

**ΑΚΑΔΗΜΙΑ ΕΜΠΟΡΙΚΟΥ ΝΑΥΤΙΚΟΥ
Α.Ε.Ν ΜΑΚΕΔΟΝΙΑΣ**

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΤΣΟΥΛΗΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ

RADAR ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥΣ

**ΤΟΥ ΣΠΟΥΔΑΣΤΗ: ΚΕΦΑΛΑΣ ΝΙΚΟΛΑΟΣ
Α.Γ.Μ: 1930**

**Ημερομηνία ανάληψης της εργασίας:
Ημερομηνία παράδοσης της εργασίας:**

<i>A/A</i>	<i>Όνοματεπώνυμο</i>	<i>Ειδικότης</i>	<i>Αξιολόγηση</i>	<i>Υπογραφή</i>
<i>1</i>	<i>ΚΑΡΠΩΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ</i>	<i>ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΠΟΥΔΩΝ</i>		
<i>2</i>	<i>Επιβλέπων Καθηγητής</i>			
<i>3</i>	<i>Καθηγητής Συναφούς ειδικότητας</i>			
ΤΕΛΙΚΗ ΑΞΙΟΛΟΓΗΣΗ				

Ο ΔΙΕΥΘΥΝΤΗΣ ΣΠΟΥΔΩΝ : ΚΑΡΠΩΝΗΣ ΑΘΑΝΑΣΙΟΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

	Σελίδες
ΠΡΟΛΟΓΟΣ	3
1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	4
Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ RADAR	4
2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ	8
2.1 Χαρακτηριστικά του ραντάρ	8
2.2 Εφαρμογές	9
3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	11
3.1 Ασφάλεια πλοίου (ραντάρ ναυσιπλοΐας)	11
3.2 Εξέλιξη των radar σε πλοία με το σύστημα arpa	13
3.3 Εκτέλεση του νόμου (radar μέτρηση ταχύτητας)	14
3.4 Στρατός (Στρατιωτικά ραντάρ)	16
3.5 Έλεγχος πολιτικής εναέριας κυκλοφορίας (ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας)	19
3.5.1 Τα radar βρίσκουν εφαρμογή και στα αεροπλάνα	21
3.6 Μακρινή εκτίμηση του περιβάλλοντος(μετεωρολογικά radar)	22
4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ	25
ΠΕΝΗΝΤΑ ΧΡΟΝΙΑ ΡΑΝΤΑΡ	25
1930s	
26	
1940s	
27	
1950s	
29	
1960s	
31	
1970s	
32	
1980s	
33	
Σημαντικά γεγονότα του ραντάρ	35

