Τέλος, η κοσμική ακτινοβολία αποτελείται από σωματίδια υψηλών ενεργειών τα οποία παράγονται σε μακρινές περιοχές του σύμπαντος σε σχέση με τη γη, από πηγές όπως οι

υπερκαινοφανείς αστέρες. Οι κοσμικές ακτίνες αποτελούνται κυρίως από θετικά ηλεκτρικώς φορτισμένα σωματίδια, και αναλυτικά σε 87% πρωτόνια, 12% σωματία άλφα, σε μικρότερη αναλογία βαρύτερους πυρήνες και σε ακόμη μικρότερες ποσότητες φωτόνια γ , ηλεκτρόνια, νετρίνα. Η ανίχνευσή τους πραγματοποιείται μετά από την πρόσκρουσή τους στη γήινη ατμόσφαιρα.

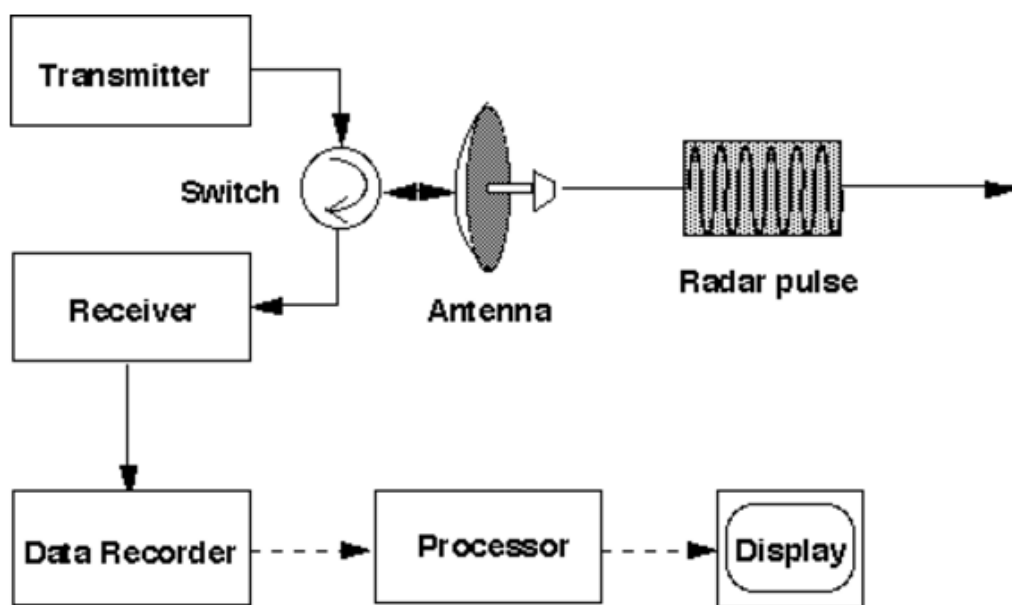


Εικόνα 1.2: Σύνοψη του ΗΜ φάσματος και σύγκριση των μηκών κύματος με οντότητες του φυσικού κόσμου

Κεφάλαιο 2ο

ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ RADAR

Η βασική αρχή λειτουργία του ραντάρ σχετίζεται με τη διάδοση ενός ηλεκτρομαγνητικού παλμού και την ανίχνευση της επιστρεφόμενης κυματομορφής. Τα βασικά συστατικά στοιχεία ενός ραντάρ είναι ένας πομπός, ένας δέκτης και κυκλώματα επεξεργασίας σήματος.



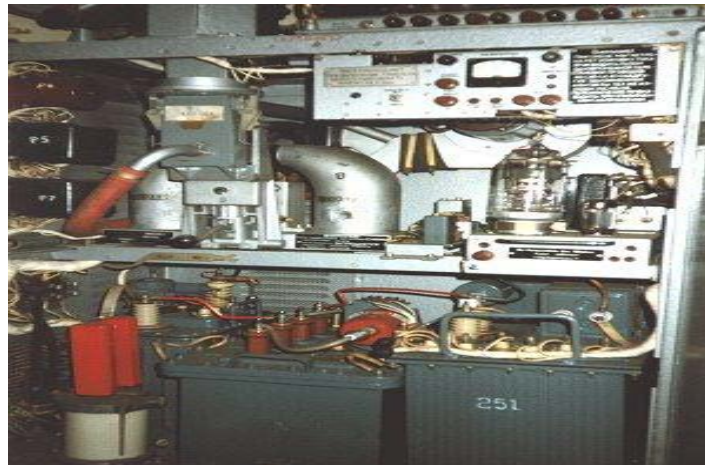
Εικόνα 2.1: Μπλοκ διάγραμμα με τα βασικά μέρη του ραντάρ

Οι πομποί συνήθως είναι κατασκευασμένοι από ημιαγώγιμα στοιχεία είτε από λυχνίες κενού, οι οποίες βέβαια αποτελούν πολύπλοκες κατασκευές, και αποτελούνται από έναν ταλαντωτή (magnetron) και έναν ενισχυτή (klystron), με σκοπό την παραγωγή μικρής διάρκειας μικροκυματικού παλμού, έναν διαμορφωτή (αναλογικό ή ψηφιακό) και μια πηγή ισχύος, το εύρος της οποίας κυμαίνεται σημαντικά ανάλογα την εφαρμογή. Η ισχύς του πομπού κυμαίνεται στην τάξη των MW. Μέσω του εκπομπού παράγεται ένα διαμορφωμένο σήμα, το οποίο στέλνεται στην κεραία με τη χρήση γεννήτριας κυματομορφών. Τα παραγόμενα ηλεκτρομαγνητικά κύματα είναι υπερυψηλής συχνότητας (10.000 Mc/sec), ανήκουν στην περιοχή των μικροκυμάτων και έχουν την ικανότητα να εστιαστούν και να διαμορφώσουν δέσμη. Η μεταφορά τους προς την κεραία γίνεται με τη βοήθεια

κυματοδηγού. Οι προδιαγραφές ενός κατάλληλου πομπού απαιτούν να έχει κατάλληλο εύρος ζώνης, ικανότητα παραγωγής απαιτούμενης RF ισχύος κατά μέσο όρο αλλά και κατά μέγιστη τιμή, υψηλή ευστάθεια για βέλτιστη επεξεργασία σήματος, αποδοτικότητα και αξιοπιστία, ευκολία συντήρησης με παράλληλα μεγάλο χρόνο ζωής, και να είναι εύκολος στη διαμόρφωση, ώστε να επιτυγχάνονται οι κατά καιρούς επιθυμητές εκπεμπόμενες κυματομορφές. Ο σχεδιασμός του πομπού βασίζεται στη μορφή της συσκευής εξόδου. Μια μορφή πομπού απεικονίζεται παρακάτω:



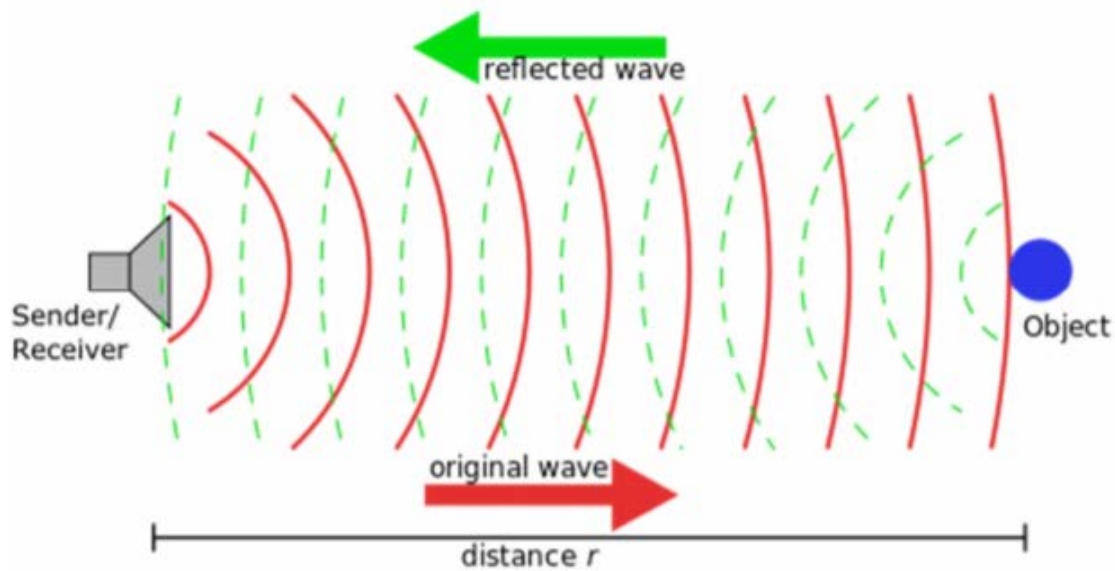
Εικόνα 2.2: Εξάρτημα από πομπό ραντάρ



Εικόνα 2.3: Πομπός ραντάρ P-37

Ένας προενισχυτής χαμηλού θορύβου έχει τη δυνατότητα ενίσχυσης ιδιαίτερα ασθενών σημάτων, χωρίς όμως έντονη ενίσχυση του υπάρχοντος θορύβου, στοιχείο που είναι απαραίτητο, καθώς στη συνέχεια οι πιθανοί ενισχυτές που θα χρειαστούν δε μπορούν παρά να ενισχύσουν αναπόφευκτα τον υπάρχοντα θόρυβο.

Το σήμα αποτελεί ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα που εκπέμπεται (original wave) και διαδίδεται στο χώρο αφότου εκπεμφθεί από το ραντάρ. Στην περίπτωση που κάποιο αντικείμενο παρεμβληθεί στην πορεία του κύματος, προκαλεί την ανάκλαση μέρους της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας (ηχώ – reflected wave). Η απόσταση μέχρι το αντικείμενο μπορεί να προσδιοριστεί μετρώντας τον χρόνο που χρειάζεται το σήμα να ταξιδέψει μέχρι το αντικείμενο - στόχο και πίσω. Αν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ του αντικειμένου – στόχου και του ραντάρ, η ολίσθηση στη συχνότητα του φέροντος σήματος ανάκλασης λόγω του φαινομένου Doppler είναι ένα μέτρο της σχετικής ταχύτητας και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη διάκριση κινητών και ακίνητων αντικειμένων.

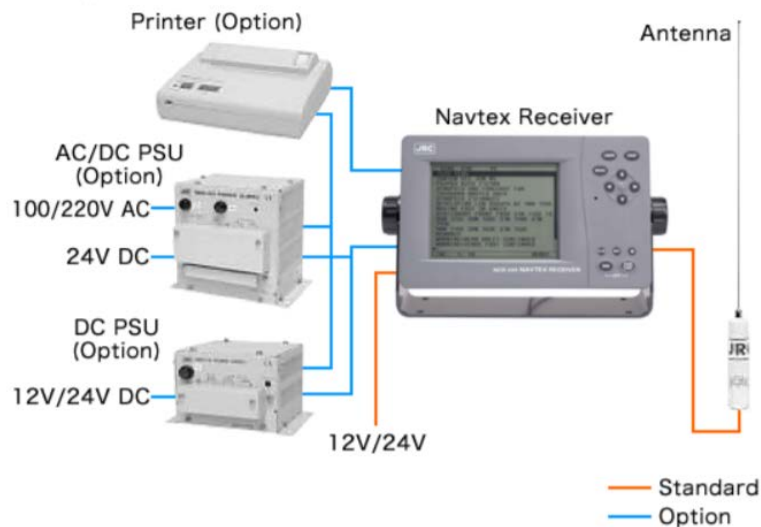


Εικόνα 2.4: Περιγραφή των κυμάτων που συμμετέχουν στη λειτουργία ραντάρ

Εκτός από το ανακλώμενο σήμα – ηχώ υπάρχει και η έμμεση ηχώ. Η έμμεση ηχώ προέρχεται από την ανάκλαση των παλμών σε εμπόδια τα οποία δημιουργούν τομείς σκιάς. Μετά την ανάκλαση τους οι παλμοί προσπίπτουν σε στόχους με αποτέλεσμα η ηχώ τους να ακολουθεί ακριβώς την αντίθετη πορεία και να επιστρέφει στην κεραία του Radar και να εμφανίζεται σε εσφαλμένη διεύθυνση. Η έμμεση ηχώ μοιάζει να αποτελεί κατοπτρικό είδωλο της πραγματικής ηχούς. Συνήθως δημιουργούνται από τα πλοία τα οποία βρίσκονται σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, τις υπερκατασκευές των πλοίων, τις γέφυρες, τις όχθες ποταμών και τις απόκρημνες ακτές.

Οι δέκτες καλούνται να ανιχνεύσουν το ανακλώμενο κύμα και παράλληλα να αποκόψουν θόρυβο εκτός του εύρους της δέσμης του ραντάρ από το σήμα. Φυσικά, το εύρος ζώνης τους είναι

αρκετά μεγάλο, με σκοπό την αύξηση πιθανότητας εντοπισμού χρήσιμου σήματος, ενώ σημαντική είναι η αυξημένη ευαισθησία για την ανίχνευση εξασθενημένου σήματος, το οποίο μπορεί να προέλθει από μεγάλη απόσταση. Το λαμβανόμενο σήμα καλείται να έχει ισχύ της τάξης μW μόλις. Αφότου απαλλαχθεί από τον περιττό θόρυβο πρέπει να ενισχυθεί, γεγονός που μπορεί να επιτευχθεί στην πραγματικότητα με αύξηση του πλάτους του σήματος εκατομμύρια φορές, και να σταλεί στον επεξεργαστή σήματος για να αναλυθεί στη συνέχεια.



Εικόνα 2.5: Συστήματα δέκτη ραντάρ

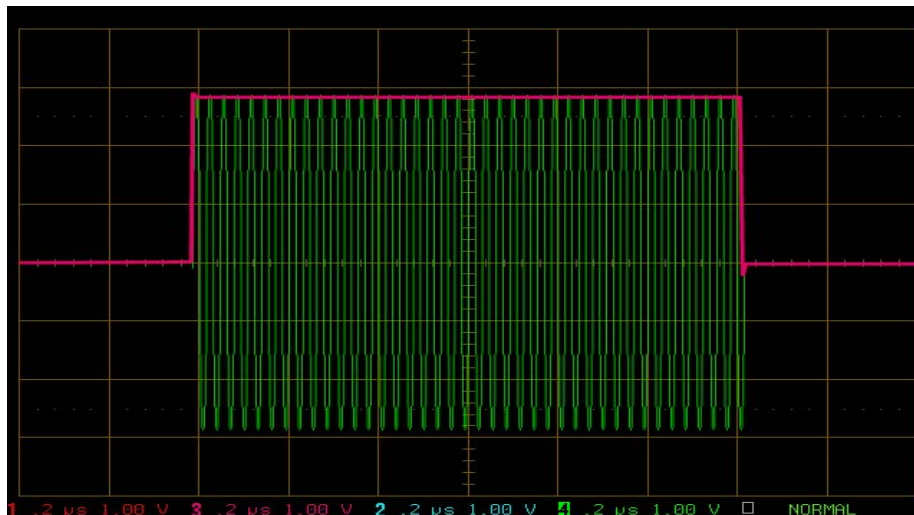
Για τη μετατροπή σε μορφή βίντεο των λαμβανόμενων ραδιοκυμάτων, απαιτείται η χρήση ενός υπερετερώδνου δέκτη, τα δομικά στοιχεία του οποίου απεικονίζονται ακολούθως:



Εικόνα 2.6: Υπερετερώδνος δέκτης

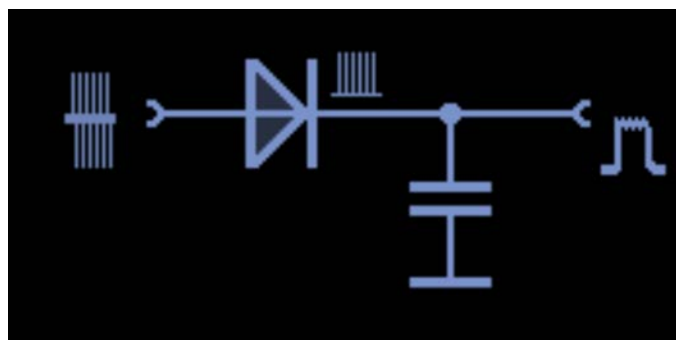
Κατά τη λήψη του σήματος ο υπέρ ετερώδνος δέκτης μετατρέπει το RF σήμα σε σήμα μικρότερης συχνότητας (IF), το οποίο επεξεργάζεται ευκολότερα, το οποίο στη συνέχεια πρέπει να ενισχυθεί και να αποδιαμορφωθεί.

Ένας ανιχνευτής στο δέκτη μπορεί να μετατρέψει τα σήματα IF σε βίντεο, αρχικά ανιχνεύοντας την περιβάλλουσα:



Εικόνα 2.7: Εξαγωγή περιβάλλουσας κυματομορφής

Κυκλωματικά, ο ανιχνευτής αυτός αποτελείται από τα στοιχεία που φαίνονται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 2.8: Ανιχνευτής περιβάλλουσας

Μια κεραία γενικά μπορεί να εκπέμπει και να λαμβάνει. Ένας διακόπτης (duplexer) επιλέγει μια από τις δύο καταστάσεις λειτουργίας. Συγκεκριμένα, ο duplexer κατά την εκπομπή του σήματος χρησιμεύει στην κατεύθυνσή του προς την κεραία. Στην κατάσταση πομπού η κεραία καλείται να εστιάσει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα ώστε να ταξιδέψουν στην ατμόσφαιρα σε μορφή δέσμης. Η κεραία στην κατάσταση του δέκτη συλλέγει το ανακλώμενο κύμα και την προωθεί στο δέκτη μέσω του κυματοδηγού. Το μέγεθός τους μπορεί να διαφέρει σε πολύ μεγάλο βαθμό, ανάλογα με το μήκος κύματος που καλούνται να εκπέμψουν, και αντιστρόφως ανάλογα με το εύρος δέσμης τους. Μια τυπική κεραία ναυτικού ραντάρ απεικονίζεται στην ακόλουθη εικόνα:



Εικόνα 2.9: Κεραία ραντάρ

Ο κυματοδηγός είναι συνήθως ένας ορθογωνικός χάλκινος σωλήνας, ο οποίος φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2.10: Κυματοδηγός

Τα κύματα διαδίδονται κατά μήκος του σωλήνα πραγματοποιώντας ανακλάσεις στα τοιχώματά του, τα οποία πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο λεία και καθαρά για μείωση των απωλειών ενέργειας. Η ταχύτητα μετάδοσης των κυμάτων εντός του κυματοδηγού είναι μικρότερη από την ταχύτητα διάδοσής τους στον ελεύθερο χώρο.

Η εξαγωγή συμπερασμάτων σχετικά με το αντικείμενο – στόχο γίνεται στο μπλοκ επεξεργασίας σήματος, ο οποίος αποτελεί το κεντρικό στοιχείο του ραντάρ. Εκεί λαμβάνεται η απόφαση σχετικά με το αν το ανιχνευόμενο σήμα είναι πράγματι το ανακλώμενο.

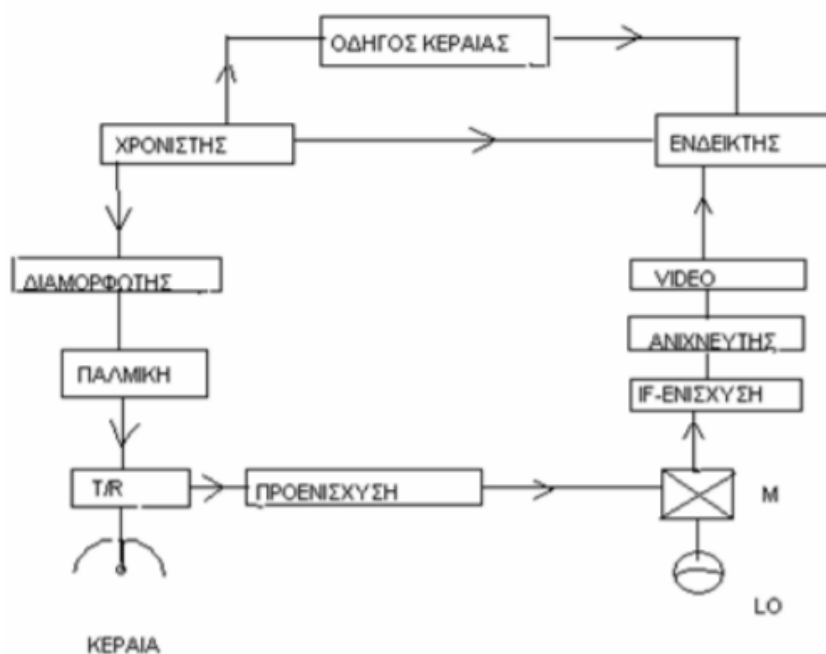
Ένας ενδείκτης είναι συνδεδεμένος τόσο με τον πομπό όσο και με τον δέκτη και με τον διακόπτη της κεραίας, με σκοπό να πληροφορεί για το χρόνο έναρξης εκπομπής του παλμού καθώς και το χρόνο επιστροφής κάθε ανακλώμενου κύματος αντίστοιχα. Στη σύνδεσή του με την κεραία μπορεί να πληροφορεί για τη σχετική κατεύθυνση του προς ανίχνευση στόχου, γεγονός που είναι

χρήσιμο για τη διόπτυση του στόχου. Μερικοί ενδείκτες ραντάρ διαθέτουν επαναλήπτη γυροσκοπικής πυξίδας, ο οποίος διασφαλίζει τη δυνατότητα παρουσίασης των αντικειμένων στόχων σε αληθή διόπτυση. Παρακάτω απεικονίζεται το σύστημα απεικόνισης ενός ραντάρ ως τμήμα ενός ολοκληρωμένου συστήματος γέφυρας:



Εικόνα 2.11: Ενδείκτης ραντάρ

Τα σύγχρονα ραντάρ ενσωματώνουν μέσα στη μονάδα της κεραίας τον πομπό, τον διακόπτη εναλλαγής και η κυρίως κεραία. Στη μονάδα του ενδείκτη βρίσκεται ο δέκτης και η κυρίως οθόνη. Το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα απεικονίζει τη δομή του σύγχρονου ραντάρ:



Εικόνα 2.12: Λεπτομερής εσωτερική δομή ενός σύγχρονου ραντάρ

Σημαντικές παράμετροι για την ορθή λειτουργία ενός ραντάρ είναι ο συντονισμός (tunning) μεταξύ πομπού και δέκτη ώστε να ληφθεί σωστή εικόνα στην έξοδο. Βέβαια, συνήθως αυτή η ρύθμιση είναι αυτόματη. Η ευαισθησία (gain) είναι επίσης σημαντική παράμετρος, καθώς υπερβολική ευαισθησία επιφέρει έντονη σκίαση στην εικόνα και πιθανώς υπερκαλύψει αντικείμενων – στόχων, ενώ από την άλλη, υπερβολικά μικρή ευαισθησία μπορεί να μην εντοπίσει στόχους. Ακόμη, υπάρχουν κάποια φίλτρα που χρησιμοποιούνται όταν οι περιβαλλοντικές συνθήκες είναι έντονες. Το φίλτρο rain clutter χρησιμοποιείται σε συνθήκες έντονης βροχόπτωσης και το sea clutter όταν υπάρχει έντονος κυματισμός και πολύς αέρας.

Η απόσταση που απέχει ένα αντικείμενο – στόχος από το ραντάρ μπορεί να καθοριστεί με μέτρηση της χρονικής διαφοράς από τη στιγμή που εκπέμφθηκε ο παλμός μέχρι να επιστρέψει. Επίσης, η κατεύθυνση ή η γωνιακή θέση του αντικείμενου – στόχου εντοπίζεται με τη βοήθεια της κατεύθυνσης του μετώπου του ανακλώμενου παλμού. Όταν το αντικείμενο – στόχος κινείται, ή ισοδύναμα όταν παρουσιάζεται σχετική κίνηση ανάμεσα σε αυτό και το ραντάρ, παρατηρείται μεταβολή στη συχνότητα του φέροντος σήματος ανάκλασης λόγω του φαινομένου Doppler, το οποίο θα εξηγηθεί στη συνέχεια. Τα ραντάρ που ανιχνεύουν αντικείμενα εν κινήσει, παρακολουθούν συνεχόμενα την κίνησή τους και διαθέτουν σχετική συνεχή ένδειξη του ρυθμού αλλαγής της θέσης των αντικειμένων αυτών.

2.1. ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER

Το φαινόμενο Doppler περιγράφει τη μεταβολή της συχνότητας (ν) και του μήκους κύματος (λ) ενός κύματος από παρατηρητή ο οποίος βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή του κύματος. Η συχνότητα και το μήκος κύματος συνδέονται με τη σχέση:

$$v = \lambda \nu$$

όπου v η ταχύτητα διάδοσης του εν λόγω κύματος.

Ένα κύμα ταξιδεύει από την πηγή προς ένα στόχο και πάλι πίσω. Η χρονική διαφορά που χρειάζεται για να διανύσει την απόσταση αυτή, έστω Δt δευτερόλεπτα, μπορεί να δώσει την ακτινική απόσταση R . Για ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο κενό, τα οποία θα διαδίδονται με την ταχύτητα του φωτός $c=3 \times 10^8$ m/s, θα είναι:

$$R = c\Delta t/2$$

Αναφορικά με τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα, η διάδοση των οποίων δεν απαιτεί την παρουσία κάποιου υλικού μέσου, ο προσδιορισμός της σχετικής ταχύτητας παρατηρητή και πηγής επαρκούν

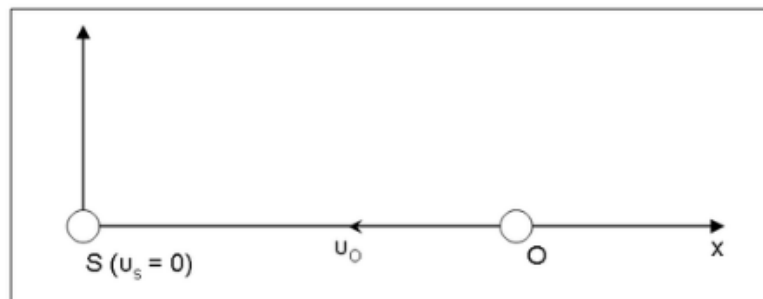
για τη μελέτη του φαινομένου. Όταν όμως μιλάμε για ηχητικά κύματα, τα οποία χρειάζονται ένα υλικό μέσο ώστε να είναι εφικτή η διάδοσή τους, η σχετική ταχύτητα του παρατηρητή και της πηγής πρέπει να προσδιοριστεί σε σχέση με το μέσο διάδοσης.