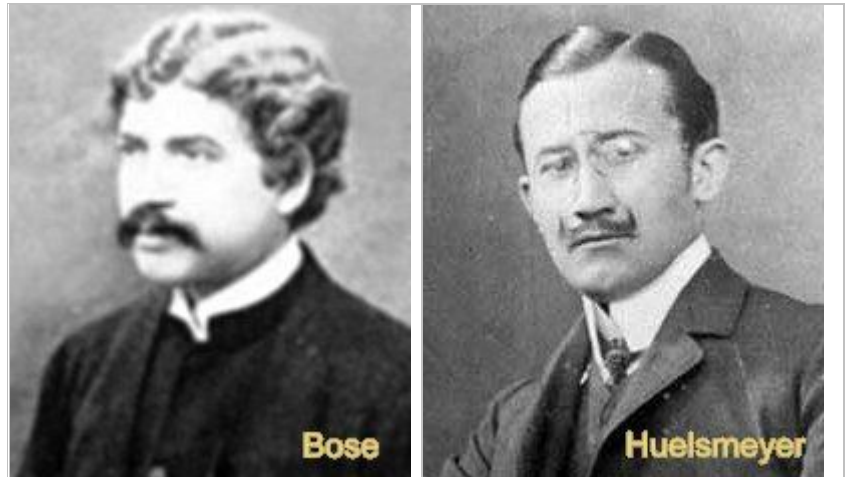
ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Το ραντάρ (radar = **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging ή επίσης **R**adio **A**ngle **D**etection **A**nd **R**anging) αποτελεί μια ηλεκτρονική κατασκευή που εκπέμπει κατάλληλο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και στη συνέχεια παραλαμβάνει τυχόν ανακλάσεις του σε μεταλλικές επιφάνειες. Έτσι είναι δυνατόν να συλλεχτούν πληροφορίες για είδος και πλήθος κινούμενων ή σταθερών μεταλλικών αντικειμένων . Κάνοντας μια ιστορική αναδρομή της εξέλιξης των radar μέχρι σήμερα πρέπει να ξεκινήσουμε από το 1886.Τότε ο γερμανός φυσικός Heinrich Hertz,προς τιμήν του οποίου η μονάδα μετρήσεως της συχνότητας ,πήρε το όνομα του ,υποστήριξε ότι τα ραδιοκύματα μπορούν να ανακλαστούν από μεταλλικά αντικείμενα .Το 1903 ο γερμανός μηχανικός hultsmeyer παρουσίασε την πατέντα μιας συσκευής ραδιοκυμάτων για την ανίχνευση πλοίων με σκοπό την αποφυγή συγκρούσεων. Ωστόσο η συσκευή αυτή δεν έγινε δεκτή με ιδιαίτερη θερμή λόγω της μικρής εμβέλειας της ,μόλις 1 ν.μ. Το 1922 ο ιταλός φυσικός Marconi,σε μια διάλεξη του, επέστησε την προσοχή των επιστημόνων στη δουλειά του Hertz και πρότεινε θεωρητικά αυτό που σήμερα σε γενικές γραμμές είναι το ραντάρ ναυσιπλοΐας .Παράλληλα το 1022 οι Αμερικανοί μηχανικοί Taylor και Young κατέφεραν να ανιχνεύσουν ξύλινο πλοίο χρησιμοποιώντας ξεχωριστό πομπό και δεκτή στη συχνότητα των 60 mhz. Ωστόσο αν και από τα μέσα περίπου της δεκαετίας του 20 άρχισαν να χρησιμοποιούνται ραντάρ για τον προσδιορισμό του ύψους της ιονόσφαιρας, μόλις το 1935 άρχισαν να χρησιμοποιούνται με επιτυχία ραντάρ για την ανίχνευση και μέτρηση της αποστάσεως αεροσκαφών .Η επιτυχία αυτή προέκυψε μετά από συνεχή προσπάθεια κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 30 ανεξάρτητων ομάδων επιστημόνων σε Βρετανία Γαλλία Γερμανία και Η.Π.Α. με σκοπό την ανάπτυξη συστήματος ραντάρ για τον εντοπισμό εχθρικών αεροπλάνων πολύ πριν προσεγγίσουν τις περιοχές που στόχευαν να πλήξουν ώστε να υπάρχει επαρκής χρόνος προετοιμασίας για την αντιμετώπιση τους. Το πρώτο ραντάρ που χρησιμοποιήθηκε στην θάλασσα τοποθετήθηκε σε πολεμικό πλοίο το 1937.Απο το 1944 τα ραντάρ ναυσιπλοΐας άρχισαν να εμφανίζονται και στα εμπορικά πλοία .Σήμερα χρησιμοποιούν όλες τις πρόσφατες εξελίξεις της τεχνολογίας.

1^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

Η ΑΝΑΚΑΛΥΨΗ ΚΑΙ Η ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ RADAR

Το ραντάρ (radar = **RA**dio **D**etection **A**nd **R**anging ή επίσης **R**adio **A**ngle **D**etection **A**nd **R**anging) αποτελεί μια ηλεκτρονική κατασκευή που εκπέμπει κατάλληλο ηλεκτρομαγνητικό κύμα και στη συνέχεια παραλαμβάνει τυχόν ανακλάσεις του σε μεταλλικές επιφάνειες. Έτσι είναι δυνατόν να συλλεχτούν πληροφορίες για είδος και πλήθος κινούμενων ή σταθερών μεταλλικών αντικειμένων. Αυτή η κατασκευή υλοποιήθηκε σχεδόν παράλληλα στη Γερμανία, τη Βρετανία και τη Σοβιετική Ένωση στα τέλη της δεκαετίας του 1930, με κύριο στόχο την αντιμετώπιση αντιπάλων αεροπλάνων και πλοίων κατά το β' παγκόσμιο πόλεμο.