Έστω ότι μελετάμε κύματα διαδιδόμενα μέσα σε ένα υλικό μέσο. Η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής συμβολίζεται με v' , ενώ η συχνότητα που εκπέμπει η πηγή συμβολίζεται με v . Επιπλέον, με v συμβολίζεται η ταχύτητα διάδοσης του κύματος, με v_0 η ταχύτητα του παρατηρητή ως προς το μέσο διάδοσης και με v_s η ταχύτητα της πηγής εκπομπής του κύματος ως προς το μέσο διάδοσης. Σημειώνεται ότι για τον αέρα η ταχύτητα διάδοσης του ήχου είναι 340 m/s. Η συχνότητα εκπομπής φυσικά δεν αλλάζει, η συχνότητα που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής είναι αυτή που μεταβάλλεται από την εκπεμπόμενη. Τότε, η σχέση μεταξύ των συχνοτήτων εκφράζεται μαθηματικά ως:

$$v' = \left(\frac{v \pm v_0}{v \pm v_s} \right) v$$

Στον παραπάνω τύπο το + σηματοδοτεί την κίνηση του παρατηρητή προς την πηγή, ακόμα και αν δε την πλησιάζει στην πραγματικότητα, διότι αυτή μπορεί να κινείται κατά την ίδια κατεύθυνση με μεγαλύτερη ταχύτητα. Αντίστοιχα, το - αντιστοιχεί σε απομάκρυνσή του με κίνηση αντίθετη από αυτή της πηγής. Για την πηγή ισχύουν τα ακριβώς αντίστροφα πρόσημα.

Στην περίπτωση που η πηγή είναι ακίνητη ως προς το μέσο διάδοσης, το μήκος κύματος των εκπεμπόμενων κυμάτων δε μεταβάλλεται, γεγονός που δεν ισχύει όμως όταν αυτή κινείται. Συγκεκριμένα, στην περίπτωση ακίνητης πηγής που εκπέμπει κύματα μήκους κύματος λ και συχνότητας v θεωρούμε παρατηρητή αρχικά ακίνητο. Ο παρατηρητής αυτός δέχεται κύματα που κινούνται με ταχύτητα v προς αυτόν από την πηγή, άρα σε χρονικό διάστημα t θα λαμβάνει vt/λ μέτωπα κύματος. Έστω τώρα ότι ο παρατηρητής αυτός προσεγγίζει την πηγή με ταχύτητα v_0 . Τότε, θα δέχεται επιπλέον των προηγούμενων v_0t/λ μέτωπα κύματος σε χρόνο t , άρα συνολικά $(v+v_0)t/\lambda$ μέτωπα κύματος στον ίδιο χρόνο.



Εικόνα 2.13: Σχετική θέση και κίνηση παρατηρητή – πηγής

Συνεπώς, τα μέτωπα κύματος στη μονάδα του χρόνου που αντιλαμβάνεται ο παρατηρητής, δηλαδή η συχνότητα ν' προκύπτει με κατάλληλη αντικατάσταση στη βασική σχέση:

$$\nu' = \frac{(u+u_0)t/\lambda}{t} = \frac{(u+u_0)}{\lambda} = \frac{(u+u_0)}{v/\nu} = \frac{(u+u_0)}{v}\nu$$

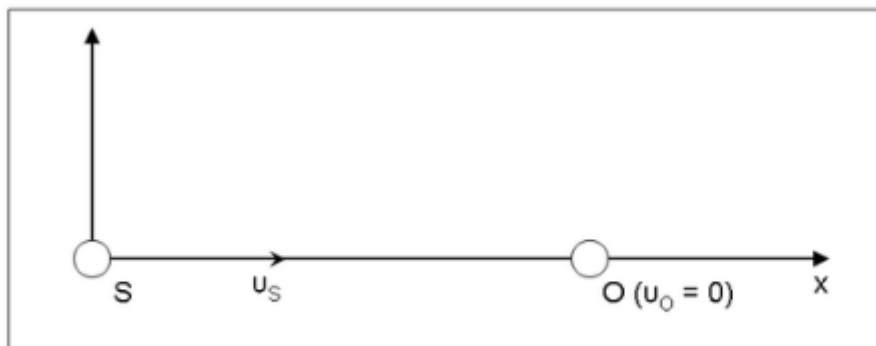
Εάν ο παρατηρητής απομακρύνεται στον παραπάνω τύπο αντί για + μπαίνει -:

$$\nu' = \frac{(u-u_0)}{v}\nu$$

Η ακίνητη πηγή σε χρόνο περιόδου T εκπέμπει κύμα το οποίο καλύπτει απόσταση ενός μήκους κύματος λ από την πηγή:

$$\lambda = uT = v/\nu$$

Έστω τώρα η αντίστροφη περίπτωση: η πηγή να κινείται με ταχύτητα u_s προς την κατεύθυνση του παρατηρητή ενώ ο παρατηρητής να παραμένει ακίνητος.



Εικόνα 2.14: Σχετική θέση και κίνηση παρατηρητή – πηγής

Σε χρόνο T η πηγή μετατοπίστηκε $u_s T$ προς τον παρατηρητή, με αποτέλεσμα τη μείωση του μήκους κύματος από την πλευρά της κατεύθυνσης κίνησης της πηγής κατά την ίδια ποσότητα:

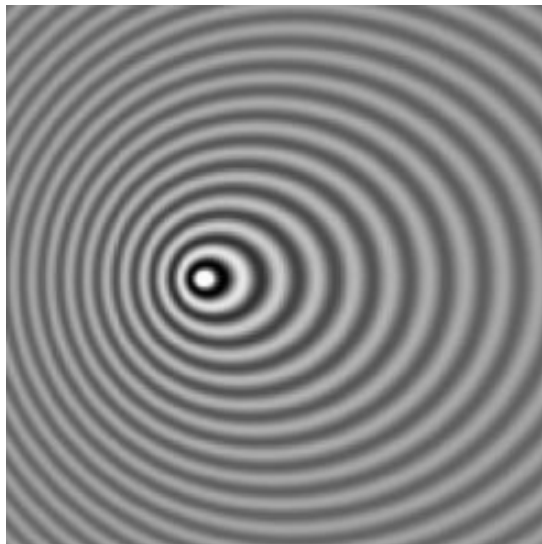
$$\lambda' = \lambda - u_s T = \frac{v - u_s}{\nu}$$

Από την παραπάνω σχέση προκύπτει ότι η συχνότητα που ο παρατηρητής λαμβάνει είναι:

$$v' = v/\lambda' = \left(\frac{v}{v-v_s}\right)v$$

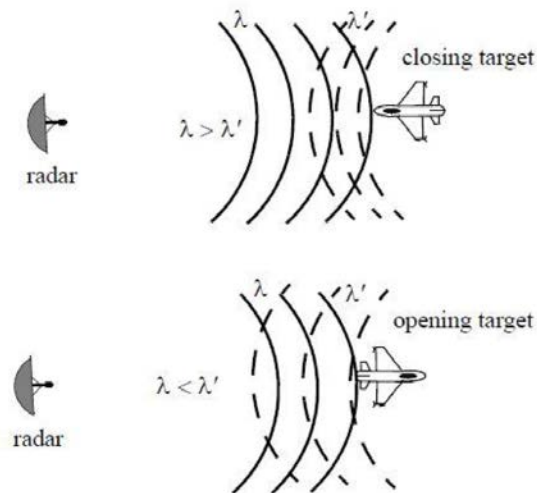
Αν η πηγή απομακρύνεται, η παραπάνω σχέση θα έχει πρόσημο + στον παρανομαστή.

Στην ακόλουθη εικόνα η πηγή κινείται προς τα αριστερά και όπως παρατηρείται, η συχνότητα στα αριστερά της είναι μεγαλύτερη, ενώ στα δεξιά μικρότερη, ενώ το αντίστροφο ισχύει για το μήκος κύματος (τα κύματα φαίνονται σαν να ‘συμπιέζονται’ προς την κατεύθυνση κίνησης της πηγής και αραιώνουν στην κατεύθυνση απομάκρυνσης της πηγής).



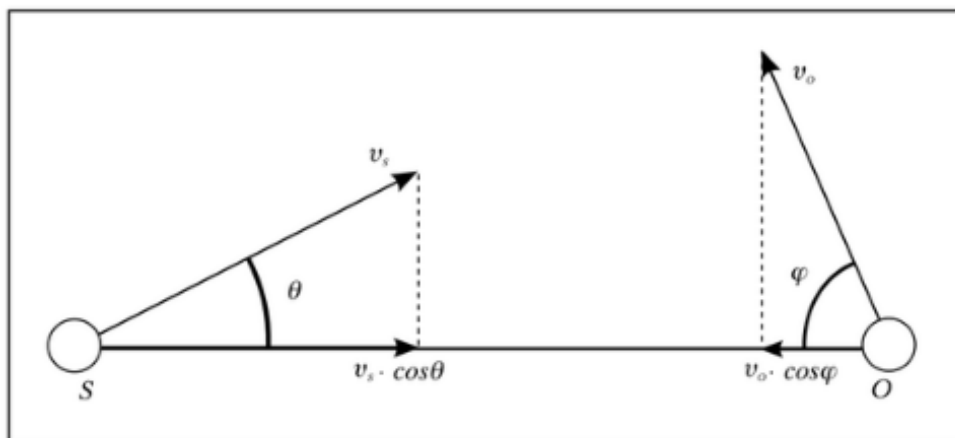
Εικόνα 2.15: Κύματα κατά την κίνηση πηγής

Τα ανακλώμενα ισοφασικά μέτωπα των κυματομορφών μπορούν να μεταβληθούν ως ακολούθως όταν έρθουν σε επαφή με κινούμενο στόχο:



Εικόνα 2.16: Κύμα που λαμβάνει το ραντάρ σύμφωνα με την κίνηση στόχου

Γενικεύοντας όλα τα παραπάνω, όταν η κίνηση μεταξύ πηγής και παρατηρητή δεν είναι συνευθειακή, αλλά σχηματίζεται γωνία μεταξύ τους, έστω θ η γωνία της πηγής με την ευθεία (χ άξονας) και φ η γωνία του παρατηρητή με τον οριζόντιο άξονα.



Εικόνα 2.17: Γενικευμένο Doppler

Στον γενικό τύπο οι ταχύτητες της πηγής και του παρατηρητή αντικαθίστανται από τις προβολές τους στον οριζόντιο άξονα, συγκεκριμένα:

$$\text{Ταχύτητα πηγής} = v_s \cos\theta$$

$$\text{Ταχύτητα παρατηρητή} = v_o \cos\varphi$$

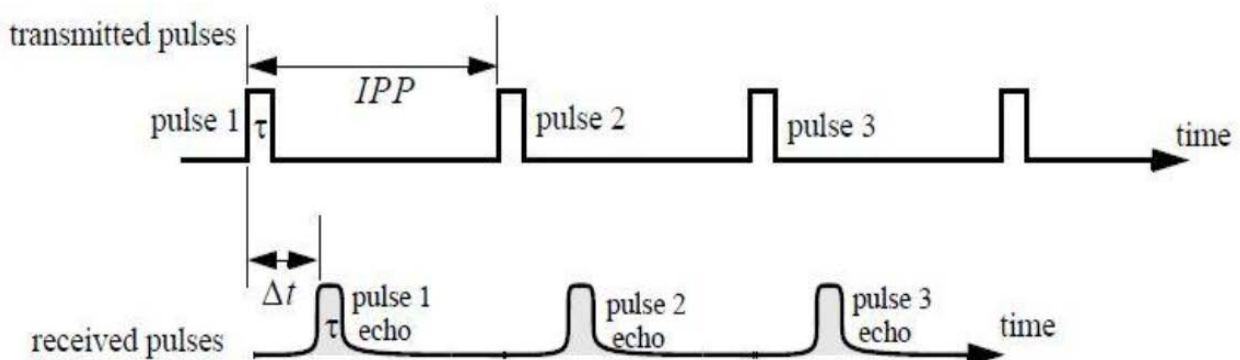
2.2. ΠΑΡΑΜΕΤΡΟΙ ΠΟΥ ΑΦΟΡΟΥΝ ΤΙΣ ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΙΣΧΥ

Είναι σημαντικό να περιγραφούν κάποιες έννοιες που θα συναντηθούν αργότερα αναφορικά με τις συχνότητες εκπομπής και λήψεως και επαναλήψεων εκπομπής. Συχνότητα εκπομπής ορίζεται ως η συχνότητα του εκπεμπόμενου ηλεκτρομαγνητικού παλμού και λήψεως η συχνότητα του ανακλώμενου κύματος. Τα ναυτικά ραντάρ εκπέμπουν και λαμβάνουν στα 10000 Mc/s συνήθως. Η συχνότητα επαναλήψεως εκπομπής ή αλλιώς συχνότητα επαναλήψεως παλμών (ΣΕΠ - Pulse Repetition Frequency - PRF) που συμβολίζεται με f_r , αφορά τον αριθμό των εκπεμπόμενων ηλεκτρομαγνητικών παλμών ανά μονάδα χρόνου.

Τα ναυτικά ραντάρ εκπέμπουν έναν παλμό ανά 1000 μ s, άρα 1000 παλμοί ανά δευτερόλεπτο είναι η συνηθέστερη συχνότητα επαναλήψεως παλμών. Η διάρκεια του παλμού εκπομπής είναι ο χρόνος που απαιτεί η ολοκλήρωση της εκπομπής ενός παλμού. Η περίοδος επαναλήψεως εκπομπής T (Inter Pulse Period – IPP ή Pulse Repetition Interval-PRF), δηλαδή το αντίστροφο της συχνότητας επαναλήψεως εκπομπής μπορεί να δώσει τον ενδιάμεσο χρόνο μεταξύ δύο παλμών (περίοδος σιγής), αν από αυτή αφαιρεθεί η διάρκεια παλμού εκπομπής. Μαθηματικά θα ισχύει:

$$f_r = 1/PRF = 1/T$$

Ένα ραντάρ μπορεί να μεταδίδει και λαμβάνει ακολουθίες παλμών όπως φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 2.18: Ακολουθίες παλμών

Σε κάθε PRI το ραντάρ εκπέμπει ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς για T δευτερόλεπτα και ανιχνεύει τους επιστρεφόμενους στο υπόλοιπο διάστημα PRI. Αν τ είναι το πλάτος του παλμού το duty cycle dt της εκπομπής του ραντάρ μπορεί να δοθεί από τη σχέση:

$$dt = \tau/T$$

Αν τώρα πολλαπλασιαστεί η διάρκεια του παλμού εκπομπής με την ταχύτητα διάδοσης των παλμών προκύπτει το μήκος κύματος παλμού.

Έστω ότι η μέση τιμή της μεταδιδόμενης ισχύος είναι P_t , τότε η μέση τιμή της μεταδιδόμενης ισχύος για το ραντάρ αυτό είναι:

$$P_{\text{μέσο}} = P_t * dt$$

Ενώ η ενέργεια του παλμού είναι:

$$E_{\text{παλμού}} = P_t * \tau = P_{\text{μέσο}} * T = P_{\text{μέσο}} /$$

Μία άλλη παράμετρος που αξίζει να αναφερθεί είναι η ενεργός επιφάνεια ραντάρ (RCS), η οποία σχετίζεται με τα ποιοτικά και γεωμετρικά χαρακτηριστικά του στόχου, και αποτελεί τη συνολική ενεργό επιφάνεια του στόχου που ανακλά το σήμα του ραντάρ που προσπίπτει πάνω του.

$$\text{Δίνεται από τη σχέση: } \sigma = \frac{\text{ανακλώμενη ισχύς/μοναδιαία στερεά γωνία}}{\text{εισερχόμενη πυκνότητα ισχύος}/4\pi}$$

2.3. ΕΙΔΗ RADAR

Τα ραντάρ μπορούν να διαχωριστούν σε πολλές κατηγορίες, ανάλογα το σκοπό για τον οποίο χρησιμοποιούνται και διάφορα άλλα χαρακτηριστικά όπως τον τύπο της κεραίας και τη συχνότητα λειτουργίας. Σύμφωνα με τον τομέα εφαρμογής μπορεί να έχουμε ναυτικά ραντάρ, αερομεταφερόμενα και εδάφους. Εξειδικευμένες λειτουργίες μπορεί να τα διαχωρίζουν σε ραντάρ παρακολούθησης, προειδοποίησης, μετεωρολογικά, για ερευνητικούς σκοπούς και άλλα.

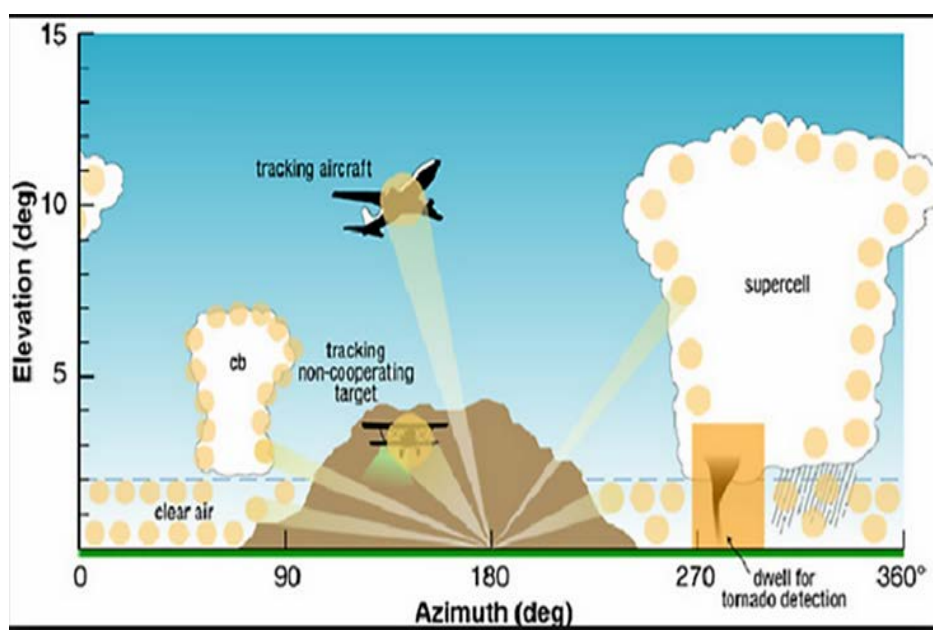
Πιο συγκεκριμένα, υπάρχουν ραντάρ ανιχνεύσεως επιφανείας που χρησιμοποιούνται ευρύτατα στη ναυσιπλοΐα. Μπορούν να εγκατασταθούν σε ακτές ή πάνω σε πλοία για ανίχνευση του επιπέδου της θάλασσας και του εναέριου χώρου πάνω από αυτή σε μικρό ύψος. Έχουν την ικανότητα ανίχνευσης και παροχής πληροφοριών σχετικά με στερεά αγωγίμα αντικείμενα— στόχους στην επιφάνεια της θάλασσας ή χαμηλά στον αέρα, σε αποστάσεις πέρα από τον ορατό ορίζοντα και ανεξαρτήτως περιβαλλοντικών και συνθηκών, κυρίως αναφορικά με την ορατότητα. Κατ' αυτόν τον τρόπο γίνεται ο πολύ σημαντικός εντοπισμός εχθρικών πλοίων και άλλων αντικειμένων. Χάρη σε αυτά μπορεί να εξασφαλιστεί η ασφάλεια στη ναυσιπλοΐα.

Κάποια άλλα ραντάρ χρησιμοποιούνται στην αεροναυτιλία, για την ακριβή μέτρηση του ύψους πτήσεων των αεροσκαφών και σε διαδρόμους αεροδρομίων. Τα ραντάρ ελέγχου

προσγειώσεων αεροσκαφών στους αεροδιαδρόμους έχουν μεν μικρή εμβέλεια αλλά πολύ μεγάλη ακρίβεια στις πληροφορίες που δίνουν σχετικά με διάφορες παραμέτρους που αφορούν τη θέση και την κατεύθυνση του αεροπλάνου, οι οποίες είναι κρίσιμες για την προσγείωσή του, ακόμα και με ελάχιστη ορατότητα. Τα ραντάρ ανίχνευσης αέρα μπορούν να τοποθετηθούν σε κορυφογραμμές και σε πλοία για ανίχνευση του εναέριου χώρου σε μεγάλες αποστάσεις οριζοντίως και καθέτως.

Με τη βοήθειά τους καθίσταται εφικτός ο προσανατολισμός των αεροσκαφών, άρα και οι εναέριες μεταφορές, ενώ σημαντική είναι η συμβολή τους στην άμυνα, καθώς μπορούν να εντοπιστούν εχθρικά αεροσκάφη από μεγάλες αποστάσεις. Τα μετεωρολογικά ραντάρ χρησιμοποιούνται για την πρόβλεψη καιρικών συνθηκών. Ιδιαίτερη είναι η σημασία τους στον έγκαιρο εντοπισμό ακραίων καιρικών φαινομένων, όπως κυκλώνων και καταιγίδων. Τα ραντάρ ανίχνευσης κίνησης χρησιμοποιούνται για αυτοματισμούς που ενεργοποιούνται με την κίνηση εντός σταθερών χώρων, για άναμμα φώτων σε σχετικές εγκαταστάσεις, συναγερμούς και άλλων λειτουργιών. Παρόμοια είναι η λειτουργία ραντάρ που μετρούν ταχύτητες, όπως πχ ταχύτητες αυτοκινήτων σε αυτοκινητόδρομους. Το ίδιο πραγματοποιείται και στην περίπτωση πλοίων, εάν υπάρχει περιορισμός ταχύτητας. Τα ραντάρ ελέγχου πυρός παρέχουν τα απαραίτητα στοιχεία βολής και διόρθωσης κατεύθυνσης συγκεκριμένων τηλεκατευθυνόμενων βλημάτων.

Κάποια ραντάρ χρησιμοποιούν κεραίες συστοιχίας φάσεως, δηλαδή μια ιδιαιτέρως σύνθετη κεραία με τουλάχιστον δύο στοιχεία ακτινοβολίας. Οι κίνηση των απαιτούμενων λοβών που συμμετέχουν στη διαμόρφωση τέτοιων κεραιών γίνεται μηχανικά ή ηλεκτρονικά. Η λειτουργία των ραντάρ συστοιχίας φάσεως φαίνεται στην ακόλουθη εικόνα:

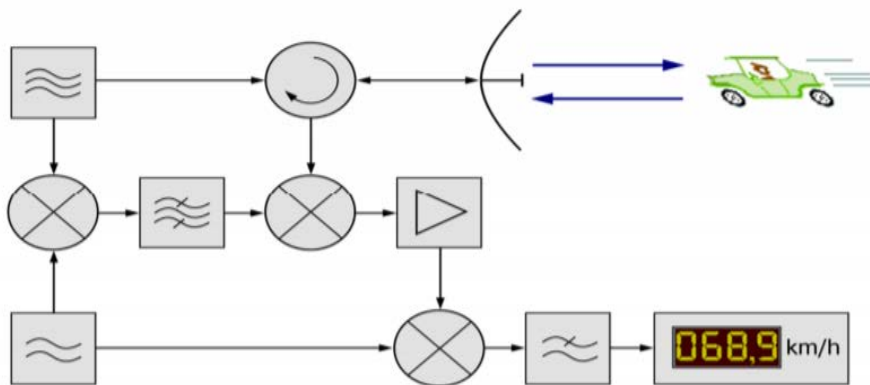


Εικόνα 2.19: Ραντάρ συστοιχίας φάσης

Ακόμη, ανάλογα με το αν υπάρχει πομπός ή όχι τα ραντάρ διαχωρίζονται σε ενεργητικά, παθητικά ή υβριδικά.

Μία σημαντική ταξινόμηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση τις συχνότητες ή το μήκος κύματος των κυματομορφών που χρησιμοποιούν. Συγκεκριμένα, υπάρχουν τα ραντάρ συνεχούς κυματομορφής (Continuous Wave – CW), τα οποία εκπέμπουν συνεχώς ενέργεια και χρησιμοποιούν ξεχωριστές κεραίες εκπομπής και λήψης. Ραντάρ μη διαμορφωμένου σήματος CW έχουν τη δυνατότητα ακριβούς μέτρησης ταχύτητας και απόστασης, η οποία βέβαια προϋποθέτει διαμόρφωση του σήματος.

Το μπλοκ διάγραμμα του CW ραντάρ είναι το ακόλουθο:



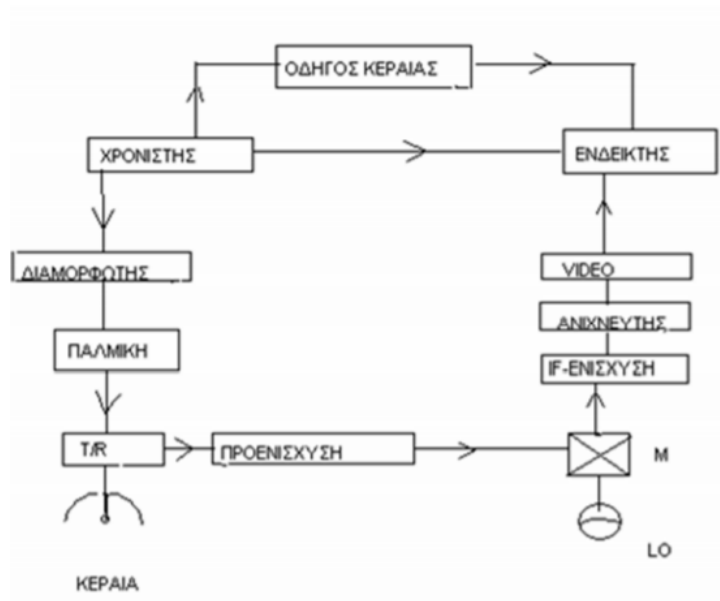
Εικόνα 2.20: Μπλοκ διάγραμμα του CW radar

Τα παλμικά ραντάρ (Pulsed Radar – PR) χρησιμοποιούν μια ακολουθία διαμορφωμένων παλμών υψηλής ισχύος εναλλάσσοντας διαδοχικά τους κύκλους εκπομπής και λήψης, με σκοπό τον προσδιορισμό της απόστασης του στόχου μέσω της μέτρησης της χρονικής διαφοράς μεταξύ εκπεμπόμενου και του ληφθέντος σήματος. Μπορούν να διαχωριστούν περαιτέρω βάσει της συχνότητας που επαναλαμβάνονται οι παλμοί. Έτσι προκύπτουν ραντάρ χαμηλού RPF για εντοπισμό θέσης αντικειμένου – στόχου όταν η ταχύτητά του δεν ενδιαφέρει, μεσαίου και υψηλού RPF που δίνουν έμφαση στην ανίχνευση ταχύτητας. Στην ακόλουθη εικόνα απεικονίζεται ένα παλμικό ραντάρ:



Εικόνα 2.21: Παλμικό ραντάρ

Επίσης, δίνεται το μπλοκ – διάγραμμα του παλμικού ραντάρ:



Εικόνα 2.22: Μπλοκ διάγραμμα παλμικού ραντάρ

Ο παρακάτω πίνακας δίνει αναλυτικά τις διάφορες ζώνες συχνοτήτων

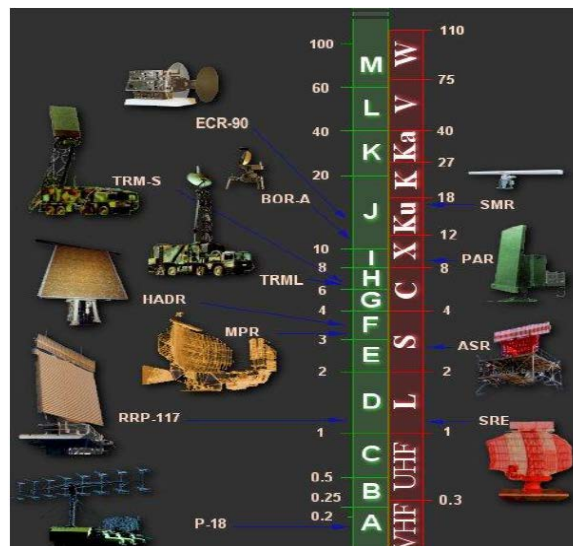
| ΣΥΧΝΟΤΗΤΕΣ & ΧΡΗΣΕΙΣ ΤΩΝ RADAR (για τις πλέον σημαντικές εφαρμογές) | | | |
|---|-----------------|----------------|------------------------------------|
| Σύμβολο | Ζώνη Συχνοτήτων | Μήκη Κύματος | Τύπος Radar |
| Ζώνης | F (GHz) | λ (cm) | (εφαρμογές) |
| L | 1,35 - 1,40 | 22,2 - 21,4 | διάφορα στρατιωτικά Radar |
| S | 2,45 - 2,69 | 12,3 - 11,2 | Radar για πολιτικές χρήσεις |
| S | 2,70 - 2,90 | 11,1 - 10,4 | επιτήρηση στρατιωτικών αεροδρομίων |
| S | 2,90 - 3,10 | 10,4 - 9,7 | Radar για τη ναυσιπλοία |
| S | 2,90 - 3,70 | 10,4 - 8,1 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| C | 4,2 - 4,4 | 7,1 - 6,8 | διάφορα υψομετρικά Radar |
| C | 5,35 - 5,47 | 5,6 - 5,5 | Radar καιρού (μετεωρολογικά) |
| C | 5,25 - 5,925 | 5,7 - 5,1 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| X | 8,5 - 10,55 | 3,53 - 2,84 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| X | 9,0 - 9,2 | 3,33 - 3,26 | Radar για προσέγγιση ακριβείας |
| X | 9,3 - 9,5 | 3,23 - 3,16 | Radar καιρού και ναυσιπλοίας |
| X | 10,525 | 2,85 | Radar για την |

| | | | |
|----|---------------|-------------|----------------------------|
| | | | αστυνομία |
| X | 8,5 - 10,55 | 3,53 - 2,84 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| Ku | 15,7 - 17,7 | 1,91 - 1,70 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| K | 24,15 | 1,24 | Radar για την αστυνομία |
| K | 24,25 - 25,25 | 1,24 - 1,19 | Radar για την αεροπλοία |
| Ka | 31,8 - 33,4 | 0,94 - 0,90 | Radar για την αεροπλοία |
| Ka | 33,4 - 36,0 | 0,90 - 0,83 | Radar για ποικίλες χρήσεις |
| V | 43,0 - 48,0 | 0,70 - 0,63 | Radar για ποικίλες χρήσεις |

Πίνακας 2.1: Συχνότητες και χρήσεις ραντάρ

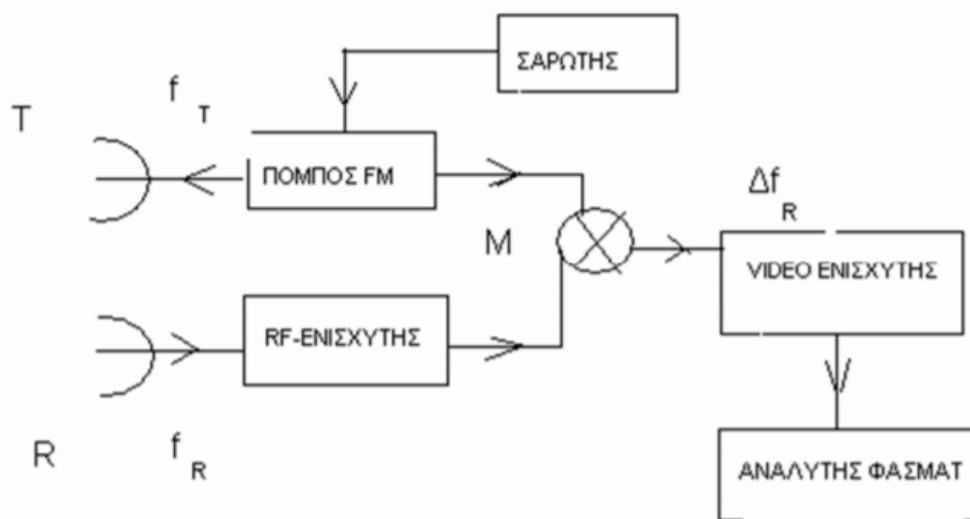
Για τον εντοπισμό αντικειμένων πέρα από τον ορίζοντα χρησιμοποιούνται υψηλής συχνότητας ραντάρ (High Frequency – HF) τα οποία εκμεταλλεύονται την αντανάκλαση των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων στην ιονόσφαιρα. Ακόμα πιο υψηλές συχνότητες χρησιμοποιούνται σε μεγάλο εύρους προειδοποιητικά ραντάρ (Early Warning Radars – EWR). Ειδικότερα, τα ραντάρ αυτά χρησιμοποιούν πολύ υψηλές συχνότητες (Very High Frequency – VHF) και υπερυψηλές συχνότητες (Ultra High Frequency – UHF).

Για ναυτικά ραντάρ ή ραντάρ εδάφους για χρήση στον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας ή για στρατιωτικούς λόγους χρησιμοποιούνται ραντάρ L – μπάντας (L – band) όταν απαιτείται μεγάλη ακτίνα δράσης. Στην S – μπάντα (S – band) λειτουργούν τα ναυτικά ραντάρ ή τα ραντάρ εδάφους που απαιτούν μεσαία ακτίνα δράσης. Στη C – μπάντα (C – band) λειτουργούν τα μετεωρολογικά ραντάρ. Στη X – μπάντα (X – band) λειτουργούν αερομεταφερόμενα στρατιωτικά ραντάρ, όταν υπάρχει περιορισμός του μεγέθους της κεραίας, αλλά και όταν απαιτείται πολύ υψηλή δυνατότητα στον εντοπισμό στόχων ανεξαρτήτως της εξασθένησης που υπεισέρχεται λόγω ατμοσφαιρικών περιορισμών. Στις K και Ka μπάντες, οι οποίες είναι μπάντες υψηλών συχνοτήτων, οι εξασθενήσεις λόγω περιβαλλοντικών συνθηκών είναι έντονες, γι’ αυτό και χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές μικρής εμβέλειας. Τα είδη ραντάρ σε σχέση με τις συχνότητες λειτουργίας τους φαίνονται και στην παρακάτω εικόνα:



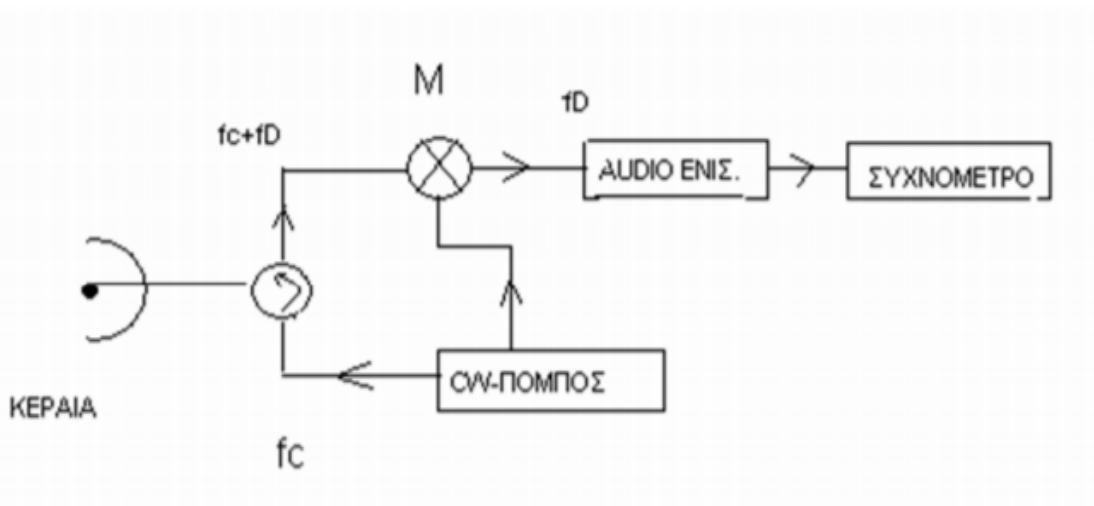
Εικόνα 2.23: Είδη ραντάρ σε σχέση με τις συχνότητες λειτουργίας τους

Η θέση ενός στόχου μπορεί να προσδιοριστεί μέσω της διαμόρφωσης συχνότητας FM και ενός FM ραντάρ. Στην διαμόρφωση συχνότητας FM η συχνότητα του φέροντος σήματος μεταβάλλεται σύμφωνα με το πλάτος του σήματος πληροφορίας. Το διαμορφωμένο σήμα που προκύπτει από τη διαμόρφωση έχει σταθερό πλάτος άλλα μεταβαλλόμενη συχνότητα. Στα σημεία εκείνα που το σήμα πληροφορίας έχει μεγάλο πλάτος έχουμε αύξηση της συχνότητας του φέροντος και όπου το σήμα πληροφορίας έχει μικρό πλάτος έχουμε μείωση της συχνότητας του φέροντος. Το FM ραντάρ περιέχει μια γεννήτρια σάρωσης, η οποία παράγει μια τριγωνική κυματομορφή για τη διαμόρφωση της συχνότητας φορέα. Η διαμορφωμένη πλέον κυματομορφή εκπέμπεται προς τον στόχο και αφότου ανακλαστεί οδηγείται για ενίσχυση και μείξη, απ' όπου λαμβάνεται η διαφορά συχνοτήτων σε σχέση με το αρχικό εκπεμπόμενο σήμα, η οποία και ενισχύεται στη συνέχεια. Το μπλοκ διάγραμμα του FM ραντάρ δίνεται στη συνέχεια:



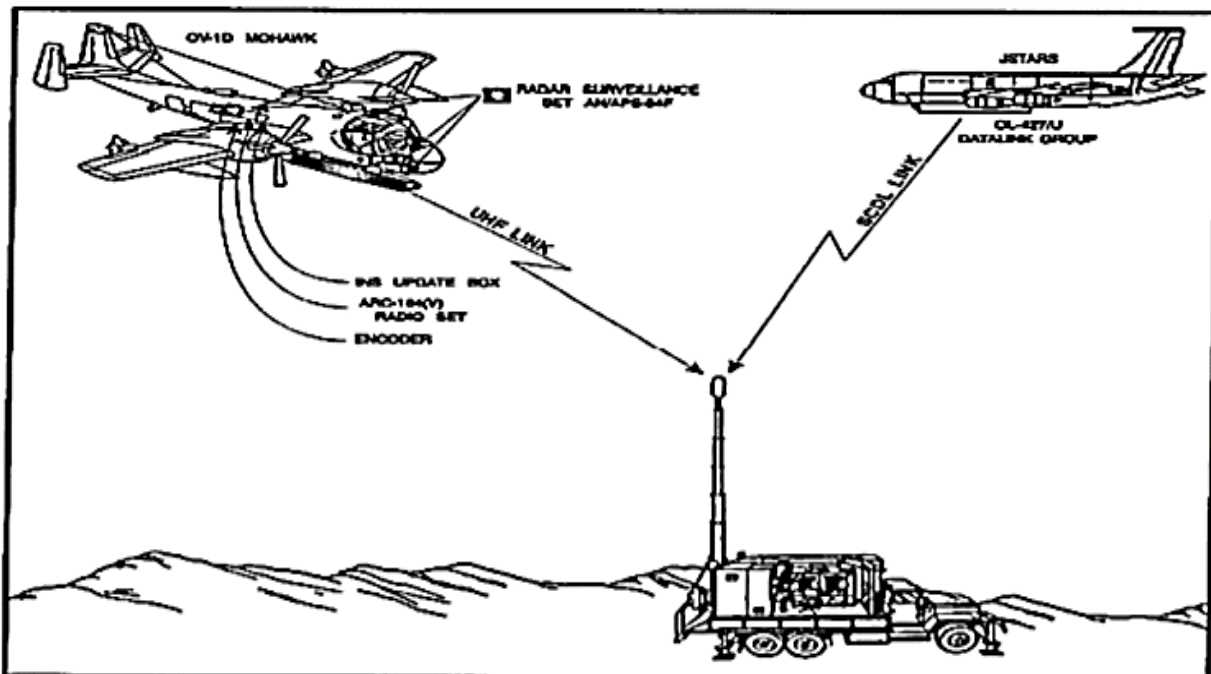
Εικόνα 2.24: Μπλοκ διάγραμμα FM radar

Ακόμη, υπάρχουν ραντάρ που για τον προσδιορισμό της ταχύτητας του στόχου χρησιμοποιείται η σύγκριση συχνοτήτων με τη βοήθεια του φαινομένου Doppler και δεν είναι αναγκαία η διαμόρφωση του σήματος. Το μπλοκ – διάγραμμα του ραντάρ Doppler, όπως αυτό ονομάζεται, απεικονίζεται ακολούθως:



Εικόνα 2.25: Μπλοκ διάγραμμα του ραντάρ Doppler

Σε περίπτωση παρουσίας έντονου περιβαλλοντικού θορύβου και επιθυμίας ανίχνευσης κινούμενων στόχων μπορεί να χρησιμοποιηθεί ραντάρ ένδειξης κινούμενου στόχου (MTI), το οποίο απεικονίζεται ακολούθως:



Εικόνα 2.26: Ραντάρ ένδειξης κινούμενου στόχου

2.4 ΕΞΙΣΩΣΕΙΣ RADAR

Ένα ραντάρ μπορεί να προσομοιωθεί ως μια ιστροπική κεραία, μια κεραία δηλαδή η οποία εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις ίση ενέργεια. Το διάγραμμα ακτινοβολίας τέτοιων κεραιών είναι σφαιρικό, συνεπώς, μπορεί να οριστεί μια ανώτερη τιμή (peak) πυκνότητας ισχύος, δηλαδή ισχύς ανά μονάδα επιφανείας σε κάθε σημείο του χώρου, με μονάδα μέτρησης τα Watt/m^2 . Η μέγιστη πυκνότητα ισχύος λοιπόν, μπορεί να εκφραστεί από τη σχέση:

$$P_D = \text{peak εκπεμπόμενη ισχύς} / \text{σφαιρική επιφάνεια}$$

Θεωρώντας ότι το μέσο στο οποίο το ραντάρ εκπέμπει δεν έχει απώλειες, και ορίζοντας ως P_t τη μέγιστη μεταδιδόμενη ισχύ και ως $4\pi R^2$ την επιφάνεια σφαίρας ακτίνας R , η πυκνότητα ισχύος σε κάθε απόσταση R θα είναι:

$$P_D = P_t / 4\pi R^2$$

Κατευθυντικές κεραιές μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ένα ραντάρ με σκοπό την αύξηση της πυκνότητας ισχύος προς μία συγκεκριμένη κατεύθυνση. Οι κεραιές αυτές χαρακτηρίζονται από το κέρδος της κεραίας G και την ενεργή επιφάνεια A_e της κεραίας, τα οποία συνδέονται με την ακόλουθη σχέση:

$$G = 4\pi A_e / \lambda^2$$

Όπου λ είναι το μήκος κύματος. Η ενεργή και η φυσική επιφάνεια της κεραίας συνδέονται με τη σχέση:

$$A_e = \rho A$$

$$0 \leq \rho \leq 1$$

Όπου το ρ είναι ο βαθμός απόδοσης της κεραίας και για να θεωρηθεί μια κεραία καλή, η τιμή του ρ θα πρέπει να προσεγγίζει τη μονάδα. Θεωρώντας λοιπόν αυτή την ιδανική περίπτωση μπορούμε να πούμε ότι:

$$A_e = A$$

Επιπροσθέτως, κάνουμε τη σύμβαση ότι το κέρδος κατά τη μετάδοση και τη λήψη είναι ο ίδιος.

Το κέρδος ακόμη σχετίζεται με το εύρος των λοβών της κεραίας κατά τις αζιμουθιακές γωνίες και της ανύψωσης μέσω της σχέσης:

$$G = 4k\pi / \theta\epsilon\theta\alpha$$

Όπου το k εξαρτάται από το φυσικό σχήμα της επιφάνειας και επίσης $k \leq 1$. Οι γωνίες $\theta\epsilon$ και $\theta\alpha$ είναι αντίστοιχα τα πλάτη των λοβών κατά τις διευθύνσεις ανύψωσης και αζιμούθιου σε ακτίνια.

Μια καλή προσέγγιση της παραπάνω σχέσης είναι:

$$G = 26000 / \theta\epsilon\theta\alpha$$

Οι γωνίες στην περίπτωση αυτή είναι σε μοίρες. Για γνωστό κέρδος κεραίας G , η κατευθυντική κεραία του ραντάρ σε απόσταση R δίνεται από τη σχέση:

$$P_D = G * P_t / 4\pi R^2$$

Η ποσότητα G μετριέται σε dB_i .

Έστω τώρα ότι η ακτινοβολούμενη ενέργεια του ραντάρ προσπίπτει σε στόχο. Τότε, τα ρεύματα που επάγονται στην επιφάνεια του αντικειμένου εκπέμπουν προς κάθε κατεύθυνση ηλεκτρομαγνητική ενέργεια, η οποία είναι ανάλογη του μεγέθους του αντικειμένου, των γεωγραφικών χαρακτηριστικών, του προσανατολισμού και του υλικού του. Η ραδιοτομή ή ηλεκτρομαγνητικό ίχνος ή επιφάνεια σκέδασης (Radar cross section), περιγράφει τα χαρακτηριστικά αυτά του αντικειμένου – στόχου και σηματοδοτείται με το γράμμα σ . Η ποσότητα αυτή μπορεί να οριστεί ως ο λόγος της ανακλώμενης ισχύος P_r προς την κατεύθυνση του ραντάρ προς την προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος, και μονάδα μέτρησης είναι τα τετραγωνικά μέτρα (m^2):

$$\sigma = P_r / P_D$$

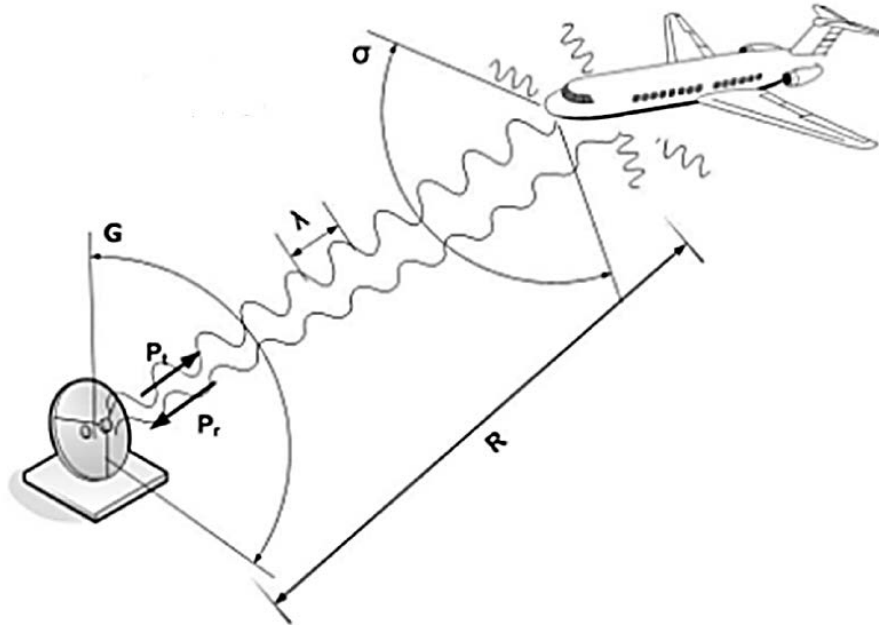
Τελικά, η σχέση που δίνει τη συνολική λαμβανόμενη ισχύ η οποία θα οδηγηθεί από την κεραία στο ραντάρ για επεξεργασία είναι:

$$P_{Dr} = P_t * \sigma * G * A_e / 16\pi^2 R^4$$

Για να υπολογιστεί η μέγιστη απόσταση R_{max} στην οποία το ραντάρ μπορεί να ανιχνεύσει οτιδήποτε, απαιτείται η γνώση της ελάχιστης ανιχνεύσιμης ισχύος S_{min} και μπορεί να δοθεί απ' τη σχέση:

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{\sigma P_t G^2 \lambda^2}{S_{\min} (4\pi)^3}}$$

Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζονται σχηματικά οι προαναφερόμενες παράμετροι:



Εικόνα 2.27: Παράμετροι ραντάρ

Σε πραγματικές εφαρμογές τα λαμβανόμενα σήματα θα είναι σε κάποιο ποσοστό αλλοιωμένα λόγω της παρουσίας θορύβου, ο οποίος είναι εκ φύσεως μια στοχαστική διαδικασία που εισάγει παραμορφώσεις σε όλες τις συχνότητες λειτουργίας. Η συνάρτηση φασματικής πυκνότητας ισχύος (Power spectra density – PSD) μαζί με το εύρος ζώνης λειτουργίας του ραντάρ B μπορούν να εκφράσουν την ισχύ του θορύβου N μέσω της σχέσης:

$$N = B * PSD$$

Για να υπολογιστεί η απόδοση του δέκτη πρέπει να είναι γνωστοί οι σηματοθρομβικοί λόγοι εισόδου SNR_i και εξόδου SNR_o . Γενικότερα, σηματοθρομβικός λόγος (Signal to Noise ratio – SNR) είναι όπως η λέξη ορίζει ο λόγος του σήματος (S – signal) προς το θόρυβο (N – noise), δηλαδή:

$$SNR = S / N$$

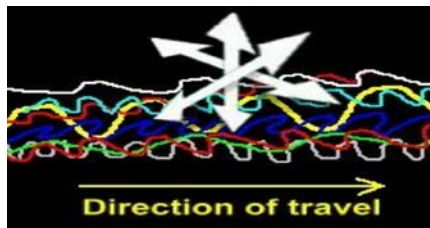
Έτσι λοιπόν αν S_i το σήμα εισόδου N_i ο θόρυβος εισόδου του δέκτη και αντίστοιχα S_o το σήμα εξόδου και N_o ο θόρυβος εξόδου, τότε η απόδοση, ονομαζόμενη ως noise figure F θα είναι:

$$F = \text{SNR}_i / \text{SNR}_o = \frac{S_i}{N_i} / \frac{S_o}{N_o}$$

2.5 ΠΟΛΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΩΝ ΚΥΜΑΤΩΝ

Η πόλωση αποτελεί γνώρισμα των εγκάρσιων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ας θεωρήσουμε αρχικά μια πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, πχ φωτός. Ένα τέτοιο ηλεκτρομαγνητικό κύμα οφείλεται σε πλήθος ανεξάρτητων μεταξύ τους ατόμων ή μορίων, τα οποία μπορεί να κινούνται άτακτα προς οποιαδήποτε κατεύθυνση, με αποτέλεσμα η παραγόμενη ακτινοβολία από τις κινήσεις αυτές να μη μπορεί να χαρακτηριστεί από συγκεκριμένη διεύθυνση, δηλαδή να είναι μη πολωμένη.

Στην περίπτωση αυτή η υπέρθεση όλων των κατευθυνόμενων ηλεκτρομαγνητικών πεδίων που οφείλεται στην κάθε συνιστώσα των επιμέρους πηγών λόγω των άτακτων κινήσεων που συνεισφέρουν στην τελική πηγή οδηγεί σε μια τελική κατεύθυνση η οποία μεταβάλλεται με το χρόνο. Στην παρακάτω εικόνα απεικονίζεται ένα μη πολωμένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπως πχ το φως:



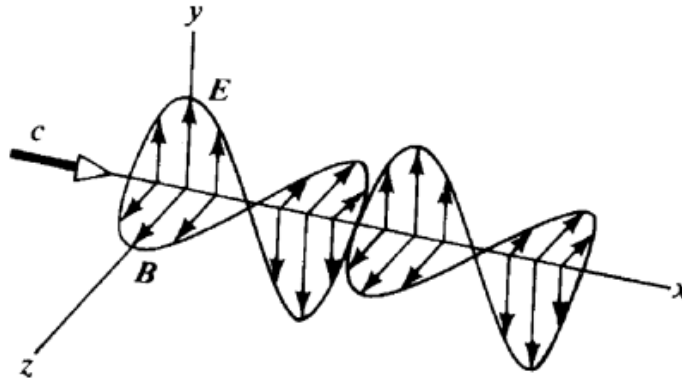
Εικόνα 2.28: Μη πολωμένη ακτινοβολία

Από την άλλη, πολωμένο είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα του οποίου οι επιμέρους πηγές (άτομα ή μόρια) κινούνται προς την ίδια κατεύθυνση.

Η κατανομή των επιπέδων πόλωσης ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος περί τη διεύθυνση διάδοσης είναι συμμετρική. Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να παρασταθεί με τη βοήθεια δύο ασύμφωνων και ορθογωνίων μεταξύ τους γραμμικά πολωμένων κυμάτων με ίδια ένταση. Στην περίπτωση λοιπόν των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων συγκεκριμένα:

Ένα ηλεκτρομαγνητικό κύμα διαθέτει δύο συνιστώσες, το ηλεκτρικό πεδίο (E) και το μαγνητικό (B), τα οποία είναι κάθετα μεταξύ τους. Όταν ένα τέτοιο κύμα είναι μη πολωμένο, το διάνυσμα E κινείται στο χώρο με τυχαίο τρόπο χωρίς να παρουσιάζει κάποια κατευθυντικότητα. Η πόλωση λοιπόν ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος μπορεί να καθοριστεί από την κατεύθυνση του διανύσματος της ηλεκτρικής συνιστώσας E , η οποία θα είναι κάθετη στη διεύθυνση διάδοσης του

κύματος. Έτσι, όταν το πέρασ του διανύσματος E διαγράφει συγκεκριμένη τροχιά στο χώρο, το κύμα θεωρείται πολωμένο.