Το έτος 1849 είχε μετρήσει ο Γάλλος Φυσικός Armand Fizeau Φιζώ, την ταχύτητα του φωτός με την καταγραφή του χρόνου που χρειάζεται μια φωτεινή δέσμη να ανακλαστεί σε εμπόδιο που βρίσκεται σε δεδομένη απόσταση, και να επιστρέψει στον πομπό της. Από τη στιγμή που είναι γνωστή η ταχύτητα του φωτός, μπορούμε να επαναλάβουμε το πείραμα με στόχο τον προσδιορισμό της απόστασης, στην οποία βρίσκεται το εμπόδιο. Όμως, το φως δεν προσφέρεται για τέτοιες εφαρμογές, γιατί ανακόπτεται εύκολα από διάφορα εμπόδια και επίσης απορροφάται και σκεδάζεται σε μεγάλο βαθμό από την υγρασία και τη σκόνη της ατμόσφαιρας. Το έτος 1866 είχε διαπιστώσει πειραματικά ο [Rudolf Hertz](#) ότι τα ραδιοκύματα αντανακλώνται σε μεταλλικά αντικείμενα. Στα τέλη της δεκαετίας του 1870 επανέλαβε ο Ινδός Jagadish Chandra Bose (Μπόουζ, 1858-1937) τα πειράματα του Χερτς στην Καλκούτα, χρησιμοποιώντας μικρότερα μήκη κύματος. Με τα αποτελέσματα από αυτά τα πειράματα οδηγήθηκε ο Μπόουζ στην κατασκευή των πρώτων κυματοδηγών.

Τη μέθοδο Φιζώ για εντοπισμό μεταλλικών αντικειμένων αλλά με ραδιοκύματα εφάρμοσε το έτος 1904 ο Γερμανός φοιτητής Christian Huelsmeyer (Χυλσμάγερ, 1881-1957), ο οποίος στα πλαίσια πειραμάτων ως υποψήφιος εκπαιδευτικός, προσδιόρισε την ακριβή απόσταση πλοίων στη θάλασσα από το εργαστήριό του.

Τα ραδιοκύματα είναι κατάλληλα για μετρήσεις απόστασης μεταλλικών αντικειμένων εφόσον έχουν υψηλή συχνότητα (μικρό μήκος κύματος), αλλιώς κάμπτονται κατά την πρόσκρουση σε μεταλλικά εμπόδια και αλλάζουν κατεύθυνση εκπομπής. Τα κύματα μεγάλης συχνότητας (μικροκύματα) είναι διεισδυτικά και διαπερνούν τα σύννεφα. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας που έλαβε ο Χυλσμάγερ το ίδιο έτος έχει τίτλο: «Μέθοδος ειδοποίησης ενός παρατηρητή για την ύπαρξη απομακρυσμένων μεταλλικών αντικειμένων με χρήση ραδιοκυμάτων».

Είναι άγνωστο, αν έγινε ευρύτερα αντιληπτή από τον τεχνικό κόσμο η σημασία αυτής της επινοήσεως του Χυλσμάγερ, το μόνο συναφές στοιχείο ήρθε από ένα τελείως διαφορετικό χώρο, αυτόν της λογοτεχνίας. Ο Αμερικάνος τεχνικός και συγγραφέας Hugo Gernsback (Γκέρνσμπακ, 1884-1967) με καταγωγή από το Λουξεμβούργο, περιγράφει σε ένα μυθιστόρημα επιστημονικής φαντασίας που κυκλοφόρησε το έτος 1911, την αξιοποίηση ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων για τη λειτουργία ενός ραντάρ, το οποίο χρησιμεύει στη μυθιστορηματική πλοκή του έργου. Είναι άγνωστο, αν ο Γκέρνσμπακ επηρεάστηκε από την ιδέα του Χυλσμάγερ ή έπλασε αυτοδύναμα την ιστορία του για το ραντάρ. Το έτος 1917 αξιοποίησε ο Γάλλος Φυσικός Paul Langevin (Λανζεβέν, 1872-1946) τους υπερήχους για εντοπισμό αντικειμένων στο νερό. Τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα και το φως δεν ήταν δυνατόν να χρησιμοποιηθούν σ' αυτό το μέσο, ενώ οι υπέρηχοι προσφέρονται λόγω του μικρού μήκους κύματος που διαθέτουν κι επειδή δεν σκεδάζονται ή απορροφώνται από το νερό. Τα αντικείμενα που έπρεπε να εντοπιστούν δεν ήταν άγνωστα ευρήματα αλλά γερμανικά υποβρύχια, τα οποία κατά τη διάρκεια του α' παγκόσμιου πολέμου προκαλούσαν τεράστιες απώλειες στα αντίπαλα πλεούμενα. Η συσκευή που κατασκεύασε ο Λανζεβέν, το *σονάρ* (sonar = **S**ound, **N**avigation **A**nd **R**anging), δεν ολοκληρώθηκε βέβαια έγκαιρα ώστε να αξιοποιηθεί στον πόλεμο, χρησιμοποιείται όμως βελτιωμένη μέχρι σήμερα για να εντοπιστούν, εκτός από υποβρύχια και ναυάγια, κοπάδια ψαριών, αλλά και για να καταγραφεί το ανάγλυφο του πυθμένα των θαλασσών. Εκτός αυτών, οι υπέρηχοι παίζουν σημαντικό ρόλο στην ιατρική διαγνωστική.