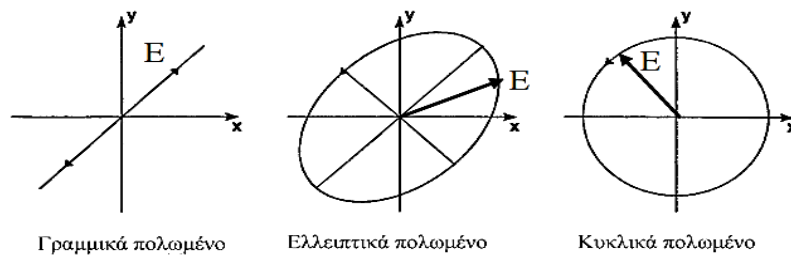


Εικόνα 2.29: ΗΜ κύμα

Η διεύθυνση ταλάντωσης του ηλεκτρικού πεδίου καθορίζει το είδος της πόλωσης:

- Αν η κατεύθυνση του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου E παραμένει αμετάβλητη με το πέρασμα του χρόνου, με αποτέλεσμα το πέρασ του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου να ταλαντώνεται πάνω στην ίδια ευθεία, το κύμα παρουσιάζει γραμμική πόλωση.
- Αν το πέρασ του διανύσματος του ηλεκτρικού πεδίου E διαγράφει κυκλική τροχιά, η πόλωση είναι κυκλική, η οποία ανάλογα με την κατεύθυνση περιστροφής διαχωρίζεται σε δεξιόστροφη και αριστερόστροφη.
- Αν το πέρασ του διανύσματος E κινείται σε ελλειπτική τροχιά, η πόλωση είναι ελλειπτική, η οποία όπως στην περίπτωση της κυκλικής πόλωσης, χωρίζεται σε δεξιόστροφη και αριστερόστροφη.

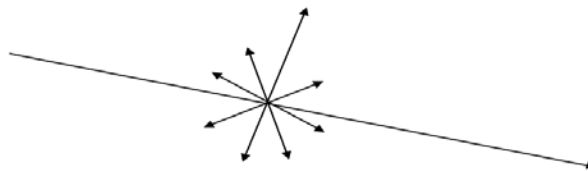
Τα διάφορα ήδη πόλωσης απεικονίζονται ακολούθως:



Εικόνα 2.30: Είδη πόλωσης

Ένα μη πολωμένο ηλεκτρομαγνητικό κύμα μπορεί να πολωθεί από ανάκλαση (φυσική πόλωση), από σκέδαση ή με χρήση πολωτή.

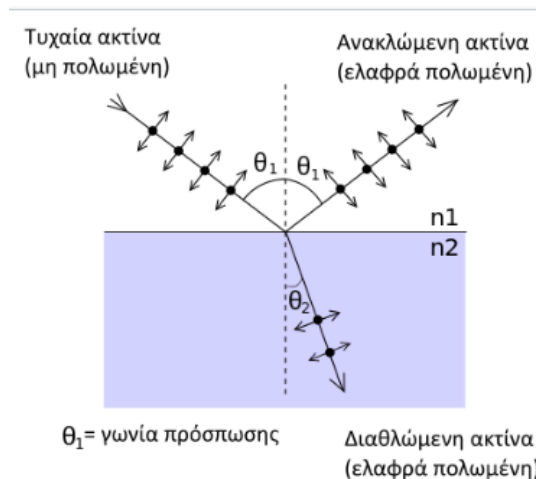
Στην πρώτη περίπτωση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπίπτει σε μια επιφάνεια. Υποθέτουμε ότι αυτή η ακτινοβολία είναι μη πολωμένη. Ένα μέρος αυτής διαθλάται περνώντας μέσα στο υλικό μέσο στο οποίο προσπίπτει το κύμα, με αποτέλεσμα να αλλάξει η γωνία διάδοσής του στο υλικό αυτό. Το υπόλοιπο τμήμα ανακλάται, δηλαδή συνεχίζει να διαδίδεται στο αρχικό μέσο σχηματίζοντας ίδια γωνία ως προς την κάθετο. Η ανακλώμενη και η διαθλώμενη συνιστώσα είναι μερικώς πολωμένες, κάτι το οποίο συμβαίνει όταν υπερτεθεί μη πολωμένη ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία με πλήρως πολωμένη:



Εικόνα 2.31: Μερική πόλωση

Η ανακλώμενη πολώνεται ελαφρά με επίπεδο πόλωσης ίδιο με αυτό του υλικού, ενώ η διαθλώμενη πολώνεται ελαφρά προς το κάθετο επίπεδο σε σχέση με αυτό του υλικού (άρα κάθετο και στο επίπεδο της ανακλώμενης). Αυτό συμβαίνει στις περιπτώσεις που η προσπίπτουσα ακτινοβολία είναι σε γωνία $0 < \theta < 90^\circ$. Διαφορετικά δεν παρουσιάζεται φαινόμενο πόλωσης. Έχει παρατηρηθεί ότι η πόλωση είναι μέγιστη (ολική πόλωση) όταν η προσπίπτουσα είναι σε γωνία $\theta = 56^\circ$ (γωνία πρόσπτωσης Μπριούστερ), οπότε η ανακλώμενη και η διαθλώμενη συνιστώσα είναι κάθετες μεταξύ τους.

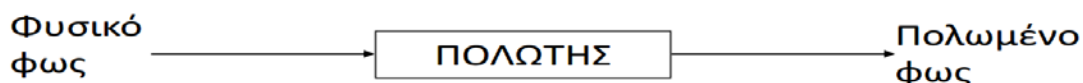
Σημειώνεται ότι υπό πραγματικές συνθήκες ένα μικρό ποσοστό, συνήθως αμελητέο, απορροφάται από το υλικό μέσο, με αποτέλεσμα να προκαλείται έκλυση θερμότητας, είτε διαχέεται είτε σκεδάζεται.



Εικόνα 2.32: Ανακλώμενες και διαθλώμενες ακτίνες

Στην περίπτωση της πόλωσης από σκέδαση, η προσπίπτουσα ακτινοβολία απορροφάται και στη συνέχεια επανεκπέμπεται προς κάθε κατεύθυνση. Οι συχνότητες των επιμέρους ακτίνων που αποτελούν το κύμα αυτό παραμένουν αμετάβλητες. Το μπλε χρώμα του ουρανού οφείλεται σε αυτό το φαινόμενο, καθώς η μπλε ακτινοβολία διαχέεται κατά την πρόσπτωση της ηλιακής ακτινοβολίας στα μόρια της ατμόσφαιρας.

Στην περίπτωση της πόλωσης με χρήση πολωτικού φίλτρου, η προσπίπτουσα ακτινοβολία μετά τη διέλευσή της από τον πολωτή εξέρχεται γραμμικά πολωμένη, με κατεύθυνση πόλωσης η οποία καθορίζεται από τον πολωτή.



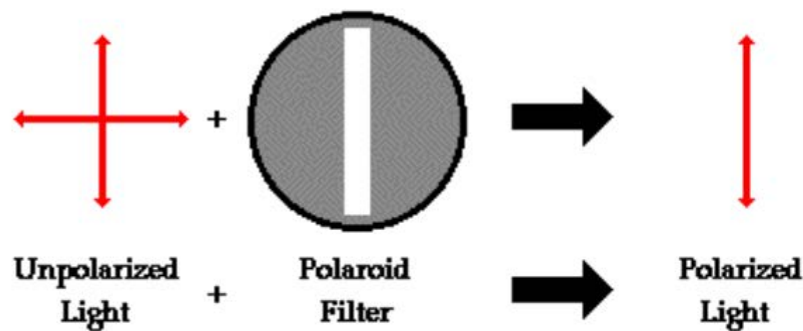
2.6. ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ ΚΕΡΑΙΩΝ RADAR

Η κεραία είναι μια διάταξη που χρησιμοποιείται για να ακτινοβολεί ή να δέχεται ραδιοκύματα. Με απλά λόγια, αποτελεί μια μεταλλική κατασκευή η οποία έχει ως κύρια λειτουργία της την μετατροπή της ενέργειας των υψίσυχνων τάσεων ή ρευμάτων σε ηλεκτρομαγνητικά κύματα στην περίπτωση που η κεραία χρησιμοποιείται ως εκπομπός και την μετατροπή της ενέργειας των εισερχόμενων ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων σε τάση και ρεύμα αν λειτουργεί ως δέκτης. Χαρακτηριστικά μιας κεραίας είναι:

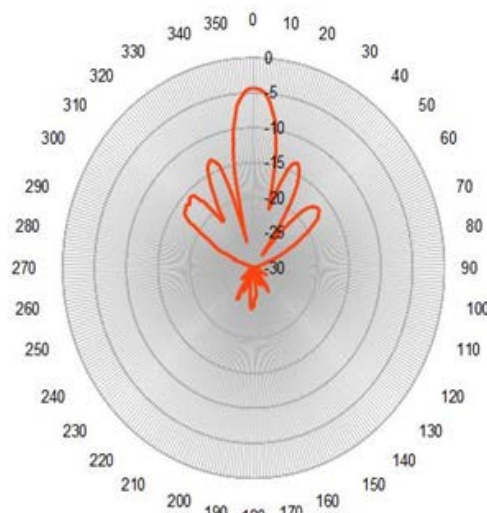
- Το **διάγραμμα ακτινοβολίας**, δηλαδή η μαθηματική συνάρτηση ή η γραφική παράσταση του τρόπου ακτινοβολίας μιας κεραίας καθώς μεταβάλλεται το σημείο παρατήρησης του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου. Στις περισσότερες περιπτώσεις πρακτικού

ενδιαφέροντος, το διάγραμμα ακτινοβολίας προσδιορίζεται για τη μακρινή περιοχή μιας κεραίας και σχεδιάζεται ως συνάρτηση των συντεταγμένων διεύθυνσης θ και ϕ ενός κατάλληλα επιλεγμένου συστήματος σφαιρικών συντεταγμένων με κέντρο, συνήθως, το γεωμετρικό κέντρο της κεραίας. Η κύρια δέσμη που αλλιώς ονομάζεται και κύριος λοβός αποτελεί την περιοχή γύρω από τη μέγιστη περιοχή και συνήθως είναι η περιοχή που απέχει 3dB από το μέγιστο της δέσμης.

Οι πλευρικοί λοβοί (sidelobes) είναι μικρότερες δέσμες, και συνήθως αποτελούν ανεπιθύμητη ακτινοβολία, η οποία όμως είναι δύσκολο να εξαλειφθεί. Μια σημαντική παράμετρος είναι ο λόγος των πλευρικών λοβών, ο οποίος ορίζεται ως η μέγιστη τιμή που απέχει ο κύριος λοβός από τους πλευρικούς με μονάδα μέτρησης το Decibel. Εάν ένας λοβός βρίσκεται αντιδιαμετρικά του κύριου λοβού ονομάζεται οπίσθιος (backlobe).

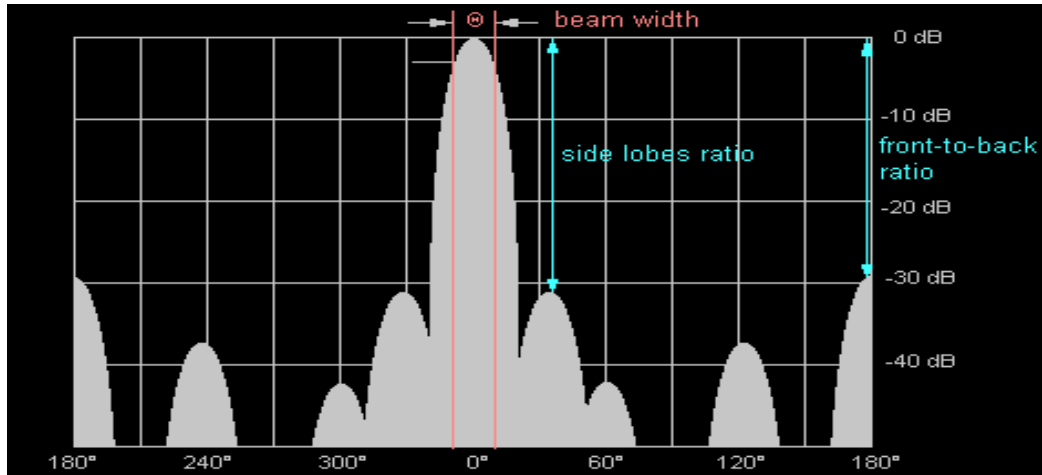


Στο παραπάνω διάγραμμα ακτινοβολίας ο κύριος λοβός (main lobe) είναι αυτός που έχει κατεύθυνση προς τα επάνω.



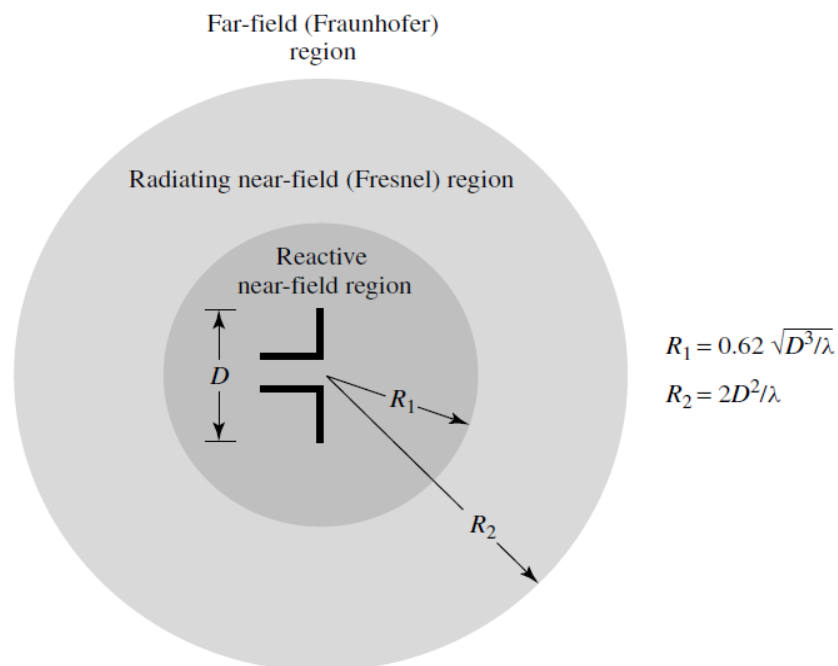
Εικόνα 2.34: Διάγραμμα ακτινοβολίας

Το διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να εκφραστεί και σε καρτεσιανές συντεταγμένες:



Εικόνα 2.35: Καρτεσιανό διάγραμμα ακτινοβολίας

- **Οι περιοχές ακτινοβολίας.** Ο χώρος που περιβάλλει ένα ακτινοβολητή διακρίνεται σε τρεις περιοχές: την κοντινή περιοχή, την περιοχή Fresnel, και την μακρινή περιοχή Fraunhofer.



Εικόνα 2.36: Οι τρεις περιοχές ακτινοβολίας

Οι περιοχές αυτές χαρακτηρίζονται από διαφορετική συμπεριφορά του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου που δημιουργεί ο ακτινοβολητής και διαχωρίζονται μεταξύ τους με βάση καθιερωμένα κριτήρια.

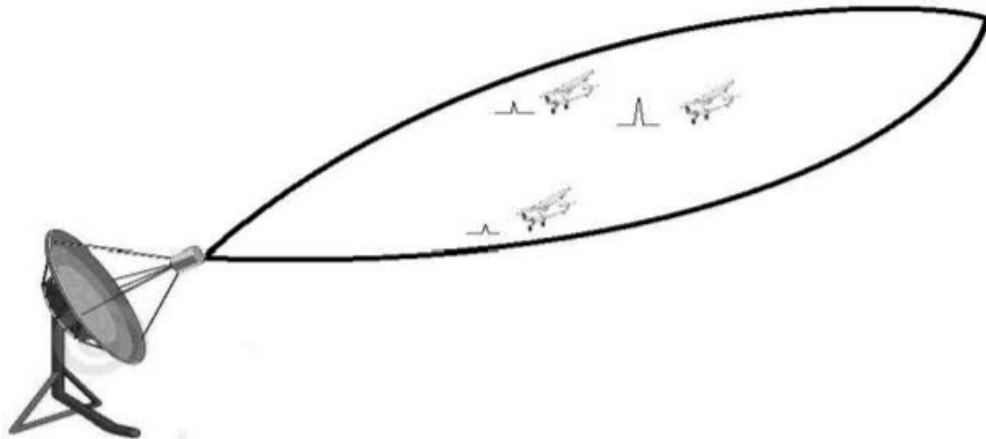
Η κοντινή περιοχή είναι η περιοχή όπου το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εμφανίζει άεργη συμπεριφορά, δηλαδή δεν ακτινοβολείται ηλεκτρομαγνητική ενέργεια. Η περιοχή αυτή περιορίζεται χωρικά στο εσωτερικό της σφαίρας με ακτίνα $R1 = 0.62 \cdot (D^3/\lambda)^{1/2}$, όπου μήκος κύματος συχνότητας λειτουργίας και μέγιστη διάσταση του ακτινοβολητή.

Η περιοχή Fresnel είναι ενδιάμεση μεταξύ της κοντινής και της μακρινής, σε αυτή την περιοχή, το ηλεκτρομαγνητικό πεδίο εμφανίζει συμπεριφορά ακτινοβολίας αλλά οι εγκάρσιες συνιστώσες του διατηρούν και ακτινική εξάρτηση. Η περιοχή Fresnel εκτείνεται στο χώρο που περιορίζεται από τις ακτίνες $R1$ και $R2 = (2D^2/\lambda)$. Στην περίπτωση ακτινοβολητών με μικρές διαστάσεις σε σχέση με το μήκος κύματος λειτουργίας, η περιοχή Fresnel δεν υπάρχει.

Η μακρινή περιοχή έχει ως χαρακτηριστικό την ανεξαρτησία της μορφής των εγκάρσιων συνιστωσών του ηλεκτρομαγνητικού πεδίου από την ακτινική συνιστώσα. Η περιοχή αυτή εκτείνεται συνήθως σε αποστάσεις μεγαλύτερες από $R2$. Στην περίπτωση κεραιών τύπου ανοίγματος, λόγω της ευαισθησίας του μακρινού πεδίου στις μεταβολές της φάσης των πηγών επί της επιφάνειας του ανοίγματος, η μακρινή περιοχή εμφανίζεται σε αποστάσεις μεγαλύτερες από $R2$.

- Η **κατευθυντικότητα**, η οποία ορίζεται ως ο λόγος της έντασης ακτινοβολίας μιας κεραίας προς την ένταση ακτινοβολίας ενός ισοτροπικού ακτινοβολητή που εκπέμπει την ίδια ισχύ ακτινοβολίας.

Από την κατευθυντικότητα της κεραίας ενός ραντάρ είναι εφικτό να εκτιμηθεί η κατεύθυνση του στόχου:



Εικόνα 2.37: Κατευθυντικότητα κεραίας και εντοπισμός στόχου

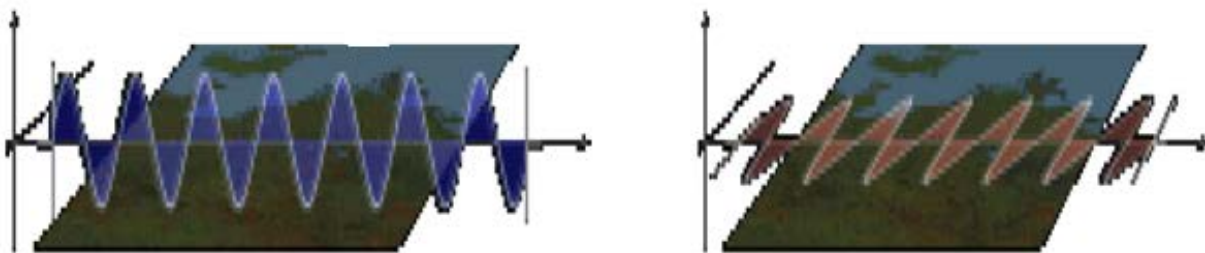
Το σημείο εντός του κυρίου λοβού της κεραίας στο οποίο βρίσκεται ο στόχος καθορίζει την ισχύ της ηχώς που επιστρέφει στο δέκτη.

- Το **κέρδος**, το οποίο συνυπολογίζει την αποδοτικότητα και την κατευθυντικότητα μιας κεραίας. Κάποιες κεραίες διαθέτουν υψηλό βαθμό κατευθυντικότητας, με αποτέλεσμα προς μια συγκεκριμένη κατεύθυνση να κατευθύνεται περισσότερη ενέργεια. Το κέρδος δίνεται από το λόγο του ποσού της ενέργειας που μεταδίδεται προς την κατεύθυνση που ορίζει η κατευθυντικότητα της κεραίας προς την ενέργεια που θα μεταδιδόταν αν η κεραία ήταν ισοτροπική, δηλαδή μη κατευθυντική.
- Ο **συντελεστής ανάκλασης**, ο οποίος ορίζεται ως ο λόγος του ανακλώμενου κύματος προς το προσπίπτον.
- Η **αντίσταση εισόδου** της κεραίας, η οποία ορίζεται ως η μιγαδική αντίσταση που εμφανίζεται στους ακροδέκτες της ή ισοδύναμα το πηλίκο της τάσης προς το ρεύμα που εμφανίζονται στο σημείο τροφοδότησής της.
- Το **εύρος ζώνης**, το οποίο ορίζεται ως το εύρος συχνοτήτων μέσα στο οποίο ικανοποιούνται ορισμένες προδιαγραφές σε σχέση με κάποιο μέγεθος. Συνήθως, ως εύρος ζώνης θεωρείται ένα εύρος συχνοτήτων συμμετρικό περί μιας κεντρικής συχνότητας, εντός του οποίου κάποιο βασικό χαρακτηριστικό της κεραίας όπως η αντίσταση εισόδου, η κατευθυντικότητα ή το

διάγραμμα ακτινοβολίας διατηρεί μία αποδεκτή τιμή σε σχέση με την τιμή που αντιστοιχεί στην κεντρική συχνότητα του εύρους ζώνης.

Σημειώνεται ότι ως πεδίο αναφοράς λαμβάνεται το ηλεκτρικό, αφού το πλάτος του είναι κατά πολύ μεγαλύτερο του μαγνητικού.

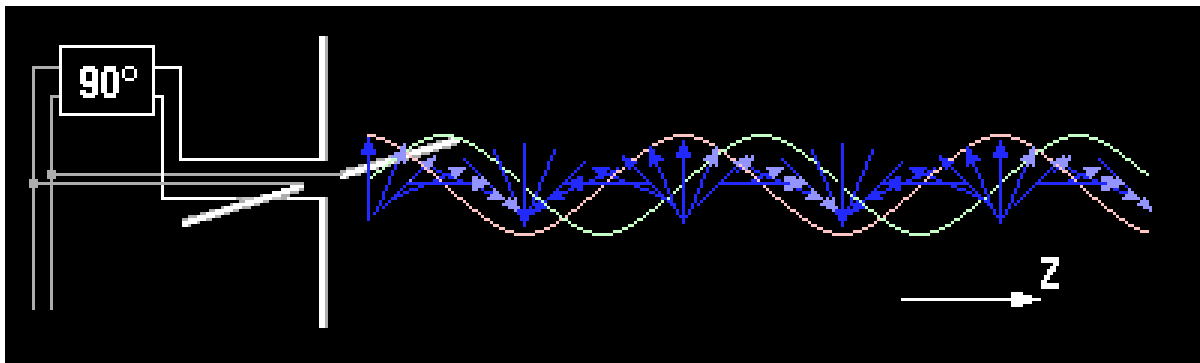
Το πεδίο ακτινοβολίας της κεραίας αποτελείται από ένα ηλεκτρικό και ένα μαγνητικό πεδίο. Τα πεδία αυτά είναι κάθετα μεταξύ τους. Η μέγιστη εξαγωγή ενέργειας προς τον περιβάλλοντα χώρο ή προς ένα υλικό μέσο προσαρμοσμένο στο άκρο της κεραίας επιτυγχάνεται όταν η κεραία προσανατολίζεται στη διεύθυνση του ηλεκτρικού πεδίου. Επίσης, στην περίπτωση που μια κεραία μετάδοσης εκπέμπει προς μια κεραία λήψης, η μέγιστη λήψη ενέργειας συμβαίνει όταν οι κεραίες αυτές έχουν τον ίδιο προσανατολισμό. Κεραίες οι οποίες έχουν τοποθετηθεί οριζοντίως και καθέτως μπορούν να λάβουν κύματα τα οποία είναι πολωμένα οριζοντίως και καθέτως αντίστοιχα, με τις γραμμές του ηλεκτρικού πεδίου να διαδίδονται οριζοντίως και καθέτως αντίστοιχα.



Εικόνα 2.38: Κατευθυντικότητα κεραίας και πόλωση ΗΜ κυμάτων

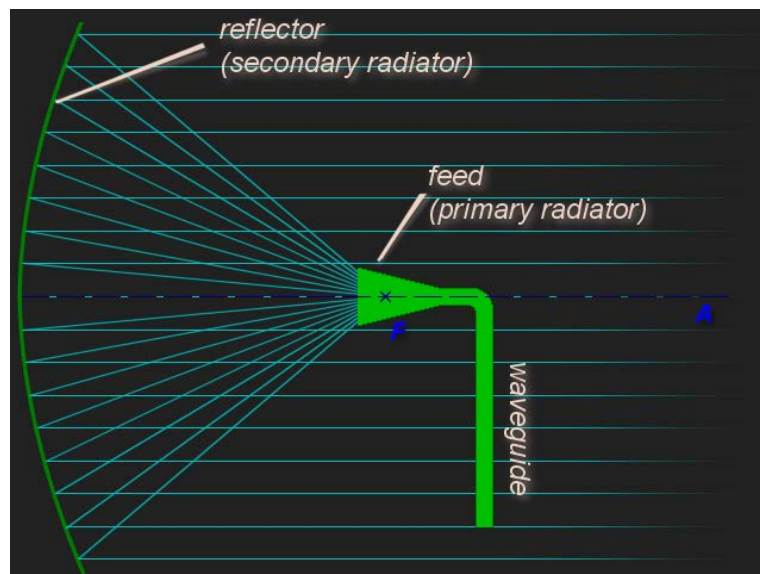
Το ληφθέν σήμα μπορεί να αλλοιωθεί εάν συμβούν αλλαγές στην πόλωση, μιας και η κεραία δεν έχει την ικανότητα να αντιλαμβάνεται αλλαγές στην πόλωση. Η λανθασμένη πόλωση των κεραιών επιφέρει σημαντικές απώλειες, συχνά της τάξεως των 20-30 dB.

Έστω ότι δύο σήματα με διαφορά φάσης μεταξύ τους 90° παράγονται από επίπεδο κεραία, η οποία κινείται κατά 90° ταυτόχρονα με την εκπομπή των σημάτων αυτών. Τότε, επιτυγχάνεται κυκλική πόλωση και οι ηλεκτρικές γραμμές του πεδίου περιστρέφονται 360° ανά κύκλο. Αυτά απεικονίζονται ακολούθως:



Εικόνα 2.39: Παραγωγή ΗΜ κυμάτων από κεραία με διαφορά φάσης

Η συχνότερα χρησιμοποιούμενη κεραία σε εφαρμογές ραντάρ είναι η παραβολική κεραία, η οποία φαίνεται στην παρακάτω εικόνα:

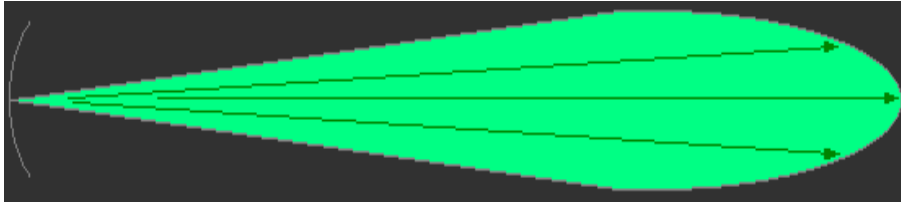


Εικόνα 2.40: Παραβολική κεραία

Στην εστία της παραβολής υπάρχει μια σημειακή πηγή (κύρια πηγή – feed) και το κυκλικά παραβολικό μεταλλικό συνήθως ‘πίατο’ της κεραίας αποτελεί τον ανακλαστήρα της. Το μεταλλικό υλικό χρησιμεύει ώστε το ‘πίατο’ να λειτουργεί ως καθρέφτης της προσπίπτουσας ακτινοβολίας. Όπως φαίνεται και από την παραπάνω εικόνα και σύμφωνα με τους νόμους της γεωμετρίας, οι ανακλώμενες ακτίνες εξέρχονται οριζοντίως, και ταυτόχρονα κάθετα στον άξονα του παραβολοειδούς, γεγονός που έχει ως πλεονέκτημα την εξάλειψη των πλευρικών λοβών.

Τα εκπεμπόμενα (σφαιρικά) μέτωπα κύματος προσπίπτουν στον ανακλαστήρα, οπότε και επιτυγχάνεται ολίσθηση φάσεως κατά 180° . Ως αποτέλεσμα, κάθε μέτωπο κύματος μεταδίδεται σε

παράλληλες διαδρομές, δίνοντας μια δέσμη, στην ιδανική περίπτωση τέλει κατασκευής της κεραίας όπως φαίνεται παρακάτω:



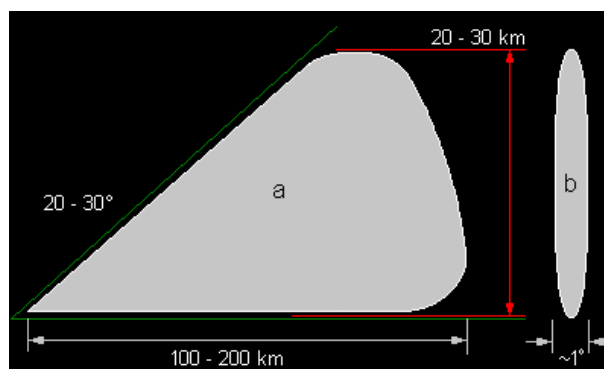
Εικόνα 2.41: Δέσμη παραβολικής κεραίας

Τέτοιες κεραίες χρησιμοποιούνται στα ραντάρ παρακολούθησης. Οι κεραίες αυτές διαθέτουν διαφορετικές καμπυλότητες στο οριζόντιο και κάθετο επίπεδο ώστε να επιτυγχάνουν την κατάλληλη μορφή της δέσμης.

Το κέρδος μιας παραβολικής κεραίας, της οποίας το αζιμουθιακό πλάτος ακτινοβολίας συμβολίζεται με θ_a και το πλάτος κατά τη γωνία ανύψωσης με θ_e , προσεγγίζεται από την ακόλουθη σχέση:

$$G_{\text{dish}} = 409600 / (\theta_a * \theta_e)$$

Ένας άλλος τύπος κατευθυντικής κεραίας είναι η κεραία ανοιγμένης δέσμης (fan beam), η οποία παράγει κατά τη μία διάσταση ένα στενό κύριο λοβό, ενώ κατά την άλλη έναν πλατύτερο. Το διάγραμμα ακτινοβολίας της κεραίας αυτής απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 2.42: Διάγραμμα ακτινοβολίας κεραίας ανοιγμένης δέσμης

Ένα τέτοιο διάγραμμα ακτινοβολίας μπορεί να επιτευχθεί από κυκλικό παραβολοειδές κάτοπτρο (ή από κολωβωμένο παραβολοειδές). Το κάτοπτρο αυτό κατά την κάθετη διεύθυνση είναι στενό ενώ κατά την οριζόντια είναι πλατύτερο, παράγοντας δέσμη με τα αντίθετα χαρακτηριστικά.

Κεραίες με αυτό το διάγραμμα ακτινοβολίας χρησιμοποιούνται για εύρεση του ύψους ενός αντικειμένου με περιστροφή του κατόπτρου.

Για χρήση σε ραντάρ εναέριας παρακολούθησης χρησιμοποιούνται συνήθως κεραίες με διάγραμμα ακτινοβολίας τετραγωνικής συντέμνουσας, επιτυγχάνοντας καλύτερη σάρωση του χώρου, αφού η κατανομή της ακτινοβολίας είναι ευρύτερη και πιο ομοιόμορφη. Η συντέμνουσα τριγωνομετρικά δίνεται από τη σχέση:

$$\text{csc}\alpha = 1/\sin\alpha$$

Θεωρούμε ότι το αντικείμενο – στόχος απέχει από το ραντάρ απόσταση R , ενώ βρίσκεται σε ύψος H υπό γωνία ανύψωσης φ . Η απόσταση σε συνάρτηση με τη γωνία ανύψωσης μπορεί να δοθεί από την ακόλουθη σχέση:

$$R = H/\sin\varphi = H*\text{csc}\varphi$$

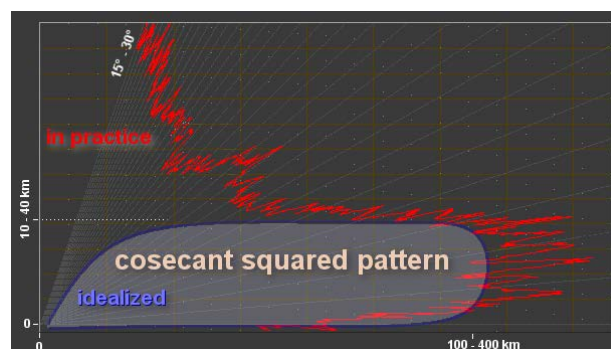
Γνωρίζοντας ότι η ισχύς του δέκτη P_{Dr} είναι ανάλογη του λόγου G^2 / R^4 και εφόσον είναι επιθυμητό ο δέκτης να λαμβάνει σταθερή ισχύ, το G^2 θα είναι ανάλογο του R^4 , συνεπώς αν πάρουμε τετραγωνικές ρίζες ανά μέλη προκύπτει ότι το G είναι ανάλογο του τετραγώνου της απόστασης R . Από τα παραπάνω προκύπτει:

$$G \sim (H*\text{csc}\varphi)^2 \Rightarrow$$

$$G \sim (\text{csc}\varphi)^2$$

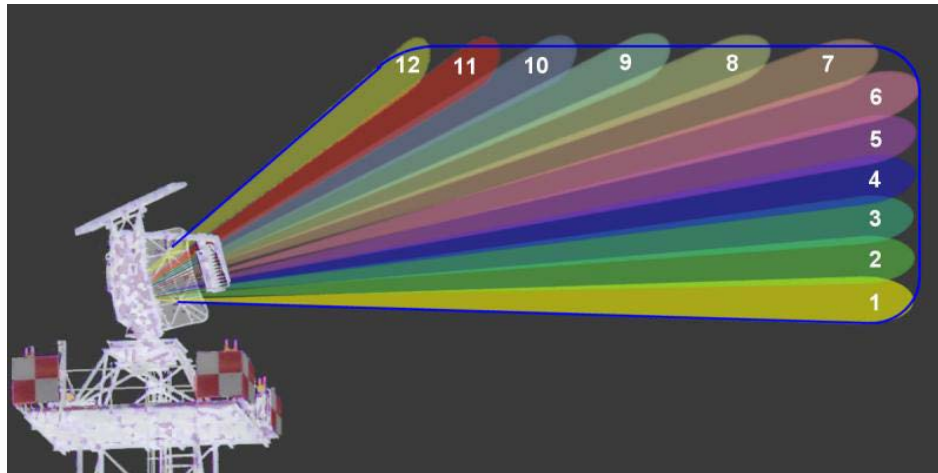
Το οποίο σημαίνει ότι το κέρδος της κεραίας είναι ανάλογο του τετραγώνου της γωνίας ανύψωσης.

Παρακάτω απεικονίζεται η κάθετη προβολή του διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας τετραγωνικής συντέμνουσας:



Εικόνα 2.43: Κάθετη προβολή του διαγράμματος ακτινοβολίας κεραίας τετραγωνικής συντέμνουσας

Όταν χρησιμοποιηθούν δύο χοάνες τροφοδοσίας του παραβολικού κατόπτρου επιτυγχάνεται ένα διάγραμμα ακτινοβολίας τετραγωνικής συντέμνουσας με στοίβα δεσμών, το οποίο απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 2.44: Διαγράμμα ακτινοβολίας κεραίας τετραγωνικής συντέμνουσας με στοίβα δεσμών

Στην παρακάτω εικόνα φαίνεται μία στοίβα 12 χοανών του ραντάρ ASR 910 που επιτυγχάνει διάγραμμα ακτινοβολίας τετραγωνικής συντέμνουσας.



Εικόνα 2.45: Διαγράμμα ακτινοβολίας κεραίας τετραγωνικής συντέμνουσας 12 χοανών

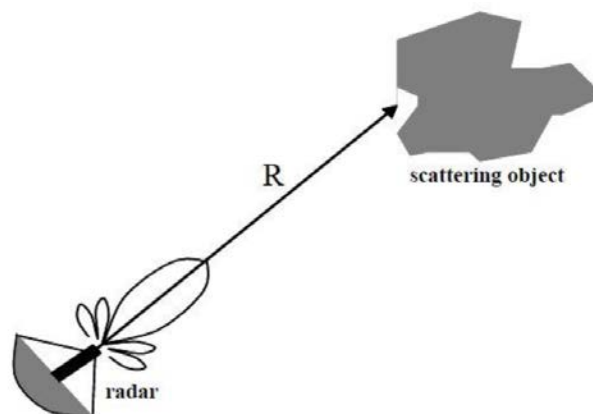
2.7. ΠΡΟΣΠΤΩΣΗ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟΥ ΚΥΜΑΤΟΣ ΣΤΟ ΣΤΟΧΟ

Κατά την πρόσπτωση ενός ηλεκτρομαγνητικού κύματος πάνω σε ένα αντικείμενο – στόχο, το κύμα αυτό υφίσταται σκέδαση και περίθλαση προς κάθε κατεύθυνση. Το γεγονός αυτό συμβαίνει ανεξάρτητα με την αρχική πόλωση του ηλεκτρομαγνητικού κύματος. Τα σκεδαζόμενα κύματα διαθέτουν δύο συνιστώσες, μία που διαθέτει ίδια πόλωση με την κεραία του δέκτη (βασική πόλωση - principal polarization - PP) και μια δεύτερη της οποίας η πόλωση έχει μεταβληθεί, και είναι ορθογώνια σε σχέση με την πρώτη (ορθογώνια πόλωση - orthogonal polarization - OP). Στην

ορθογώνια συνιστώσα η κεραία του δέκτη δε μπορεί να αποκριθεί. Ως επιφάνεια σκέδασης της κεραίας του ραντάρ (Radar cross section – RCS) του αντικειμένου – στόχου μπορεί να οριστεί η ένταση της σκεδαζόμενης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προς την κεραία, η οποία μάλιστα διαθέτει και την ίδια πόλωση με αυτή της κεραίας. Η RCS συμβολίζεται με το γράμμα σ . Το αντικείμενο πάνω στο οποίο προσπίπτει το κύμα θα συμπεριφέρεται και αυτό ως κεραία.

Αν η προσπίπτουσα πυκνότητα ισχύος σε αντικείμενο που απέχει κατά απόσταση R από το ραντάρ είναι P_{Di} , η ανακλώμενη ισχύς από το αντικείμενο αυτό προς την κεραία θα δίνεται από τη σχέση:

$$P_r = \sigma * P_{Di}$$



Εικόνα 2.46: Ακτινοβολία ραντάρ και πρόσπτωση σε στόχο συγκεκριμένης απόστασης

Η πυκνότητα ισχύος των σκεδαζόμενων κυμάτων στην κεραία του δέκτη συμβολίζεται με P_{Dr} και ορίζεται μέσω της σχέσης:

$$P_{Dr} = P_r / 4\pi R^2$$

Έτσι, τελικά η RCS μπορεί να δοθεί με την παρακάτω σχέση:

$$\sigma = 4\pi R^2 (P_{Dr} / P_{Di})$$

Στο μακρινό πεδίο, όπου τα σκεδαζόμενα κύματα τείνουν να είναι επίπεδα, η RCS μπορεί να προσδιοριστεί λαμβάνοντας το όριο του λόγου P_{Dr} / P_{Di} στην παραπάνω σχέση.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3ο

ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗ ΣΤΟΧΩΝ

Η εισαγωγή του ραντάρ στη ναυτιλιακή χρήση εκτός από τη φανερή βοήθεια που προσφέρει εναποθέτει και στον εκάστοτε ναυτιλλόμενο την ευθύνη για σωστό χειρισμό των ενδείξεων και αναγνώρισης των στοιχείων που απεικονίζονται. Υπάρχουν όμως κάποιες διαφορούμενες καταστάσεις, ακόμα και για έναν έμπειρο χρήστη και αφορούν την ορθή αναπαράσταση της εικόνας του ραντάρ. Τέτοιες αβεβαιότητες αφορούν:

- Την ηχώ των μικρών στόχων

Μικροί στόχοι θεωρούνται σημαντήρες, μικρές νησίδες και βράχια και άλλα μικρότερα σκάφη. Όταν οι στόχοι αυτοί ανιχνεύονται σε απόσταση τέτοια, ώστε το τόξο που αντιστοιχεί στο οριζόντιο εύρος της δέσμης, να είναι ίσο ή μεγαλύτερο από την επιφάνεια την οποία οι στόχοι εκθέτουν κάθετα στη δέσμη, οι ήχοι τους εμφανίζονται στην οθόνη ως τόξα, που αντιστοιχούν σε γωνία ίση με αυτή του οριζοντίου εύρους της δέσμης. Τότε δεν είναι δυνατή η ανίχνευση του στόχου από την ηχώ του. Όταν όμως η απόσταση γίνει τέτοια τόσο ώστε το τόξο που αντιστοιχεί στο οριζόντιο εύρος δέσμης να γίνει αρκετά μικρότερο από την επιφάνεια του στόχου, τότε η μετωπική πλευρά της ηχούς αρχίζει να αποκτά το σχήμα στόχου. Συνεπώς, στην περίπτωση που ένα πλοίο για πρώτη φορά εντοπιστεί σε μεγάλη απόσταση, η ηχώ του εμφανίζεται ως τόξο ανεξάρτητα από την όψη παρατηρήσεως του. Ελαττωθείσας της απόστασής του, το μήκος του τόξου της ηχούς του πλοίου θα μειώνεται κι αυτό. Όταν η απόσταση ελαττωθεί σημαντικά και αν παρατηρούμε το πλοίο κάθετα προς το διαμήκες του, η ηχώ του αποκτά το σχήμα της γραμμής που ανταποκρίνεται στο μήκος της.

3.1. ΠΑΡΑΜΟΡΦΩΣΗ ΛΟΓΩ ΜΕΓΕΘΟΥΣ ΚΥΛΙΔΑΣ

Σε παράκτιες εκτάσεις, όταν η δέσμη της ακτινοβολίας προσπίπτει καθέτως και προκαλεί μείωση της ηχούς στο ήμισυ του μεγέθους της κηλίδας, προκαλώντας παραμόρφωση.

- Παραμόρφωση λόγου του οριζοντίου εύρους δέσμης

Η παραμόρφωση αυτή μπορεί να προκαλέσει τα ακόλουθα:

α) Στένωση ακόμα και εξαφάνιση των μικρών εσοχών (πχ κολπίσκων) και διαπλάτυνση των εξοχών.

β) Ψευδή μεταφορά της ακτογραμμής προς την θάλασσα όταν η δέσμη προσπίπτει πλάγια στην ακτογραμμή.

γ) Απόκρυψη της ηχούς μικρών απομονωμένων στόχων οι όποιοι βρίσκονται κοντά στην ακτή, όταν συνδυάζεται με τη διάκριση κατά διόπτρευση.

δ) Τομή σκιάς που δημιουργούν οι υπερκατασκευές του πλοίου και οι όγκοι της στεριάς που παρεμβάλλονται μπροστά σε άλλους στόχους με μικρότερο ύψος

3.2. ΜΙΚΡΟ ΥΨΟΣ ΑΚΤΟΓΡΑΜΜΗΣ

Αυτό συμβαίνει σε περιπτώσεις όπως πχ παρουσία χαμηλής αμμώδους έκτασης. Αν σε τέτοια έκταση υπάρχει μικρή υπερυψωμένη κατασκευή, θα εμφανίζεται ως απομονωμένος θαλάσσιος στόχος.

3.3. ΟΨΗ ΠΑΡΑΤΗΡΗΣΗΣ ΣΤΟΧΩΝ

Με τον όρο αυτό εννοείται η γωνία πρόσπτωσης της δέσμης στην επιφάνεια του στόχου κατά το οριζόντιο και το κατακόρυφο επίπεδο, και εξαρτάται από τη θέση της κεραίας ραντάρ του πλοίου ως προς τον στόχο. Στην κεραία του ραντάρ επιστρέφει ισχυρή ηχώ, πολύ δε περισσότερο όταν η επιφάνεια του στόχου είναι κατακόρυφη και λεία.

3.4. ΥΛΙΚΟ ΣΤΟΧΟΥ

Κάθε υλικό παρουσιάζει ορισμένο συντελεστή ανακλάσεως ως προς τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα κάθε συχνότητας. Ο συντελεστής ανάκλασης εξαρτάται από την ηλεκτρική αγωγιμότητα του υλικού, και ορίζεται ως ο λόγος του ποσού της ενέργειας που ανακλάται από μια επιφάνεια ,προς το ποσό της ενέργειας που προσπίπτει σε αυτήν. Η διάφορα μεταξύ προσπίπτουσας και ανακλώμενης ενέργειας οφείλεται στην απορρόφηση μέρους της προσπίπτουσας ενέργειας, η οποία είναι ανάλογη

με της αντίσταση του υλικού. Γενικώς τα μέταλλα που παρουσιάζουν μεγάλη αγωγιμότητα και έχουν συντελεστή ανακλάσεως ο οποίος τείνει στη μονάδα είναι οι καλύτεροι ανακλαστήρες. Το θαλασσινό νερό λόγω της αλμυρότητας του, παρουσιάζει συντελεστή ανακλάσεως περίπου 0,8.

Η ξηρά από την άλλη παρουσιάζει μειωμένο συντελεστή ανακλάσεως που κυμαίνεται μεταξύ 0.1-0.4, ενώ όταν καλύπτεται από δέντρα ή θάμνους ο συντελεστής αυξάνεται στα επίπεδα του αλμυρού νερού, δηλαδή μπορεί να πάει ως 0,8. Τα διηλεκτρικά υλικά, όπως το ξύλο και τα πλαστικά, έχουν ασήμαντο συντελεστή ανακλάσεως. Για το λόγο αυτό, τα ξύλινα και τα πλαστικά σκάφη είναι κακοί στόχοι και ειδικά σε ήρεμη θάλασσα. Σε περίπτωση θαλασσοταραχής επειδή είναι βρεγμένα, τα σκάφη αυτά ανιχνεύονται σε σημαντική απόσταση.

3.5. ΤΟ ΜΕΓΕΘΟΣ ΤΟΥ ΣΤΟΧΟΥ

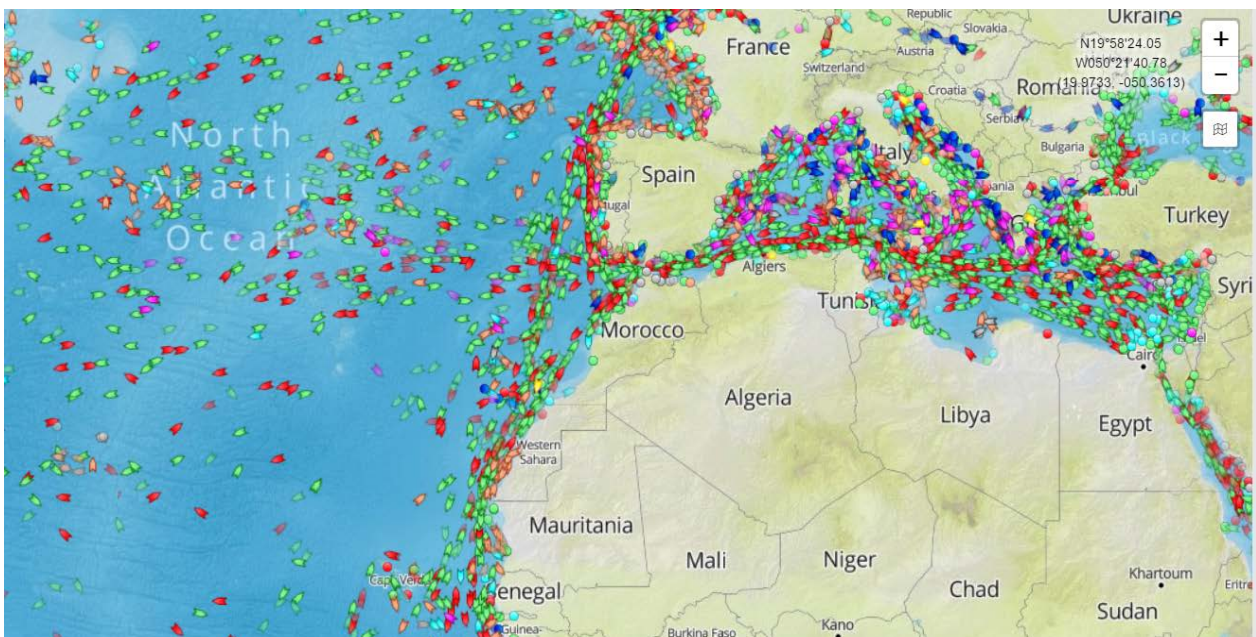
Ένα άλλο χαρακτηριστικό του στόχου, από το οποίο εξαρτάται η ισχύς της ηχούς, άρα και η απόσταση ανιχνεύσεως και αναγνώρισης του, είναι το μέγεθος του, και ειδικότερα το πλάτος, το ύψος του και το μήκος του στο βάθος του ορίζοντα.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4ο

ΤΟ RADAR ΣΤΗ ΝΑΥΤΙΛΙΑ

Η ανάλυση που προηγήθηκε ως τώρα υποδεικνύει τη σημασία ύπαρξης ραντάρ σε πλοία, καθώς η λειτουργία τους δεν εξαρτάται από τις συνθήκες ορατότητας. Το ραντάρ έχει αναγνωριστεί ως το χαρακτηριστικότερο ηλεκτρονικό ναυτιλιακό όργανο, το οποίο έχει τη δυνατότητα δυναμικής εξερεύνησης του περιβάλλοντος χώρου προσδιορίζοντας τους ακίνητους ή χερσαίους ναυτιλιακούς στόχους, αλλά και τους κινούμενους. Τέτοιοι στόχοι μπορεί να είναι νησίδες, πλοία, σημαντήρες, αεροπλάνα σε χαμηλό ύψος κλπ. Οι στόχοι βρίσκονται σε μικρό υψόμετρο και στην επιφάνεια της θάλασσας. Το ραντάρ ναυσιπλοΐας τοποθετείται τόσο σε πλοία όσο και σε ακτές και καλούνται ραντάρ ανιχνεύσεως επιφάνειας λόγω του είδους των στόχων που καλούνται να αναγνωρίσουν. Τέλος, αποτελούν το κατεξοχήν μέσο σύνθεσης της εικόνας της ναυτιλιακής καταστάσεως. Παρακάτω θα αναλυθούν οι χρήσεις του στα βασικά είδη ναυσιπλοΐας.

Με χρήση των ραντάρ κάθε αρμόδια αρχή (λιμενικές και παράκτιες αρχές κλπ) μπορεί να εντοπίσει τα πλοία στην περιοχή για την οποία ευθύνεται να εποπτεύει και έτσι να παρέχει οδηγίες σε κάθε πλοίο για ασφαλή ναυσιπλοΐα. Σε πραγματικό χρόνο, μπορεί να υπάρξει εικόνα των θέσεων των πλοίων στο θαλάσσιο χώρο, όπως παρακάτω:



Εικόνα 4.1: Θέσεις πλοίων σε πραγματικό χρόνο

4.1. RADAR ΓΙΑ ΠΡΟΣΓΙΑΛΩΣΗ (landfall)

Όταν το πλοίο προσεγγίζει την ακτή κάτω από δυσμενείς συνθήκες ορατότητας και μετά από πλεύση μεγάλης διαρκείας, η χρήση ραντάρ διευκολύνει σημαντικά τη διαδικασία. Τα πρώτα στίγματα του ραντάρ δεν είναι ιδιαίτερα αξιόπιστα, καθώς είναι δύσκολο να αναγνωριστούν σε μεγάλες αποστάσεις τα σημεία προέλευσης των ανακλώμενων ηχών, οι οποίοι είναι ισχυρότεροι κατά την πρόσπτωση της δέσμης σε κάθετες επιφάνειες. Η σχετική θέση κεραίας και στόχου μεταβάλλεται καθώς το πλοίο πλησιάζει την ακτή, παρουσιάζοντας νέα ηχώ, το οποίο έχει ως αποτέλεσμα τη μεταβολή της εικόνας λόγω μεταβολής στην προσπίπτουσα δέσμη.

Ανάλογα τις καιρικές συνθήκες που επικρατούν είναι πιθανό να εμφανιστεί ψευδό ηχώς επόμενης διαδρομής από μεγάλες αποστάσεις. Ακόμη, παρουσιάζονται μεταβολές διότι κατά την προσέγγιση του πλοίου και καθώς μειώνεται η απόσταση, χαμηλότερες εκτάσεις ολοένα και καλύπτονται από τον ορίζοντα του ραντάρ, και τα σήματα που αυτοί οι ανακλώμενοι ήχοι δίνουν, συμπληρώνουν την υπάρχουσα εικόνα. Με βάση τα δεδομένα αυτά είναι δύσκολη η ανίχνευση μιας μη απόκρημνης ακτής, ιδιαίτερα όταν αυτή δεν έχει ένα σημαντικό ύψος. Επιπλέον, παρατηρείται μια φαινομενική σχετική κίνηση της στεριάς προς το πλοίο, κατά την προσέγγισή του.