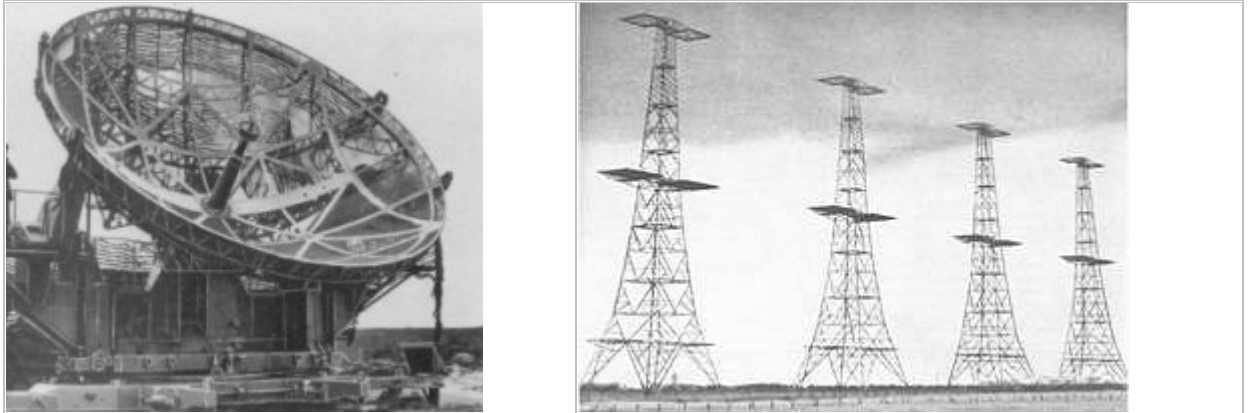
Στη δεκαετία του 1930 εξελίσσονται παράλληλα προσπάθειες για ανάπτυξη ραντάρ στο πλαίσιο των εξοπλισμών από τις κυριότερες αντίπαλες δυνάμεις και συγκεκριμένα τη Γερμανία, τη Βρετανία, τη Σοβιετική Ένωση και τις ΗΠΑ. Επειδή το ραντάρ είχε τότε σχεδόν αποκλειστικά στρατιωτικό ενδιαφέρον, η ανάπτυξή του έγινε σε όλες τις χώρες με μεγάλη μυστικότητα, γι' αυτό και οι τεχνικοί που συμμετείχαν σε κάθε χώρα δεν είχαν δυνατότητα επικοινωνίας. Αυτός είναι και ο λόγος που τα συστήματα, τα οποία τελικά αναπτύχθηκαν, διέφεραν σημαντικά μεταξύ τους.

Το έτος 1934 πραγματοποιεί το γερμανικό ναυτικό (Dr. Rudolf Kuehnhold) πειράματα στον κόλπο του Κιέλου με μία συσκευή που εκπέμπει *εκατοστομετρικά κύματα* (decimeter). Τα αποτελέσματα έδειξαν ότι η συσκευή μπορούσε να εντοπίσει, εκτός από πλοία, και αεροπλάνα που πέταγαν πάνω από το λιμάνι. Στο αμέσως επόμενο χρονικό διάστημα η εμβέλεια εντοπισμού έφτασε τα 40 km. Η πρώτη στρατιωτική αξιοποίηση αυτού του ραντάρ έγινε στα τέλη του έτους 1939 (ο β' παγκόσμιος πόλεμος είχε αρχίσει ήδη τον Σεπτέμβριο αυτού του έτους), όταν εντοπίστηκαν έγκαιρα και καταρρίφθηκαν βρετανικά αεροπλάνα που ετοιμάζονταν για έφοδο σε πολεμικά πλοία στο λιμάνι του Αμβούργου.