4.2. RADAR ΓΙΑ ΝΑΥΣΙΠΛΟΙΑ

Στην περίπτωση της ακτοπλοΐας, το ραντάρ έχει τη δυνατότητα παροχής συνεχών δεδομένων μεγάλης ακριβείας, καθώς η κίνηση του πλοίου γίνεται σε σχετικά μικρή απόσταση από την ακτή, οπότε και υπάρχουν αυξημένοι κίνδυνοι για σύγκρουση πχ με σκοπέλους. Αυτή η μικρή απόσταση από την ακτή καθώς μειώνεται προσφέρει αυξημένη ακρίβεια, κι αυτό συμβαίνει λόγω καλύτερων ανακλαστικών συνθηκών για τη δέσμη.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, η κάλυψη των αποστάσεων από τον ορίζοντα του ραντάρ, όπως επίσης και οι χαμηλότερες εκτάσεις στις ακτογραμμές, τα οποία επιτυγχάνονται με πλεύση κοντά στην ακτογραμμή, έχουν ως αποτέλεσμα η ανακλώμενη δέσμη της ακτογραμμής να προσεγγίζει σε ομοιότητα την πραγματική ακτογραμμή. Οι παρατηρήσεις αυτές καλό είναι να συνδυάζονται και με οπτικές επιβεβαιώσεις ώστε να επικυρωθεί η ορθότητά τους και για μεγαλύτερη ακρίβεια.

Για το λόγο αυτό, η βέλτιστη μέθοδος καθορισμού του στίγματος με τη βοήθεια του ραντάρ είναι με απόσταση ραντάρ και με ορατή διόπτρευση μονωμένου στόχου, ή χαρακτηριστικού σημείου της ακτής το οποίο είναι καταφανές και στο ραντάρ και για ορατή παρατήρηση. Οι διαφορές που παρουσιάζει η εικόνα της ανακλώμενης δέσμης από την πραγματική εικόνα της ακτογραμμής μπορεί να οφείλεται σε κάποιες παραμορφώσεις λόγω γεωγραφικών ιδιομορφιών, όπως εσοχών, κολπίσκων και προεξοχών, μεταφορά της ακτογραμμής προς τη θάλασσα όταν η δέσμη προσπίπτει πλάγια στην ακτογραμμή, με τη μεταφορά αυτή να αυξάνει, όσο η δέσμη τείνει να γίνει παράλληλα με την ακτογραμμή, και απόκρυψη της ηχούς μικρών απομονωμένων στόχων, οι οποίοι βρίσκονται κοντά στην ακτή, όταν συνδυάζεται με τη διάκριση κατά διόπτρευση που φαίνεται ως έξαρση της ακτογραμμής.

4.3. RADAR ΓΙΑ ΠΑΡΑΠΛΟΥΣ ΑΚΤΕΣ

Στις περιπτώσεις κακής ορατότητας, ο καθορισμός αποστάσεων μέσω ραντάρ βοηθάει στη διατήρηση της πορείας του πλοίου και την εξασφάλιση ασφαλούς πλεύσης και αποφυγής κινδύνων όπως πχ σκοπέλους κοντά στην ακτογραμμή, είτε κατά την πλεύση παράλληλα προς αυτή είτε κατά την πλεύση κοντά σε ακρωτήρια. Πάλι υπάρχει ο κίνδυνος σύγκρουσης με σκοπέλους και αβαθή, και γι αυτό πρέπει να τηρηθεί απόσταση ασφαλείας.

Με την εξασφάλιση κατάλληλης πλεύσης, εξασφαλίζει εξοικονόμηση χρόνου πλεύσης, αφού δε χρειάζεται το πλοίο να μετακινηθεί βαθύτερα, προκειμένου να αποφύγει ενδεχόμενους κινδύνους. Επιπλέον, με την πλεύση σε μικρή απόσταση από την ακτογραμμή, τα χαμηλότερα σημεία της είναι εύκολα ανιχνεύσιμα, και διευκολύνεται ακόμη περισσότερο η πλεύση χάρη στη χρήση του ραντάρ.

Για ασφαλή πλεύση, αρχικά πρέπει να μελετηθεί λεπτομερών η έκταση ενός επικίνδυνου σημείου σε υπάρχοντες χάρτες. Κάποια φανερά σημεία λαμβάνονται ως κέντρα για τη χάραξη κυκλικών τόξων, τα οποία ονομάζονται κύκλοι ασφάλειας ραντάρ (radar clearing circles). Στα τόξα αυτά χαράσσεται εφαπτομένη, η οποία καλείται γραμμή αποστάσεως ασφάλειας ραντάρ (radar clearing line) και η πορεία που θα τηρηθεί από το πλοίο ορίζεται παράλληλα προς τη γραμμή αυτή, από την εξωτερική της πλευρά φυσικά.

Η ακτίνα των τόξων αυτών πρέπει να είναι τέτοια ώστε η εφαπτομένη προς αυτά να μπορεί να περικλείσει όλα τα επικίνδυνα σημεία ως προς την ακτή. Κατά την πραγματοποίηση του πλου, ρυθμίζεται ο μεταβλητός ασημείωτης αποστάσεως σε απόσταση που ισούται με την απόσταση του καταφανούς σημείου της ακτής, που κάθε στιγμή παραπλέει το πλοίο από τη γραμμή ασφάλειας. Αν

στον ενδείκτη ο δακτύλιος του μεταβλητού σημειωτή αποστάσεως δεν εφάπτεται στην ηχώ του αντίστοιχου καταφανούς σημείου το πλοίο τηρείται σε ασφαλή πορεία λίγο έξω από τη γραμμή αποστάσεως ασφάλειας. Η επιλογή των σημείων αυτών πρέπει να γίνεται με ιδιαίτερη προσοχή ώστε να μη βρίσκονται πέρα από την ακτογραμμή, αλλά να αποτελούν απόκρημνα σημεία αυτής.

Με ορθή εκλογή, οι αποστάσεις των ραντάρ θα είναι ακριβείς ως προς την ακτογραμμή. Η απόσταση ραντάρ ως γραμμή ασφάλειας μπορεί να χρησιμοποιηθεί με τον ίδιο τρόπο και κάτω από συνθήκες καλής ορατότητας, όταν η ακτογραμμή δε διαθέτει καταφανή σημεία για ορατές διοπτύσεις, ιδιαίτερα κατά τη διάρκεια της νύχτας.

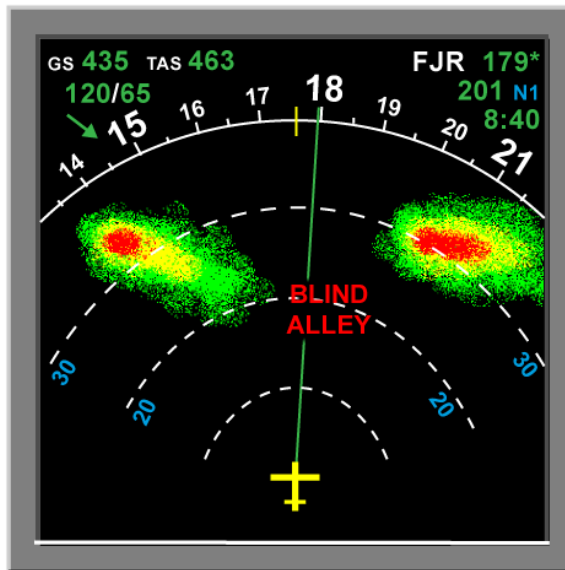
Ακόμη, πρέπει να προσδιορίζεται το στίγμα παράλληλα με τη χρήση της αποστάσεως ραντάρ ως γραμμή ασφαλείας. Ο προσδιορισμός του στίγματος μπορεί να γίνει με ορατή επιτήρηση και με τη βοήθεια των αποστάσεων ραντάρ, η οποία κρίνεται ως προτιμητέα μέθοδος λόγω αυξημένης ακριβείας. Άλλοι τρόποι προσδιορισμού στίγματος περιλαμβάνουν εύρεση στίγματος με αποστάσεις ραντάρ (τριών καταφανών σημείων), με απόσταση και διόπτυση ραντάρ μεγάλης ακριβείας και με απόσταση και διόπτυση ραντάρ. Αποτελεσματικότερη χρησιμοποίηση της αποστάσεως ραντάρ ως γραμμής ασφάλειας εξασφαλίζεται με τη τεχνική των παράλληλων γραμμών.

4.4. RADAR ΣΤΗ ΠΛΟΗΓΗΣΗ

Σε συνθήκες μειωμένης ορατότητας και σε περιορισμένες γεωγραφικά περιοχές, όπως πχ πλεύση σε ποτάμια, η εξειδικευμένη χρήση ραντάρ κρίνεται αναγκαία. Η χρήση αυτή ονομάζεται τυφλή πλοήγηση (blind pilot) και η υλοποίησή της εξαρτάται από την επινοητικότητα του ναυτίλου σε ειδικές χρήσεις του ραντάρ και ανάλογα την περίπτωση, την ικανότητά του όπως επίσης και την προηγούμενη εμπειρία του για την αναγνώριση των στοιχείων που εμφανίζονται στην εικόνα του ραντάρ, τα χαρακτηριστικά της διαθέσιμης συσκευής ραντάρ (ελάχιστη απόσταση ανιχνεύσεως, διάκριση κατά απόσταση και διάκριση κατά διόπτυση), η ευρωστία της και η καλή κατάσταση λειτουργίας της, και τέλος τη γνωριμία και την εμπειρία του ναυτίλου με τα τοπογραφικά στοιχεία της περιοχής στην οποία πλέει το πλοίο, καθώς επίσης και με τα συστήματα σημάνσεως των επικίνδυνων σημείων (σημαντήρες, racons κλπ), την κατάσταση της παλίρροιας και τα ρεύματα που επικρατούν.

Η μέθοδος πλοήγησης καθιστά εφικτή την οδήγηση του πλοίου μέχρι το αγκυροβόλιό του, και η επιτυχής διεξαγωγή της πλοήγησης μπορεί να γίνει με χρήση της τάσης της ηχούς καταφανούς

σημείου που βρίσκεται κατάπλωρα, ή με διόπτευση και απόσταση καταφανούς σημείου, που μπορεί να βρίσκεται σε οποιαδήποτε κατεύθυνση.



Εικόνα 4.2: Εικόνα ραντάρ με χρήση στην πλοήγηση

4.5. RADAR ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΠΑΡΑΛΛΗΛΩΝ ΓΡΑΜΜΩΝ

Τα ραντάρ αυτά χρησιμοποιούνται κυρίως για πλοήγηση σε προκαθορισμένο αγκυροβόλιο, όπως επίσης και για ακριβή πλεύση και αλλαγή πορείας. Σε επικίνδυνες περιοχές πλοηγείσεως ή ακτοπλοΐας, είναι δυνατή η ακριβής διατήρηση της πορείας ως προς το βυθό και ο προσδιορισμός των στιγμάτων αλλαγής πορείας.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5ο

ΝΑΥΤΙΛΙΑΚΟ RADAR ΜΕ ΑΥΤΟΜΑΤΗ ΥΠΟΤΥΠΩΣΗ ΣΤΟΧΩΝ

Η εξέλιξη των δυνατοτήτων του ναυτιλιακού ραντάρ αποτελεί μία από τις σημαντικότερες, με την ενσωμάτωση λειτουργιών αυτόματης αποτύπωσης στόχων (Automatic Radar plotting Aids – ARPA). Έτσι, η αποφυγή συγκρούσεων έγινε αποτελεσματικότερη. Ο κανόνας 7(β) των ΔΚΑΣ και άλλες σχετικές διατάξεις αναφέρονται στην υποχρέωση τηρήσεως υποτυπώσεως στη γέφυρα ή άλλης ισοδύναμης συστηματικής παρατηρήσεως των ανιχνευόμενων στόχων μέσω συσκευής ραντάρ, την οποία μπορεί να τηρήσει το ARPA.

Μία τέτοια συσκευή ραντάρ υπολογίζει τη σχετική κίνηση των στόχων που εμφανίζονται στην οθόνη του ραντάρ, με αποτέλεσμα να είναι δυνατή η έγκαιρη αποφυγή επικίνδυνων καταστάσεων όταν η ναυτιλιακή κίνηση είναι έντονη χωρίς να είναι απαραίτητες χειροκίνητες εργασίες, οι οποίες συν τοις άλλοις καταναλώνουν πολύ χρόνο.

Στις κλασικές μεθόδους υπάρχουν διάφορα μειονεκτήματα λόγω της χρήσης μηχανικών μέσων. Σε συνθήκες περιορισμένης ορατότητας εάν είναι απαραίτητη η ανίχνευση πολλών στόχων, ο εντοπισμός τους με τις κλασικές μεθόδους καθίσταται ιδιαίτερα δύσκολος. Παράλληλα, αποσπάται η προσοχή των ατόμων του πληρώματος που επιβλέπουν το ραντάρ, καθώς η παρακολούθηση της συσκευής πρέπει να είναι συχνή. Όμως, αυτό μπορεί να τους αποσπάσει από την παρατήρηση του περιβάλλοντα χώρου. Τα προβλήματα αυτά έρχεται να ξεπεράσει το ARPA. Ο εξελιγμένος σχεδιασμός του διαθέτει ενσωματωμένα μικροϋπολογιστικά κυκλώματα και επιτρέπει τη διόπτευση στόχων, με υπολογισμό της απόστασής τους, επιλύοντας προβλήματα σχετικά με την ταχύτητα του στόχου και την πορεία που διαγράφει.

Τα ARPA ραντάρ διαθέτουν συστήματα επεξεργασίας δεδομένων ραντάρ που υποστηρίζονται από υπολογιστή, τα οποία παράγουν διανύσματα πρόβλεψης και άλλες πληροφορίες για την κίνηση των πλοίων.

Ένα τυπικό σύστημα ARPA ραντάρ απεικονίζεται παρακάτω:



Εικόνα 5.1: ARPA radar

Η τεχνολογία του ARPA ραντάρ έχει τη δυνατότητα σχεδιασμού τροχιών με βάση στίγματα του αντικειμένου – στόχου. Μπορεί να υπολογίσει την πορεία, την ταχύτητα και το πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (closest point of approach – CPA) του προς εντοπισμού αντικειμένου, δίνοντας πληροφορίες σχετικά με το αν υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης με το πλοίο ή με τη στεριά.

Η ανάπτυξη του ARPA ξεκίνησε μετά τη σύγκρουση του ιταλικού SS πλοίου της γραμμής Andrea Doria εν μέσω συνθηκών πυκνής ομίχλης και βυθίστηκε στην ανατολική ακτή των Ηνωμένων Πολιτειών. Τα ραντάρ ARPA άρχισαν να αναδύονται τη δεκαετία του 1960 χάρη στην ανάπτυξη της μικροηλεκτρονικής. Το πρώτο εμπορικά διαθέσιμο ARPA ραντάρ παραδόθηκε στο φορτηγό πλοίο MV Tamyr το 1969. Πλέον ραντάρ με δυνατότητα ARPA είναι διαθέσιμα ακόμη και για μικρά πλοία.

Ο Διεθνής Ναυτιλιακός Οργανισμός (International Maritime Organization - IMO) έχει καθορίσει ορισμένα πρότυπα που τροποποιούν τις απαιτήσεις της Διεθνούς Σύμβασης για την Ασφάλεια της Ζωής στη Θάλασσα σχετικά με τη μεταφορά κατάλληλων αυτοματοποιημένων βοηθημάτων σχεδιασμού ραντάρ. Η κύρια λειτουργία των ARPAs μπορεί να συνοψιστεί στη δήλωση που πληροί τα πρότυπα επιδόσεων του IMO. Αυτή είναι συνδεδεμένη με μια απαίτηση των ARPAs σχετικά με τη βελτίωση του επιπέδου αποφυγής συγκρούσεων στη θάλασσα, με τη μείωση του φόρτου εργασίας των παρατηρητών, όπως προαναφέρθηκε, τους να λαμβάνουν αυτόματα πληροφορίες έτσι ώστε να μπορούν να χειριστούν και πολλαπλούς στόχους όπως μπορούν να χειριστούν ένα και μόνο στόχο μη αυτοματοποιημένα.

Σύμφωνα με την παραπάνω δήλωση, τα κύρια πλεονεκτήματα του ARPA είναι η μείωση του φόρτου εργασίας του προσωπικού της γέφυρας και η πληρέστερη και ταχύτερη πληροφόρηση σχετικά με επιλεγμένους στόχους.

Ένα τυπικό ραντάρ ARPA δίνει μια παρουσίαση της τρέχουσας κατάστασης και χρησιμοποιεί την τεχνολογία των υπολογιστών για να προβλέψει μελλοντικές καταστάσεις. Ένα ARPA αξιολογεί τον κίνδυνο σύγκρουσης και επιτρέπει στον χειριστή να βλέπει προτεινόμενους ελιγμούς με το δικό του πλοίο.

Ενώ διατίθενται πολλά διαφορετικά μοντέλα ARPA στην αγορά, συνήθως οι ακόλουθες λειτουργίες είναι πάντοτε διαθέσιμες:

- Πραγματική ή σχετική παρουσίαση ραντάρ κίνησης.
- Αυτόματη απόκτηση στόχων και χειροκίνητη απόκτηση.
- Ψηφιακή αναγνώριση προαποκτηθέντων στόχων που παρέχει τη διαδρομή, την ταχύτητα, το εύρος, τη συμπεριφορά, το πλησιέστερο σημείο προσέγγισης, και χρόνο προσέγγισης του πλησιέστερου σημείου (CPA) που ορίζεται ως TCPA.
- Η δυνατότητα προβολής πληροφοριών αξιολόγησης σύγκρουσης απευθείας στον ενδείκτη PPI, χρησιμοποιώντας διανύσματα, πραγματικά ή σχετικά, ή μια γραφική προβολή περιοχής κινδύνου (Predicted Area of Danger - PAD).
- Η ικανότητα εκτέλεσης δοκιμαστικών ελιγμών, συμπεριλαμβανομένων αλλαγών διαδρομής, αλλαγών ταχύτητας και συνδυασμένων αλλαγών πορείας / ταχύτητας.
- Αυτόματη σταθεροποίηση για σκοπούς πλοήγησης. Η ARPA επεξεργάζεται τις πληροφορίες ραντάρ πολύ πιο γρήγορα από το συμβατικό ραντάρ, αλλά εξακολουθεί να υπόκειται στους ίδιους περιορισμούς. Τα δεδομένα ARPA είναι εξίσου ακριβή με τα δεδομένα που προέρχονται από εισόδους όπως το γυροσκόπιο και το αρχείο καταγραφής ταχύτητας.

Τα τελευταία 10 χρόνια, οι σημαντικότερες αλλαγές στα συστήματα ARPA αφορούν το σχεδιασμό τους. Η πλειοψηφία των ARPA που κατασκευάστηκαν σήμερα ενσωματώνει τις λειτουργίες ARPA με την οθόνη ραντάρ. Η αρχική ανάπτυξη και ο σχεδιασμός των ARPA ήταν σε ανεξάρτητες μονάδες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι τα ARPA σχεδιάστηκαν με τη μορφή προσθήκης στη συμβατική μονάδα ραντάρ. Όλες οι λειτουργίες ARPA ενσωματώθηκαν εντός του

σκάφους ως χωριστή μονάδα, αλλά χρειάστηκε να είναι συμβατά με τον υπάρχοντα εξοπλισμό για να μπορούν να λάβουν τα βασικά δεδομένα ραντάρ. Τα βασικά οφέλη ήταν εξοικονόμηση κόστους και χρόνου. Η χρήση τους ως ξεχωριστή μονάδα φυσικά δεν ήταν η ιδανική κατάσταση και τελικά ήταν η ενσωματωμένη τεχνολογία ραντάρ ARPA που αντικατέστησε την αυτόνομη μονάδα.

Η σύγχρονη ολοκληρωμένη τεχνολογία ARPA συνδυάζει τα συμβατικά δεδομένα ραντάρ με τα εξελιγμένα συστήματα επεξεργασίας δεδομένων υπολογιστή, κι όλα αυτά σε μία μονάδα. Το κύριο λειτουργικό πλεονέκτημα είναι ότι τόσο τα δεδομένα του συμβατικού ραντάρ όσο και του ARPA είναι εύκολα συγκρίσιμα.

Από τη στιγμή που το ραντάρ χρησιμοποιήθηκε για πρώτη φορά, μέχρι και σήμερα, η εικόνα του ραντάρ απεικονίζεται στην οθόνη ενός σωλήνα καθοδικής ακτινοβολίας. Αν και ο σωλήνας καθοδικών ακτίνων έχει διατηρήσει τη λειτουργία του με την πάροδο των ετών, ο τρόπος με τον οποίο παρουσιάζεται η εικόνα έχει αλλάξει σημαντικά. Από τα μέσα περίπου της δεκαετίας του 1980 εμφανίστηκαν οι πρώτες οθόνες σάρωσης. Το PPI ακτινικής σάρωσης αντικαταστάθηκε από ένα PPI raster-σάρωσης, το οποίο δημιουργήθηκε σε έναν τύπο τηλεοπτικής οθόνης. Οι ενσωματωμένες μονάδες ARPA και συμβατικές μονάδες ραντάρ με οθόνη σάρωσης raster θα αντικαταστήσουν σταδιακά τα σύνολα ραντάρ ακτινικής σάρωσης.

Η ανάπτυξη εμπορικών θαλάσσιων ραντάρ εισήχθη σε μια νέα φάση τη δεκαετία του 1980 όταν παρουσιάστηκαν οθόνες σάρωσης raster που ήταν σύμφωνες με τα πρότυπα επιδόσεων του IMO.

Η εικόνα ραντάρ μιας σαρωμένης με τεχνική raster συνθετικής απεικόνισης παράγεται σε τηλεοπτική οθόνη και αποτελείται από ένα μεγάλο αριθμό οριζόντιων γραμμών που σχηματίζουν ένα σχέδιο γνωστό ως raster. Αυτός ο τύπος απεικόνισης είναι πολύ πιο πολύπλοκος σε σχέση με τη συνθετική οθόνη ακτινικής σάρωσης και απαιτεί μεγάλη μνήμη. Υπάρχουν ορισμένα πλεονεκτήματα για τον χειριστή μιας οθόνης σάρωσης με raster, και ταυτόχρονα υπάρχουν κάποιες ελλείψεις. Το πιο προφανές πλεονέκτημα μιας οθόνης σάρωσης με raster είναι η φωτεινότητα της εικόνας. Αυτό επιτρέπει στον παρατηρητή να βλέπει την οθόνη σε όλες σχεδόν τις συνθήκες του περιβάλλοντος φωτός. Από όλα τα οφέλη που προσφέρει ένα ραντάρ raster-σάρωσης, αυτή η ικανότητα έχει εξασφαλίσει την επιτυχία της. Μια άλλη διαφορά μεταξύ των οθονών ακτινικής σάρωσης και raster-σάρωσης είναι ότι η τελευταία διαθέτει μια ορθογώνια οθόνη. Το μέγεθος της οθόνης καθορίζεται από το μήκος της διαγωνίου και το πλάτος και το ύψος της οθόνης βρίσκονται σε αναλογία περίπου 4:3. Οι σωλήνες τηλεόρασης raster-σάρωσης έχουν πολύ μεγαλύτερη διάρκεια ζωής από ένα συμβατικό σωλήνα καθοδικής ακτινοβολίας (Cathode Ray Tube - CRT). Αν και οι σωλήνες είναι

φθηνότεροι σε σχέση με το αντίστοιχό τους, η πολυπλοκότητα της επεξεργασίας σήματος το καθιστά πιο ακριβό συνολικά.

Τα πρότυπα επιδόσεων του IMO για το ραντάρ για την παροχή ενός σχεδίου απεικόνισης με αποτελεσματική διάμετρο οθόνης 180 mm, 250 mm ή 340 mm, διαφέρει ανάλογα με την ολική χωρητικότητα του σκάφους. Με τις παραμέτρους διαμέτρου που έχουν ήδη επιλεγεί, ο κατασκευαστής πρέπει στη συνέχεια να αποφασίσει τον τρόπο ρύθμισης της τοποθέτησης των ψηφιακών αριθμητικών δεδομένων και των δεικτών κατάστασης ελέγχου. Η οθόνη σάρωσης με raster διευκολύνει τους μηχανικούς σχεδιασμού στον τρόπο με τον οποίο μπορούν να γράφονται βοηθητικά δεδομένα.

Υπό κανονικές συνθήκες ένα ραντάρ ARPA κάνει τα πάντα αυτόματα, αλλά επίσης μπορεί να δώσει περισσότερες πληροφορίες για το πώς να πλοηγηθεί το πλοίο. Όταν αποφασίζεται (μετά από αξιολόγηση της αρχικής πλοήγησης) ότι είναι απαραίτητο να χειριστεί το πλοίο αυτόματα μέσω του ARPA, αναγκαίο κρίνεται να προσδιοριστεί η επίδραση αυτού του ελιγμού πριν από την εκτέλεσή του και να διασφαλιστεί ότι θα οδηγήσει σε ασφαλή απόσταση μετάβασης. Αφού ολοκληρωθεί ο ελιγμός, πρέπει να συνεχιστεί η πλοήγηση από το ARPA ώστε να διασφαλιστεί ότι ο ελιγμός έχει το επιθυμητό αποτέλεσμα.

5.1. MARPA

Το μίνι αυτόματο βοήθημα σχεδιασμού ραντάρ (Mini-automatic radar plotting aid - MARPA) είναι μια λειτουργία ραντάρ για την παρακολούθηση του στόχου και την αποφυγή συγκρούσεων. Οι στόχοι πρέπει να επιλέγονται χειροκίνητα, αλλά παρακολουθούνται αυτόματα, συμπεριλαμβανομένης της εμβέλειας, της έντασης, της ταχύτητας στόχου, της κατεύθυνσης στόχου (πορείας), του CPA (πλησιέστερο σημείο προσέγγισης) και του TCPA (χρόνος πλησιέστερου σημείου προσέγγισης) και του συναγερμού ταχύτητας. Η MARPA είναι μια πιο βασική μορφή ARPA ραντάρ.

Οι επιλεγμένοι στόχοι του χρήστη επισημαίνονται αρχικά με ένα μικρό κουτί, ενώ ο MARPA επιλύει τη σχετική κίνηση, συγκρίνοντας τη σχετική κίνηση του στόχου στην οθόνη με την πραγματική κίνηση (ταχύτητα) του σκάφους παρακολούθησης. Μόλις επιλυθεί το κουτί λήψης, θα εμφανιστεί είτε ένας κύκλος στην περίπτωση του ασφαλή στόχου, ή ένα τρίγωνο για επικίνδυνους στόχους. Το MARPA μπορεί να υποδείξει περαιτέρω πληροφορίες με 2 πολύ διαφορετικούς αλλά

πολύ παρόμοια διανύσματα που αναζητούν: Πραγματικά Διανύσματα (True Vectors) και Σχετικά Διανύσματα (Relative Vectors).

Η πραγματική κατεύθυνση και η ταχύτητα ενός στόχου μπορούν να εξακριβωθούν με True Vector (TV), το μήκος της γραμμής υποδεικνύει την απόσταση που ο στόχος θα καλύψει στην πραγματικότητα για τη διάρκεια του διανύσματος, συνήθως 6 ή 3 λεπτά (αυτό είναι επιλέξιμο από το χρήστη). Τα διανύσματα 6 λεπτών παρέχουν ταχύτερο υπολογισμό της ταχύτητας. Π.χ. Το True 6min vector (TV6) 0,75 NM δείχνει ότι η πραγματική ταχύτητα του στόχου είναι 7,5 κόμβοι και η κατεύθυνση αυτού του διανύσματος υποδηλώνει την κατεύθυνση των άλλων πλοίων σε σχέση με το σκάφος παρακολούθησης.

Η σχετική κίνηση ενός στόχου μπορεί να παρατηρηθεί με τους τα Relative Vectors (RV). Με τη χρήση αυτών των διανυσμάτων απεικονίζεται ακριβώς η μελλοντική θέση του στόχου στην οθόνη ραντάρ σύμφωνα με την διάρκεια του διανύσματος, και πάλι συνήθως 6 ή 3 λεπτά ανάλογα με την περιοχή χρήσης. Ένα σχετικό διάνυσμα 6 λεπτών (RV6) θα είναι μια γραμμή που αντιπροσωπεύει την κίνηση του στόχου για τα επόμενα 6 λεπτά.

Οι περισσότερες οθόνες ραντάρ χρώματος μπορούν να εμφανίζουν ταυτόχρονα TV και RV. Είναι σημαντικό οι χρήστες της MARPA να μην μπερδεύονται με τις ενδείξεις του RV και του TV. Τα πραγματικά διανύσματα επιτρέπουν στους χρήστες να προσδιορίσουν με μια ματιά την όψη ενός στόχου, κάτι που είναι πρακτικά αδύνατο να γίνει χωρίς τη χειροκίνητη σχεδίαση. Τα σχετικά διανύσματα παρέχουν στους χρήστες, με μια ματιά, πληροφορίες σχετικά με τα σκάφη που παρουσιάζουν κίνδυνο σύγκρουσης, Στο κέντρο της οθόνης Ραντάρ υποδεικνύει ότι υπάρχει κίνδυνος σύγκρουσης. Όλες οι πληροφορίες σχετικά με έναν στόχο είναι επίσης διαθέσιμες αριθμητικά, ωστόσο, όταν παρακολουθούνται πολλαπλοί στόχοι, αυτές οι πληροφορίες αποσπούν το χρήστη από την εικόνα. Όμως, με κατάλληλη εκπαίδευση, η παρακολούθηση των διανυσμάτων είναι πολύ πιο ασφαλής.

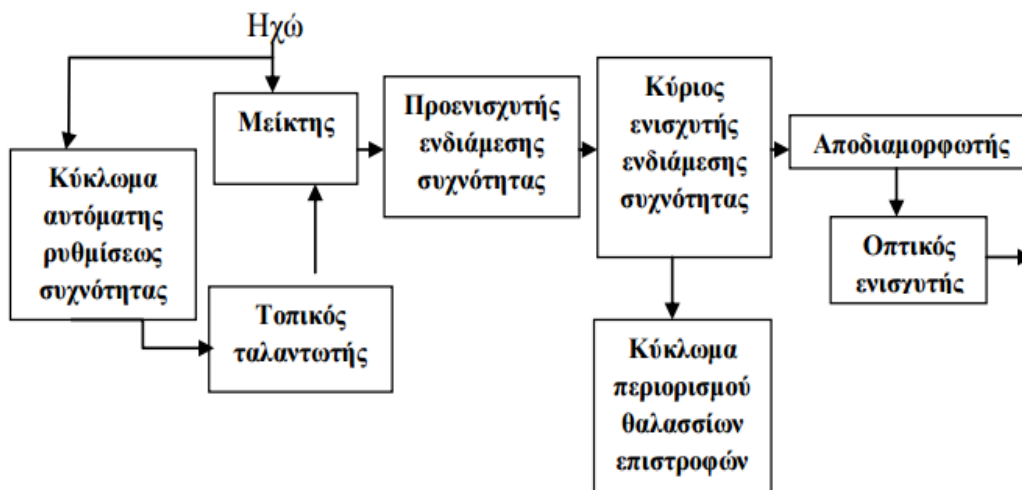
Οι κατασκευαστές χρησιμοποιούν μια ποικιλία αρκτικόλεξων για τα μικρά σκάφη ή το σκάφος, π.χ. MARPA (μίνι ή χειροκίνητο ARPA, ανάλογα με την εταιρεία). MARPA, ATA (αυτόματο βοήθημα παρακολούθησης) και ARP (αυτόματη αντιστοίχιση ραντάρ), όλες διαθέτουν παρόμοιες λειτουργίες με ARPA. Η μεγάλη διαφορά αυτών των βοηθημάτων σχεδιασμού ραντάρ μπορεί να μην είναι πλήρως ισοδύναμη με όλα τα πρότυπα επιδόσεων ARPA του εγκεκριμένου τύπου IMO που αποτελεί υποχρεωτική απαίτηση για τα μεγάλα ωκεάνια πλοία. Ως εκ τούτου, είναι λιγότερο δαπανηρή για τα μικρά σκάφη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6ο

ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΣΗΜΑΤΟΣ RADAR

6.1. ΛΗΨΗ ΣΗΜΑΤΟΣ

Ένας δέκτης λαμβάνει ένα σήμα (ηχώ του στόχου) μέσω του κυματοδηγού. Το σήμα αυτό αποτελείται από το ανακλώμενο σήμα του ραντάρ, έστω $s(t)$ μαζί με προστιθέμενο Gaussian θόρυβο $n(t)$ μηδενικής μέσης τιμής και τυχαία κατανομημένο χωρικά. Η πληροφορία που θα στείλει ο δέκτης προς απεικόνιση μπορεί να διαθέτει ακόμα και μερικά εκατομμύρια μπιτ ανά δευτερόλεπτο. Μπορούμε να θεωρήσουμε το ακόλουθο μπλοκ διάγραμμα για τη λήψη του σήματος:



Εικόνα 6.1: Μπλοκ διάγραμμα λήψης σήματος

Το σήμα μόλις ληφθεί υπόκειται σε υποβιβασμό συχνότητας ώστε να έρθει σε μια ενδιάμεση συχνότητα, η οποία στη συνέχεια ενισχύεται. Η ενίσχυση στην αρχική υψηλή συχνότητα δεν είναι εφικτή. Ο υποβιβασμός επιτυγχάνεται μέσω του μείκτη, και συνήθως η συχνότητα υποβιβασμού είναι τα 30 MHz. Ο τοπικός ταλαντωτής παράγει συνεχείς (και όχι κατά παλμούς) ταλαντώσεις χαμηλής ισχύος τοπικά στο δέκτη και συχνότητα τέτοια ώστε να διαφέρει σταθερά από τη συχνότητα της ηχούς, με διαφορά τόση όση η ενδιάμεση συχνότητα. Οι ταλαντώσεις που παράγονται από τον τοπικό ταλαντωτή εισάγονται και αυτές στο μείκτη για τον υποβιβασμό συχνότητας.

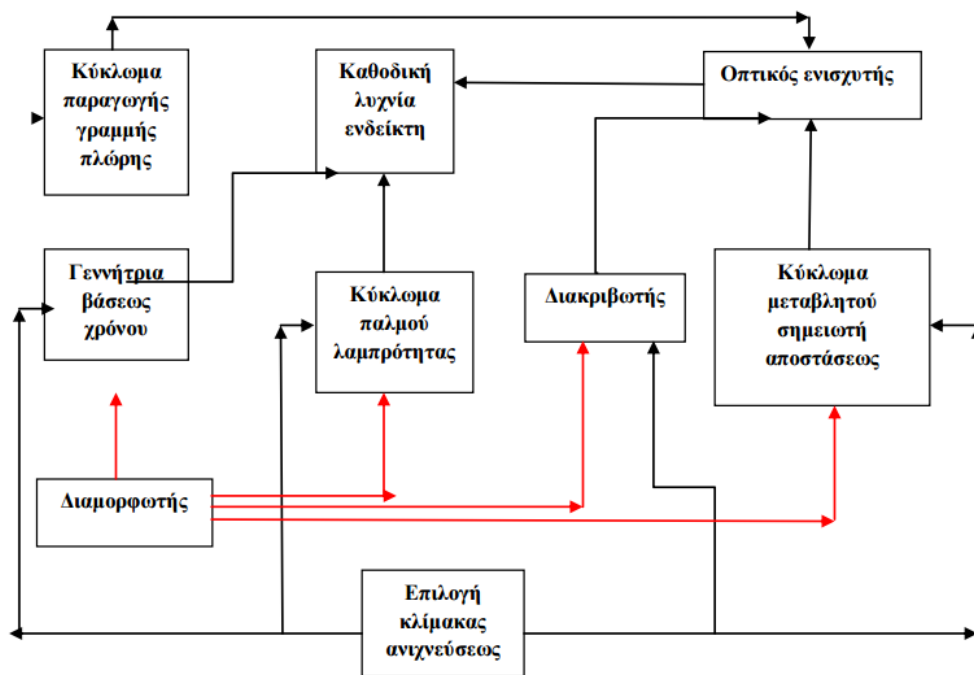
Το κύκλωμα αυτόματης ρύθμισης συχνότητας ρυθμίζει τη συχνότητα του ταλαντωτή ώστε να τηρείται η σταθερή διαφορά από τη συχνότητα ηχούς, η οποία μπορεί να μεταβάλλεται στο χρόνο.

Ο προενισχυτής ενδιάμεσης συχνότητας λαμβάνει στην είσοδό του σήματα από το μείκτη και ενισχύει μόνο το σήμα ενδιάμεσης συχνότητας, το οποίο διαβάζεται και οδηγείται για περαιτέρω ενίσχυση. Αυτό επιτυγχάνεται στον κύριο ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας, ο οποίος συχνά είναι τοποθετημένος στην ίδια μονάδα με τον ενδείκτη. Ο ρόλος του ενισχυτή αυτού είναι όχι να ενισχύσει την ενδιάμεση συχνότητα, αλλά τις συχνότητες γύρω από αυτή.

Ο αποδιαμορφωτής ανορθώνει την ηχώ της ενδιάμεσης συχνότητας, η οποία λαμβάνεται από τον κύριο ενισχυτή. Λόγω ανόρθωσης, η κυματομορφή της ενδιάμεσης συχνότητας θα έχει μόνο θετικές τιμές, ενώ οι αρνητικές έχουν αποκοπεί. Το σήμα των θετικών τιμών της ενδιάμεσης συχνότητας οδηγείται σε φίλτρο απόρριψης υψηλών συχνοτήτων με αποτέλεσμα να απομένει μια συνεχής θετική τάση. Συνεπώς, η έξοδος του αποδιαμορφωτή είναι ένας θετικός παλμός με διάρκεια που ισούται με τη διάρκεια της ηχούς, ο οποίος αποτελεί το οπτικό σήμα. Το κύκλωμα περιορισμού θαλάσσιων επιστροφών υπάρχει για εξακρίβωση ενός στόχου, επειδή ως μικρός στόχος μπορούν να θεωρηθούν και τα θαλάσσια κύματα, γεγονός που απειλεί την ασφαλή πλοήγηση.

Το κύκλωμα αυτό λοιπόν παράγει έναν αρνητικό παλμό όταν λάβει συγχρονιστικό παλμό από τον αποδιαμορφωτή. Ο παλμός εφαρμόζεται στον κύριο ενισχυτή ενδιάμεσης συχνότητας μειώνοντας την ενίσχυση. Το πλάτος του παλμού αυτού είναι μέγιστο τη στιγμή που εκπέμπεται από την κεραία του παλμού ραδιοκυμάτων και μειώνεται εκθετικά με το χρόνο. Η μείωση του ενισχυόμενου παλμού έχει ως αποτέλεσμα τη μείωση των θαλάσσιων επιστροφών, όμως και της ηχούς μικρών στόχων με συγκρίσιμο πλάτος με αυτό των θαλάσσιων επιστροφών.

Τα τελικά συστήματα της αλυσίδας του ραντάρ είναι οι βαθμίδες εξαγωγής στοιχείων και απεικόνισης. Τα κύρια στοιχεία του κυκλώματος του ενδείκτη είναι τα ακόλουθα:



Εικόνα 6.2: Μπλοκ διάγραμμα στοιχείων ενδείκτη

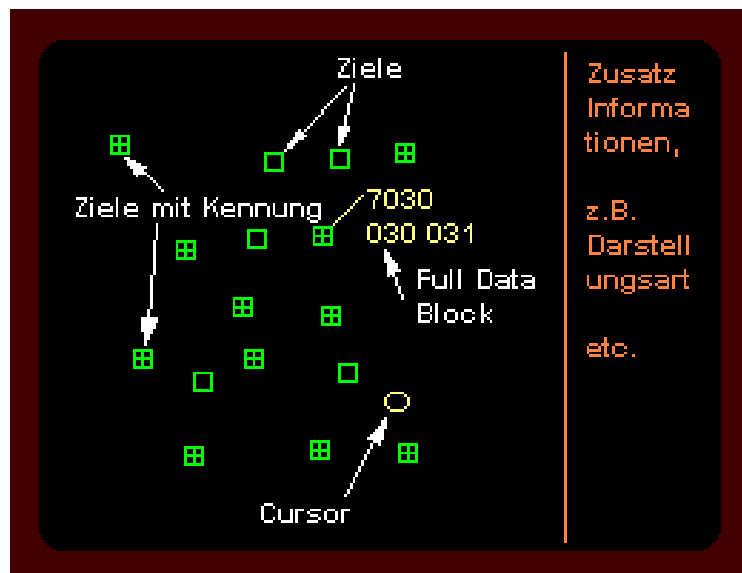
Η γεννήτρια βάσεως χρόνου παράγει κυματομορφές σε πριονωτή μορφή όταν δέχεται συγχρονιστικούς παλμούς από το διαμορφωτή για την τροφοδοσία του ενδείκτη. Κάθε πριονωτός παλμός δημιουργείται όταν αρχίζει η εκπομπή του παλμού από την κεραία. Το κύκλωμα παλμού λαμπρότητας παράγει ορθογωνικούς παλμούς, πάλι όταν δέχεται συγχρονιστικούς παλμούς από το διαμορφωτή, οι οποίοι στη συνέχεια οδηγούνται στο δέκτη και οδηγούν στην εμφάνιση μιας φωτεινής κηλίδας στην οθόνη. Η κηλίδα αυτή παραμένει τόσο διάστημα όσο διαρκούν οι παλμοί αυτοί. Ο διακριβωτής παράγει οξείς θετικούς παλμούς, οι οποίοι οδηγούνται στην οθόνη και παράγουν ομόκεντρους ισαπέχοντες φωτεινούς κύκλους, γνωστοί και ως διακριβωτικοί κύκλοι.

Με χρήση των κύκλων αυτών γίνεται η μέτρηση της απόστασης του στόχου. Όσο περισσότεροι είναι οι κύκλοι αυτοί τόσο πιο σωστή θα είναι η μέτρηση της απόστασης. Το κύκλωμα μεταβλητού σημειωτή αποστάσεως με τη βοήθεια ενός ρυθμιστή οθόνης παράγει έναν οξύ θετικό παλμό, ο οποίος ενισχύεται μέσω του οπτικού ενισχυτή και οδηγείται στον ενδείκτη, με αποτέλεσμα την εμφάνιση στο κέντρο της οθόνης ενός φωτεινού κύκλου.

Όταν μεταβληθεί η χρονική στιγμή δημιουργίας του παλμού, μεταβάλλεται και η ακτίνα του κύκλου που εμφανίζεται στην οθόνη, και επιδιώκεται η μεταβολή αυτή μέχρι να συμπέσει ο κύκλος με την ηχώ τους προς παρατήρηση αντικειμένου – στόχου. Κατ' αυτόν τον τρόπο μπορεί να μετρηθεί η απόσταση στην οποία βρίσκεται ο στόχος. Το κύκλωμα παραγωγής γραμμής της πλήρης παράγει

τη γραμμή της πλώρης στον ενδείκτη, ανεξαρτήτως της μεθόδου παρουσίασης της εικόνας. Ο άξονας της δέσμης του ραντάρ κατά την περιστροφή της κεραίας ευθυγραμμίζεται με την πλώρη του πλοίου παράγοντας την ένδειξη αυτή. Η γραμμή της πλώρης είναι μία πολύ σημαντική παράμετρος γιατί με βάση αυτή δίνεται μια εικόνα του όγκου του πλοίου σε σχέση με τους εντοπιζόμενους στόχους. Παράλληλα, προσδιορίζεται η θέση των στόχων προς την κατεύθυνση της πλώρης και διασφαλίζεται ασφαλής πλοήγηση.

Σε μια συσκευή ένδειξης οι πληροφορίες απεικονίζονται σε μια ψηφιακή οθόνη. Οι συντεταγμένες των στόχων έχουν δοθεί σε πολικές συντεταγμένες, και για να απεικονιστούν μετασχηματίζονται σε καρτεσιανές. Οι πληροφορίες αυτές αποθηκεύονται πιθανόν σε συνδυασμό με υπάρχοντες χάρτες. Μια οθόνη ψηφιακής απεικόνισης ραντάρ φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 6.3: οθόνη ψηφιακής απεικόνισης ραντάρ

Όταν τοποθετηθεί ο κέρσορας πάνω στην ένδειξη του στόχου παρουσιάζονται οι πληροφορίες για αυτόν.

Κάθε τύπος οθόνης ραντάρ έχει τη δυνατότητα απεικόνισης συγκεκριμένων πληροφοριών:

| The indicator present: | A-Scope | B-Scope | PPI-Scope | RHI-Scope | Raster Scan Monitor |
|--------------------------|---------|---------|-----------|-----------|---------------------|
| range | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ | ✓ |
| azimuth angle | ● | ✓ | ✓ | ● | ✓ |
| elevation angle | ● | ● | ● | ✓ | ✓ |
| other (like course etc.) | ● | ● | ● | ● | ✓ |

Εικόνα 6.4: Δυνατότητες οθόνης ραντάρ

6.2 ΕΙΚΟΝΑ RADAR

Κατά την απεικόνιση μπορούν να χρησιμοποιηθούν ενδείκτες αληθούς (True monitor) ή σχετικής κίνησης.

Στους ενδείκτες αληθούς κίνησης το κέντρο της οθόνης μετατοπίζεται ανάλογα με την ταχύτητα και την πορεία κίνησης του πλοίου, δίνοντας αληθή κίνηση. Οι ακίνητοι στόχοι συνεχίζουν να παραμένουν ακίνητοι κατά την απεικόνιση. Οι ήχοι των κινητών στόχων μένουν ανεπηρέαστοι από την κίνηση του πλοίου και στη οθόνη κινούνται με την πραγματική τους ταχύτητα και διεύθυνση. Οι ενδείκτες αληθούς κίνησης είναι ιδιαίτερα χρήσιμοι στην ακτοπλοΐα και την πλοήγηση σε περιορισμένες περιοχές.

Για να διασφαλιστούν ακριβείς διοπτύσεις όταν το κέντρο της εικόνας διαφέρει από το κέντρο της οθόνης, το ραντάρ διαθέτει ηλεκτρονικό σημειωτή διοπτύσεων, δηλαδή μια διακοπτόμενη ηλεκτρονική γραμμή που στρέφεται μέσω ρυθμιστή και δίνει τη δυνατότητα στη συνέχεια διόπτευσης και μέτρησης της απόστασης του στόχου. Κάθε δείκτης αληθούς κίνησης διαθέτει επαναλήπτη γυροσκοπικής πυξίδας. Οι σύγχρονες συσκευές ραντάρ είναι εφοδιασμένες με δρομόμετρο αλλά και GPS για τη μέτρηση ταχύτητας.

Ένας ενδείκτης αληθούς κίνησης παρουσιάζεται στη συνέχεια:



Εικόνα 6.5: Ενδείκτης αληθούς κίνησης

Όταν το πλοίο κινείται, εμφανίζεται ακίνητο στο κέντρο της οθόνης, και τα σήματα ακίνητων στόχων φαίνεται να κινούνται σε αντίθετη κατεύθυνση από την πορεία του πλοίου και με ταχύτητα ίση με την ταχύτητα του πλοίου. Συνεπώς, θα μεταβάλλεται και η ταχύτητα της ηχούς όλων των στόχων, αφού αυτή θα ισούται με το διανυσματικό άθροισμα της πραγματικής ταχύτητας του στόχου και της ταχύτητας του πλοίου, δηλαδή θα έχει μια σχετική ταχύτητα.

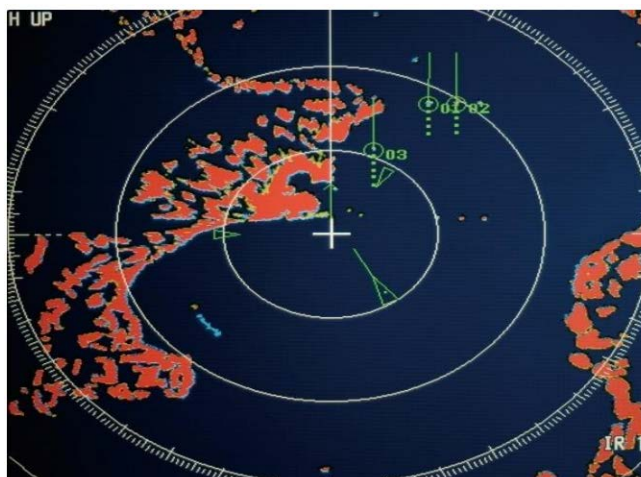
6.2.1. ΑΠΕΙΚΩΝΙΣΗ ΜΕ ΤΗ ΠΛΩΡΗ ΑΝΩ (HEAD UP)

Μια τεχνική απεικόνισης είναι η παρουσίαση με την πλώρη άνω. Η ονομασία αυτή οφείλεται στο ότι η ένδειξη 0 μοιρών αντιπροσωπεύει την πλώρη του πλοίου και βρίσκεται στο πάνω μέρος του ενδείκτη. Έτσι, η πλώρη του πλοίου δίνει τον προσανατολισμό της απεικόνισης στην οθόνη του ραντάρ. Με άλλα λόγια, όπως μπορεί κάποιος να παρατηρήσει ένα στόχο από τη γέφυρα του πλοίου θα μπορέσει να τους παρατηρήσει στην οθόνη σε σχέση με την κατεύθυνση της γραμμής της πλώρης, και αυτό είναι ένα σημαντικό πλεονέκτημα της μεθόδου αυτής.

Για όσο διάστημα η γραμμή της πλώρης παραμένει σταθερή, δεν προκαλούνται προβλήματα λόγω μεταπορφυρώσεως από τη γραμμή πλώρης. Όταν το πλοίο στρίψει, η ηχώ του στόχου στρέφεται με την ίδια κατεύθυνση προς την αντίθετη κατεύθυνση. Αυτό πολλές φορές δημιουργεί προβλήματα στον εντοπισμό μικρών στόχων, κάτι το οποίο μπορεί να συμβαίνει για μικρό χρονικό διάστημα, που όμως κάτω από κάποιες συνθήκες μπορεί να αποβεί κρίσιμο.

Οι ήχοι των στόχων εμφανίζονται σε σχετικές διοπτύσεις και για την μεταφορά τους στον ναυτικό χάρτη πρέπει να μεταγραφούν σε αληθείς, λαμβάνοντας υπόψη της πορεία του πλοίου. Αυτό συμβαίνει διότι οι στόχοι εμφανίζονται σε σχετικές διοπτύσεις. Στην αλλαγή πορείας, η ηχώ στρέφεται ταυτόχρονα και έτσι όσο διαρκεί η αλλαγή πορείας και λίγο μετά δεν υπάρχει αντιστοιχία και συνέχεια στη σχετική κίνηση των στόχων. Όταν μεταφέρονται οι σχετικές διοπτύσεις στόχων στο φύλλο υποτυπώσεως στο οποίο τηρείται η σχετική υποτύπωση με την πλώρη άνω, με οποιοδήποτε αλλαγή πορείας, το προηγούμενο φύλλο υποτυπώσεως αχρηστεύεται.

Επίσης, είναι δύσκολη η σύγκριση του στόχου μετά τη στροφή με τα προηγούμενα δεδομένα πριν τη στροφή. Η εικόνα που εμφανίζεται με πλοήγηση με την πλώρη άνω είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 6.6: Πλοήγηση με την πλώρη άνω

6.2.2. ΠΛΩΡΗ ΑΝΩ ΚΑΙ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΗ ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΑΝΕΜΟΛΟΓΙΟΥ (Head Up presentation and Azimuth ring stabilized)

Είναι μια σπανίως χρησιμοποιούμενη μέθοδος. Οι μηδέν μοίρες του ανεμολογίου αντιστοιχούν στην κατεύθυνση της πλώρης και το ανεμολόγιο είναι αζιμουθιακά στερεωμένο. Οι ενδείκτες που χρησιμοποιούνται είναι εφοδιασμένοι με επαναλήπτη γυροσκοπικής πυξίδας και δεύτερο ανεμολόγιο εξωτερικά τοποθετημένο σε σχέση με το κανονικό ανεμολόγιο. Κατά την στροφή του πλοίου το εξωτερικό ανεμολόγιο στρέφεται με την ίδια ταχύτητα προς την αντίθετη διεύθυνση με τη βοήθεια του επαναλήπτη και η εικόνα στρέφεται και αυτή αντίθετα, με αποτέλεσμα οι μετρούμενες διοπτύσεις είναι αληθείς. Η γραμμή της πλώρης εμφανίζεται συνεχόμενα τόσο πριν όσο και μετά από τη στροφή του πλοίου στις μηδέν μοίρες του εσωτερικού ανεμολογίου, ενώ στο εξωτερικό ανεμολόγιο δείχνει την πορεία του πλοίου.

6.2.3. ΠΑΡΟΣΟΥΣΙΑΣΗ ΤΗΣ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΤΟ ΒΟΡΡΑ ΠΑΝΩ ΚΑΙ ΑΖΙΜΟΥΘΙΑΚΑ ΣΤΕΡΕΩΜΕΝ (NORTH UP)

Κατά την απεικόνιση με βορρά άνω η μηδενική ένδειξη του ανεμολογίου βλέπει συνέχεια προς την κατεύθυνση του βορρά και στρέφει ακολουθώντας την ένδειξη του ραντάρ, καθώς το πλοίο αλλάζει κατεύθυνση. Έτσι, ακόμα και μετά από αλλαγή κατεύθυνσης, η πλώρη και το μηδέν του ανεμολογίου δείχνουν το βορρά. Κατά τη στροφή του πλοίου η πλώρη στρέφει με την ίδια ταχύτητα. Η ηχώ των στόχων δεν έχει τη δυνατότητα στροφής, αφού μεταδίδεται ευθύγραμμα, και η εικόνα του ραντάρ παραμένει σταθερή. Επιπλέον, οι αντηχήσεις των στόχων εμφανίζονται στις αληθείς διοπτύσεις τους οι οποίες δεν μεταβάλλονται κατά την αλλαγή πορείας του πλοίου. Κατά την καταγραφή της υποτυπώσεως στο φύλλο υποτυπώσεως, αυτή τηρείται με το Βορρά άνω και έτσι δεν καθίσταται άχρηστη η προηγούμενη υποτύπωση.