Η εταιρία Telefunken εγκατέστησε το έτος 1939 μια σειρά ραντάρ με το κωδικό όνομα *Wuerzburg* για την υποστήριξη των αντιαεροπορικών πυροβολαρχιών. Το «πιάτο» αυτών των ραντάρ είχε διάμετρο 3 m, η εκπομπή γινόταν στα 565 MHz με 8 kW παλμική ισχύ και η εμβέλεια έφτανε τα 40 km. Αυτές οι συσκευές βελτιώθηκαν σταδιακά και μέχρι το τέλος του πολέμου είχαν κατασκευαστεί περίπου 4.000 κομμάτια. Μια ειδικότερη κατασκευή αυτού του ραντάρ είχε την ονομασία *Wuerzburg-Riese* (γίγας).

Στη Βρετανία παρουσίασαν οι Robert Watson-Watt και Arnold Wilkins το έτος 1935 ένα σχέδιο για κατασκευή ραντάρ, το οποίο προέβλεπε εκπομπές με μήκος κύματος 49 m. Αυτό το μήκος ήταν περίπου το διπλάσιο του ανοίγματος του πτερύγων των συνηθισμένων βομβαρδιστικών αεροπλάνων κι έτσι οι μεταλλικές επενδύσεις των αεροπλάνων αντανακλούσαν τα ραδιοκύματα ως δίπολα μισού μήκους κύματος. Μετά από διάφορες βελτιώσεις εγκαταστάθηκε το έτος 1937 κατά μήκος της ανατολικής ακτής της Βρετανίας ένα δίκτυο 20 κεραιών που ονομάστηκε *Chain Home*. Η εκπομπή γινόταν με μήκη κύματος 10-13,5 m (22-30 MHz) με συχνότητα εκπομπής

παλμών 25 Hz και ισχύ 200 kW. Η εμβέλεια αυτών των πομπών ήταν της τάξης των 200 km. Από το έτος 1939 βρισκόταν αυτό το δίκτυο ραντάρ σε 24ωρη λειτουργία. Η γερμανική κατασκοπεία πληροφορήθηκε για τη βρετανική εγκατάσταση εντοπισμού αεροπλάνων και έστειλε ένα αερόστατο Ζέπελιν για ανίχνευση πάνω από το κανάλι μεταξύ Βρετανίας και Ευρώπης για να καταγράψει σήματα και τεχνικά χαρακτηριστικά. Αυτή η κατασκοπευτική εξόρμηση έμεινε όμως χωρίς αποτέλεσμα, γιατί οι Γερμανοί τεχνικοί ανίχνευαν την περιοχή συχνοτήτων 200-600 MHz, ενώ οι Εγγλέζοι πραγματοποιούσαν εκπομπές στα 30 MHz.