Οι στόχοι εμφανίζονται σε αληθείς διοπτύσεις και δεν επηρεάζονται από την αλλαγή πορείας, με αποτέλεσμα να διατηρείται η συνοχή της απεικόνισης, ακόμα και μετά από στροφή, σε αντίθεση με την απεικόνιση με πλώρη άνω. Έτσι, η εποπτεία της σχετικής κίνησης του στόχου δεν είναι δύσκολη μετά τη στροφή, αρκεί η αλλαγή κατεύθυνσης να γίνει σε επαρκή απόσταση από το στόχο. Η μεταβολή της διοπτύσεως που προκαλείται από μια έντονη στροφή του πλοίου είναι εύκολο να παρατηρηθεί, χάρη στις αληθείς διοπτύσεις.

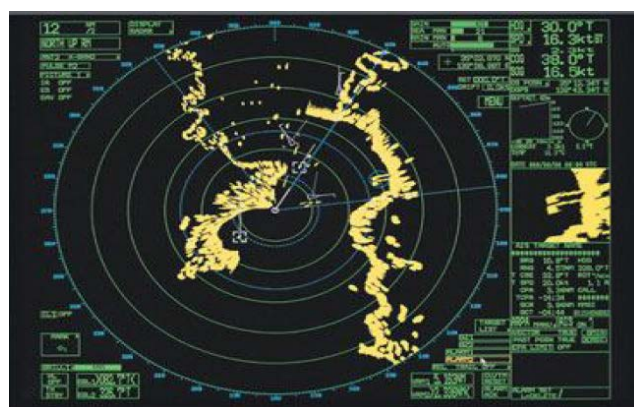
Ένα πρόβλημα κατά τη στροφή της πλώρης μπορεί να είναι δύσκολος ο εντοπισμός ηχούς μικρών στόχων. Αυτό συμβαίνει λόγω του φαινομένου της μεταποφυρώσεως από τη στροφή της πλώρης, οπότε και υπάρχει κάλυψη για μικρό, αλλά πιθανά κρίσιμο χρονικό διάστημα σε σημαντική έκταση της εικόνας. Το πρόβλημα καλύπτει τον τομέα της οθόνης που αντιστοιχεί στη στροφή του πλοίου, με συνέπεια τη δυσχερή διάκριση της ηχούς των στόχων αυτών, που αντιστοιχούν στον τομέα αυτό.

Επειδή αρχικά κάποιος μαθαίνει να πλοηγεί με χρήση της πλώρης άνω, η χρήση της τεχνικής του βορρά άνω σε αρχικό στάδιο ίσως είναι δύσκολη. Με επαρκή εξάσκηση όμως, η κύρια δυσκολία της μεταφοράς των διοπτύσεων καθίσταται διαχειρίσιμη. Η εικόνα που λαμβάνεται από πλοήγηση με τον Βορρά Άνω και Αζιμουθιακά στερεωμένη είναι η ακόλουθη:



Εικόνα 6.7: Απεικόνιση βορρά Άνω και Αζιμουθιακά στερεωμένη

Στην περίπτωση σχετικής κίνησης με το Βορρά άνω και αποκεντρωμένη την εικόνα (Relative Motion Display North Up Off Center) χρησιμοποιείται δείκτης αληθούς κίνησης και επιτρέπεται η απεικόνιση των στόχων στη σχετική τους κίνηση. Από την άλλη, όπως είναι λογικό παρουσιάζεται ψευδής κίνηση των ακίνητων στόχων. Παράδειγμα σχετικής κίνησης με το Βορρά άνω και αποκεντρωμένη την εικόνα φαίνεται παρακάτω:



Εικόνα 6.8: Απεικόνιση βορρά άνω και αποκεντρωμένη

6.2.4. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΕΙΚΟΝΑΣ ΜΕ ΠΟΡΕΙΑ ΠΑΝΩ (course up presentation)

Στην παρουσίαση με την πορεία άνω, ο επαναλήπτης γυροσκοπικής πυξίδας στρέφει ταυτόχρονα το ανεμολόγιο και το δίκτυο παράλληλων γραμμών αντίθετα από τη φορά στροφής του πλοίου και με την ίδια ταχύτητα. Η ένδειξη μηδέν του ανεμολογίου δείχνει προς το βορρά. Η τεχνική αυτή διαθέτει τα ίδια πλεονεκτήματα με την απεικόνιση βορρά άνω, επιτρέποντας ευκολότερη σύγκριση της εικόνας των στόχων όπως φαίνονται στην οθόνη με τους πραγματικούς στόχους όπως αυτοί φαίνονται στον ορίζοντα. Το μειονέκτημα της παρουσίασης αυτής είναι η δυσκολία μεταφοράς της εικόνας στο χάρτη. Η γραμμή της πλώρης του πλοίου κατά την πορεία παρουσιάζεται συνέχεια προς τα άνω και δείχνει στο ανεμολόγιο την πορεία που ακολουθεί το πλοίο. Η γραμμή της πλώρης μένει ανεπηρέαστη κατά την αλλαγή κατεύθυνσης του πλοίου, ενώ πραγματοποιείται στροφή ανεμολογίου και στόχων. Οι διοπτρείς των στόχων στο ανεμολόγιο είναι αληθείς.



Εικόνα 6.9: Απεικόνιση με πορεία άνω

6.2.5. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΗ ΣΤΑΘΕΡΗ ΜΑΖΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η αληθής κίνηση με σταθεροποίηση ως προς τη μάζα του νερού επιτυγχάνεται με τη χρήση πυξίδας και δρομόμετρου, με την πυξίδα να δίνει πληροφορίες για την πορεία του πλοίου και το δρομόμετρο που βρίσκεται στον ενδείκτη, να δίνει πληροφορίες σχετικά με την ταχύτητα του πλοίου ως προς το νερό. Ο ενδείκτης αληθούς κινήσεως δείχνει την ταχύτητα και την πορεία που διανύει το πλοίο ως προς τη μάζα του νερού. Το κέντρο της εικόνας κινείται αντίστοιχα με το πλοίο ως προς τη μάζα του νερού, ενώ η πλώρη κινείται παράλληλα, συνεπώς αποφεύγονται προβλήματα λόγω μεταπορφυρώσεως. Η ηχώ από ακίνητους στόχους φαίνεται να κινείται ισοταχώς με το ρεύμα και σε αντίθετη κατεύθυνση, γεγονός που δυσχεραίνει τη διάκριση μικρών στόχων λόγω

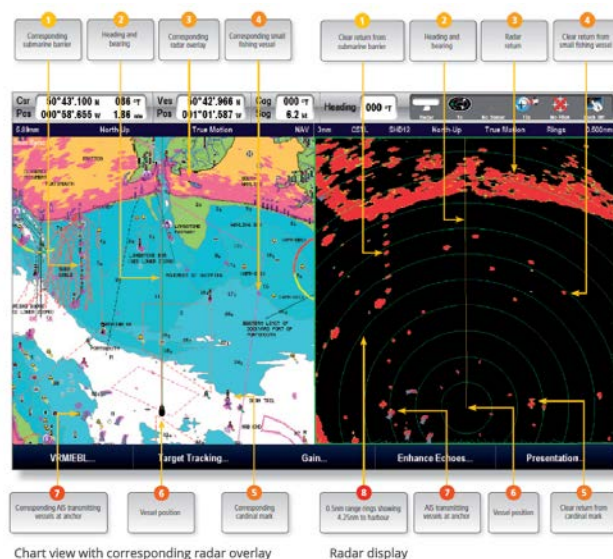
μεταπορφυρώσεως. Όσον αφορά κινούμενους στόχους, αυτή φαίνεται να κινείται με ταχύτητα και σε διεύθυνση ίδια με αυτή που έχει ο στόχος ως προς τη μάζα του νερού.

6.2.6. ΠΑΡΟΥΣΙΑΣΗ ΣΤΑΘΕΡΟΥΣ ΚΙΝΗΣΗΣ ΩΣ ΠΡΟΣ ΤΟ ΒΥΘΟ

Ο ενδείκτης στη μέθοδο αυτή θα απεικονίζει την ταχύτητα και την κατεύθυνση του πλοίου ως προς το βυθό. Μπορεί να επιλεγεί η απεικόνιση αυτή με τη βοήθεια ενός διακόπτη παρουσιάσεως εικόνας και με την εισαγωγή πληροφοριών σχετικά με τη θέση, τη διεύθυνση και την ταχύτητα του πλοίου ως προς το βυθό. Πρέπει να υπολογιστεί αρχικά η πορεία και η ταχύτητα του πλοίου ως προς τη μάζα του νερού και την κατεύθυνση και την πορεία του ρεύματος και έτσι τελικά λαμβάνεται η πορεία και η ταχύτητα του πλοίου ως προς το βυθό. Η κατεύθυνση και η πορεία του ρεύματος μπορούν να υπολογιστούν με παρατήρηση ενός ακίνητου στόχου σε ενδεικτική αληθούς κίνησης με σταθεροποίησης ως προς τη μάζα του νερού.

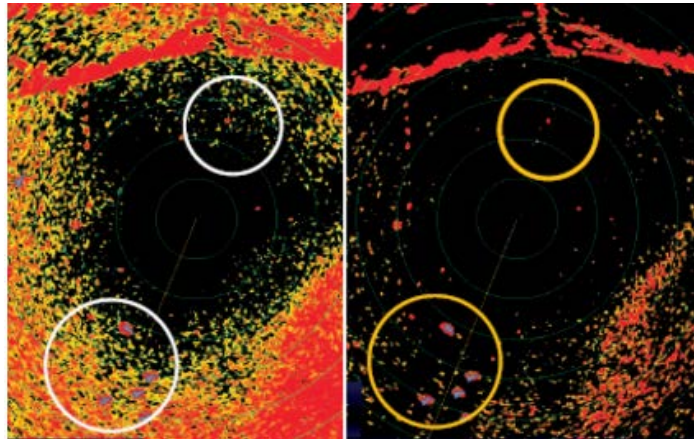
6.3. ΕΙΚΟΝΕΣ ΑΠΟ ΕΝΑ ΣΥΓΧΡΟΝΟ RADAR

Παρακάτω απεικονίζεται η εικόνα που λαμβάνεται από ένα πολύ σύγχρονο ναυτικό ραντάρ (Raymarine HD color) το οποίο χρησιμοποιεί εξελιγμένη ψηφιακής επεξεργασίας σημάτων με εξαιρετικά προσαρμοστικό πομπό και δέκτη που προσαρμόζεται αυτόματα στις μεταβαλλόμενες περιβαλλοντικές και θαλάσσιες συνθήκες.



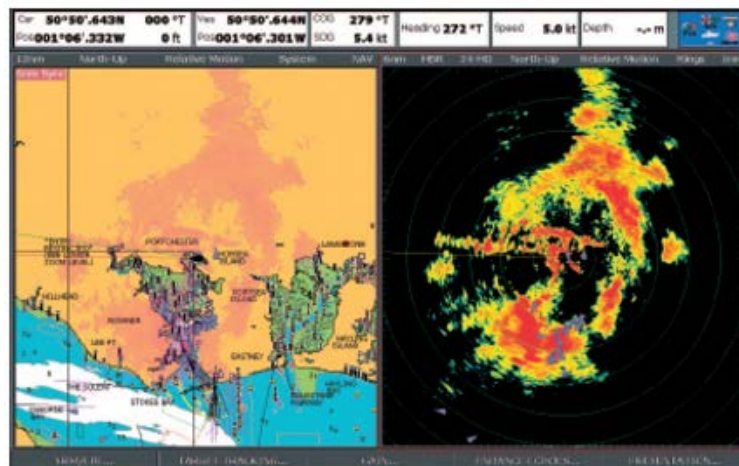
Εικόνα 6.10: Εικόνα από το Raymarine HD color

Ένα τόσο εξελιγμένο ραντάρ επιτρέπει υψηλή απόδοση, με σαφή απεικόνιση στόχων ακόμα και υπό καταιγίδα και βροχή. Στην παρακάτω εικόνα πραγματοποιείται επεξεργασία (rain mode) κόβοντας τα άτακτα κατανεμημένα αντικείμενα (clutter) για να αποκαλυφθούν οι στόχοι:



Εικόνα 6.11: Επεξεργασία αποκάλυψης στόχων

Το ραντάρ αυτό εντοπίζει στόχους σε πολύ κοντινή απόσταση από το πλοίο αλλά και σε πολύ μεγάλες αποστάσεις, για να είναι δυνατή η παρατήρηση πολύ απομακρυσμένων σκαφών, των χαρακτηριστικών της στεριάς και ακόμη και τα μέτωπα του καιρού. Διαχωρίζει τους στόχους ακόμη και μέσω βροχής. Μια τυπική χρήση του ραντάρ αυτού είναι για την παρατήρηση του καιρού και έπειτα την επικάλυψη στο χάρτη για να αντιστοιχιστεί το μοτίβο καιρού:

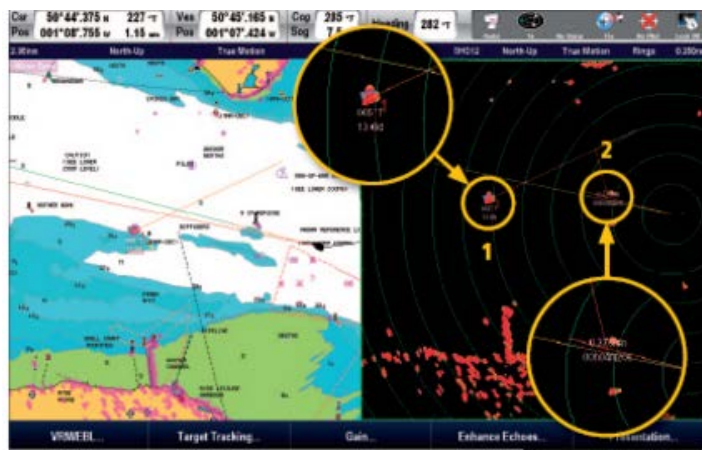


Εικόνα 6.12: Εντοπισμός μοτίβων καιρού

Χρησιμοποιώντας τη μέθοδο MARPA (mini-αυτόματο βοήθημα σχεδιασμού ραντάρ), η οποία περιγράφηκε στο κεφάλαιο 5, μπορούν να αναγνωριστούν άλλα πλοία, η ταχύτητά τους, η πορεία τους, το πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (CPA) και το χρόνο που χρειάζεται μέχρι το

πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (TCPA), να δοθεί επικίνδυνος συναγερμός ή συναγερμός εγγύτητας και να διευκρινιστεί ο στόχος μέσω διασταύρωσης με τις πληροφορίες που δίνει το AIS.

Παρακάτω, ο στόχος 1 (επικάλυψη κόκκινων κύκλων) έχει αποκτηθεί με χρήση του MARPA και παρακολουθείται από το ραντάρ. Η ταχύτητα και η ένδειξη του στόχου απεικονίζονται, και η κατεύθυνση του στόχου εμφανίζεται ως λεπτή κόκκινη γραμμή στα 65° (2).



Εικόνα 6.13: Εντοπισμός στόχου, ταχύτητα και κατεύθυνση

Ο εντοπισμένος στόχος έχει πλέον μεταφερθεί στη ζώνη προστασίας που είχε οριστεί προηγουμένως γύρω από το πλοίο και έχει ενεργοποιήσει τον συναγερμό επικίνδυνου στόχου, που εμφανίζεται στην οθόνη απενεργοποιώντας ταυτόχρονα τον ηχητικό συναγερμό:



Εικόνα 6.14: Απενεργοποίηση συναγερμού

Ο συναγερμός έχει αναγνωριστεί (τόρα επικαλυμμένος με ένα κόκκινο τρίγωνο για να σημειωθεί ο πιθανός κίνδυνος) και το πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (CPA) του στόχου (1) στο πλοίο εμφανίζεται στην οθόνη ως 0.376nm (3), ενώ ο χρόνος ως το πλησιέστερο σημείο προσέγγισης (TCPA) είναι 4 λεπτά 20 δευτερόλεπτα (2).



Εικόνα 6.15: Πλησιέστερα σημεία προσέγγισης

ΕΠΙΛΟΓΟΣ

Με βάση όλη την ανάλυση που προηγήθηκε σε αυτή την εργασία διαφαίνεται ο κρίσιμος ρόλος της χρήσης αλλά και της βελτίωσης του ραντάρ σε ποικίλες ναυτιλιακές εφαρμογές και όχι μόνο. Βασισμένο σε μελετημένα φυσικά φαινόμενα, το ραντάρ είναι ικανό να εκπέμπει σήματα προς τον περιβάλλοντα χώρο και να λαμβάνει τις ανακλάσεις των κυμάτων από τα αντικείμενα – στόχους που παρεμβάλλονται στην πορεία του σήματος, δίνοντας πληροφορίες για τη θέση, την ταχύτητά τους και την κατεύθυνση κίνησής τους.

Το ραντάρ, έχοντας τη δυνατότητα επόπτευσης του περιβάλλοντα χώρου, ιδιαίτερα κάτω από δυσμενείς καιρικές συνθήκες και μειωμένη ορατότητα, υποβοηθάει σε τεράστιο βαθμό την οπτική παρατήρηση του πληρώματος. Οι διάφοροι στόχοι, είτε αυτοί βρίσκονται μέσα στη θάλασσα είτε αποτελούν τμήμα της στεριάς εντοπίζονται με ακρίβεια, καθιστώντας εύκολη την παράκτια πλεύση αλλά και την πλεύση μέσα σε βαθύτερα νερά. Η εξέλιξη του ραντάρ τα τελευταία χρόνια έχει οδηγήσει σε μείωση της πιθανότητας συγκρούσεων χάρη στην έγκαιρη προειδοποίηση παραγόντων που θα οδηγούσαν σε ατύχημα.

Επίσης, επιτρέπει τον εντοπισμό του πλοίου στη θάλασσα από ναυτιλιακές αρχές, οι οποίες εντοπίζουν το σήμα του πλοίου και έτσι πληροφορούνται για τη θέση και την πορεία του, εξασφαλίζοντας ότι ακολουθεί τη σωστή διαδρομή και ότι παραμένει ασφαλές ακόμα και κατά την πλεύση του στα μέσα του ωκεανού.

Βιβλιογραφία

- Raymond Cartier, *Ιστορία του Β' Παγκοσμίου Πολέμου*, εκδ. Πάπυρος-Πρες, Αθήνα, Μαλαχίας, Σάγος, "Αρχές PANTAP και ηλεκτρονικού πολέμου στην εποχή της πληροφορικής" [1], Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, Αθήνα 2004, Ζαχαρίας Δ, Ραντάρ
<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A1%CE%B1%CE%BD%CF%84%CE%AC%CF%81>
(Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- [https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1_\(%CE%92%CF%81%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B1\)](https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%92%CE%B1%CF%83%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%A0%CE%BF%CE%BB%CE%B5%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AE_%CE%91%CE%B5%CF%81%CE%BF%CF%80%CE%BF%CF%81%CE%AF%CE%B1_(%CE%92%CF%81%CE%B5%CF%84%CE%B1%CE%BD%CE%AF%CE%B1)) (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/Luftwaffe> (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BC%CE%B1%CE%B3%CE%BD%CE%B7%CF%84%CE%B9%CE%BA%CF%8C_%CF%86%CE%AC%CF%83%CE%BC%CE%B1 (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- <https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CF%89%CF%82> (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9A%CE%BF%CF%83%CE%BC%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82_%CE%B1%CE%BA%CF%84%CE%AF%CE%BD%CE%B5%CF%82 (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- <http://brain.ee.auth.gr/dokuwiki/doku.php?id=radars:radars> (Επισκέφθηκε Ιούνιος 2017)
- Κουτσοουρίδης Αλέξανδρος (2010), *'Ψηφιακή απεικόνιση αναλογικού ραντάρ'*, Διπλωματική εργασία, Πανεπιστήμιο Πατρών, Πάτρα, Μάρτιος 2010
(<http://nemertes.lis.upatras.gr/jspui/bitstream/10889/3625/1/KoutsouridesAlexandrosFinal.pdf>)
- <http://www.raymarine.com/view/?id=450> (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- Raymond Cartier, *Ιστορία του Β' Παγκοσμίου Πολέμου*, εκδ. Πάπυρος-Πρες, Αθήνα. Μαλαχίας, Σάγος, "Αρχές PANTAP και ηλεκτρονικού πολέμου στην εποχή της πληροφορικής", Εκδόσεις ΠΑΠΑΣΩΤΗΡΙΟΥ, Αθήνα 2004
https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A6%CE%B1%CE%B9%CE%BD%CF%8C%CE%BC%CE%B5%CE%BD%CE%BF_%CE%9D%CF%84%CF%8C%CF%80%CE%BB%CE%B5%CF%81
(Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)
- https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%9C%CE%AE%CE%BA%CE%BF%CF%82_%CE%BA%CF%8D%CE%BC%CE%B1%CF%84%CE%BF%CF%82 (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Πασχαλίδης Παντελής (2011), *‘Ο ρόλος του ραντάρ στη σύγχρονη γέφυρα και η αξιοποίηση του στη διεξαγωγή της ναυτιλίας’*, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού, Σχολή πλοιάρχων, Ιούνιος 2011. (<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK264/%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B5%CF%82%20-%20%CE%9D%CE%97%CE%9F/%CE%9F%20%CF%81%CF%8C%CE%BB%CE%BF%CF%82%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20RADAR%20%CF%83%CF%84%CE%B7%20%CE%B3%CE%AD%CF%86%CF%85%CF%81%CE%B1%20%CE%BA%CE%B1%CE%B9%20%CE%B7%20%CE%B1%CE%BE%CE%B9%CE%BF%CF%80%CE%BF%CE%AF%CE%B7%CF%83%CE%B7%20%CF%84%CE%BF%CF%85%20%CF%83%CF%84%CE%B7%20%CE%B4%CE%B9%CE%B5%CE%BE%CE%B1%CE%B3%CF%89%CE%B3%CE%AE%20%CF%84%CE%B7%CF%82%20%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BB%CE%AF%CE%B1%CF%82.pdf>)

Αλέξανδρος Α. Κυρίτσης (2016), *Ενεργές και παθητικές μέθοδοι ανίχνευσης πολύ μικρών ιπτάμενων οχημάτων*, Διπλωματική εργασία, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Αθήνα, Ιούλιος 2016. (artemis.cslab.ntua.gr/Dienst/UI/1.0/Download/artemis.ntua.ece/DT2016-0207)

https://en.wikipedia.org/wiki/Marine_radar (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Φυσική Κατεύθυνσης Γ' Λυκείου – ΟΕΛΒ

Εκπομπή και λήψη Ραδιοφωνικού σήματος, Γ τάξη ΕΠΑΛ - ΟΕΛΒ

https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%94%CE%B9%CE%B1%CE%BC%CF%8C%CF%81%CF%86%CF%89%CF%83%CE%B7_%CF%83%CF%85%CF%87%CE%BD%CF%8C%CF%84%CE%B7%CF%84%CE%B1%CF%82 (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

<http://www.aua.gr/~bethanis/polarization.pdf> (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Φυσική Γενικής Παιδείας - Γ Τάξης γενικού λυκείου. (pdf). Οργανισμός Εκδόσεων Διδακτικών Βιβλίων - Παιδαγωγικό Ινστιτούτο - ΥΠΕΠΘ. 2008, σελ. 25-29.

<https://el.wikipedia.org/wiki/%CE%A0%CF%8C%CE%BB%CF%89%CF%83%CE%B7> (Επισκέφθηκε Ιούνιος 2017)

Δρ. Χ. Βοζίκης *Εργαστήριο Φυσικής*, <http://teachers.teicm.gr/bozikis/Physics2/lab/f2-lab-02.pdf> (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Balanis C. A, (2005), *Antenna Theory: Analysis and Design*, John Wiley & Sons, New Jersey, USA,

Μητρούσιος Μάριος (2015), *Ηλεκτρονικά Ναυτιλιακά Όργανα Ναυσιπλοΐας*, Ακαδημία Εμπορικού Ναυτικού Μακεδονίας, Σχολή πλοιάρχων, Πτυχιακή εργασία, 2015.

(<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK264/%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B5%CF%82%20-%20%CE%9D%CE%97%CE%9F/%CE%97%CE%BB%CE%B5%CE%BA%CF%84%CF%81%CE%BF%CE%BD%CE%B9%CE%BA%CE%AC%20%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BB%CE%B9%CE%B1%CE%BA%CE%AC%20%CE%8C%CF%81%CE%B3%CE%B1%CE%BD%CE%B1%20%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%83%CE%B9%CF%80%CE%B%CE%BF%CE%90%CE%B1%CF%82.pdf>)

https://en.wikipedia.org/wiki/Automatic_radar_plotting_aid (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

https://en.wikipedia.org/wiki/Mini-automatic_radar_plotting_aid (Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Γεώργιος Χ. Καβρουλάκης (2013), *‘Σύστημα Παραγωγής Σημάτων Ραντάρ’*, Εθνικό Μετσόβιο Πολυτεχνείο, Σχολή ηλεκτρολόγων μηχανικών και μηχανικών υπολογιστών, Διπλωματική εργασία, 2013. (http://artemis.cslab.ntua.gr/el_thesis/artemis.ntua.ece/DT2014-0017/DT2014-0017.pdf)

<http://aen-mak.blogspot.gr/2012/06/radar.html> (Επισκέφθηκε Ιούνιος 2017)

Χάρτης πλοίων,<https://www.marinetraffic.com/gr/ais/home/centerx:-12.0/centery:25.0/zoom:4>
(Επισκέφθηκε, Ιούνιος 2017)

Ιακωβίδης Δημήτριος (2016), *Radar & Τηλεπικοινωνίες: εφαρμογές στη ναυτιλία*, Ακαδημία εμπορικού ναυτικού (ΑΕΝ Μακεδονίας), Πτυχιακή εργασία, Ιούνιος 2016.

(<https://maredu.gunet.gr/modules/document/file.php/MAK264/%CE%9D%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BA%CE%AD%CF%82%20%CE%95%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B5%CF%82%20-%20%CE%9D%CE%97%CE%9F/RADAR%20%26%CF%84%CE%B7%CE%BB%CE%B5%CF%80%CE%B9%CE%BA%CE%BF%CE%B9%CE%BD%CF%89%CE%BD%CE%AF%CE%B5%CF%82%2C%20%CE%B5%CF%86%CE%B1%CF%81%CE%BC%CE%BF%CE%B3%CE%AD%CF%82%20%CF%83%CF%84%CE%B7%20%CE%BD%CE%B1%CF%85%CF%84%CE%B9%CE%BB%CE%AF%CE%B1.pdf>)