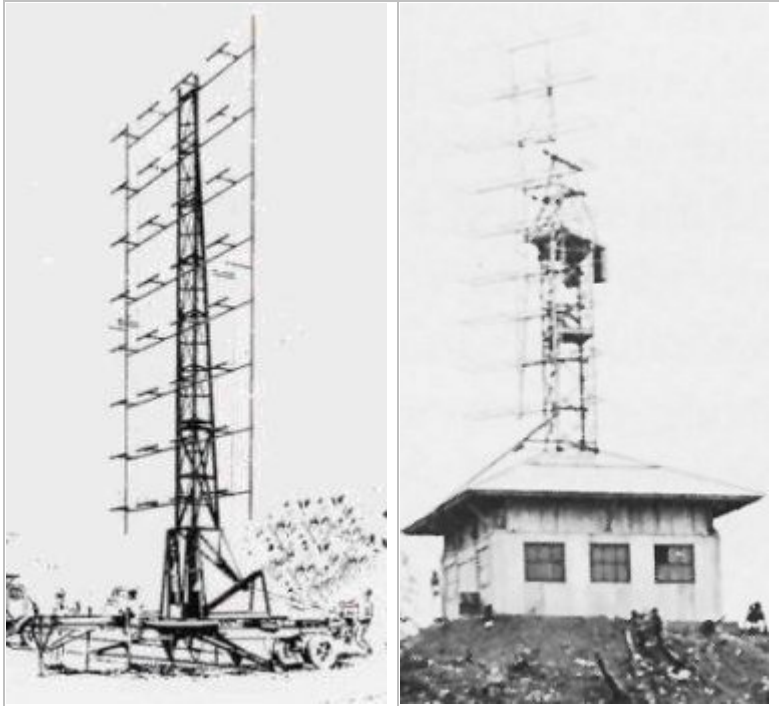
Αριστερα: Το γερμανικό ραντάρ Wuerzburg-Riese, Δεξιά: Οι κεραίες του δικτύου Chain Home

Το δίκτυο Chain Home είχε μια ικανοποιητική για την εποχή εμβέλεια, δεν μπορούσε να εντοπίσει όμως αεροπλάνα σε χαμηλή πτήση. Γι' αυτό δημιουργήθηκε ένα δεύτερο δίκτυο, Chain Home Low, με εμβέλεια 80 km και συχνότητα εκπομπής στα 200 MHz. Τα δύο αυτά δίκτυα αποδείχθηκαν πολύ αξιόπιστα κατά τις επιθέσεις της γερμανικής αεροπορίας στο Λονδίνο και άλλες μεγάλες βρετανικές πόλεις. Το έτος 1940 κατασκευάστηκε στη Βρετανία συσκευή *μάγνητρον* (magnetron) ικανή να παράγει κύματα 10 cm κι έτσι έγινε δυνατός ο εφοδιασμός των αεροπλάνων με μικρά ραντάρ. Αυτό το ραντάρ έδειχνε στο χειριστή τη διαμόρφωση του εδάφους, με αποτέλεσμα να είναι πολύ ακριβέστερη η πλοήγηση των αεροπλάνων κοντά σε στόχους. Τα πρώτα αεροπλάνα εφοδιασμένα με ραντάρ χρησιμοποιήθηκαν το έτος 1943.

Και οι δύο αντίπαλες πλευρές στο δυτικό μέτωπο, Βρετανοί και Γερμανοί, χρησιμοποίησαν τεχνικές παρεμβολών στα εχθρικά ραντάρ. Μάλιστα και οι δύο πλευρές εφάρμοσαν την ίδια μέθοδο, είτε τυχαία είτε αξιοποιώντας πληροφορίες από κατασκοπεία: τη ρίψη σε μεγάλες ποσότητες μικρών ταινιών από stanioI. Σύμφωνα με πληροφορίες που έγιναν γνωστές μετά τον πόλεμο, κατά τις επιθέσεις των βρετανικών βομβαρδιστικών στην περιοχή του Αμβούργου, επί 2 συνεχείς ημέρες στο τέλος Ιανουαρίου 1943, ρίχτηκαν για παρενόχληση των γερμανικών ραντάρ περί τα 92 εκατομμύρια ταινίες μεγέθους ίσο με το μισό μήκος κύματος των εκπεμπόμενων ραδιοκυμάτων. Το συνολικό βάρος των ταινιών stanioI ήταν της τάξης των 40 τόνων. Λίγο αργότερα βελτιώθηκαν τα γερμανικά ραντάρ με αξιοποίηση του φαινομένου Doppler, ώστε να διαχωρίζονται μικρές επιφάνειες που κινούνταν αργά ή έμεναν ακίνητες, από μεγαλύτερες επιφάνειες που κινούνταν σταθερά.

Στις ΗΠΑ άρχισε το έτος 1937 η μελέτη των δυνατοτήτων κατασκευής ραντάρ για στρατιωτική χρήση. Σύντομα προσδιορίστηκαν οι ανάγκες και κατασκευάστηκαν 800 συσκευές με εμβέλεια 50 μιλίων, φορητές (SCR-270) και σταθερές (SCR-271) με ισχύ 100 kW. Όταν το έτος 1941 επιτέθηκαν τα γιαπωνέζικα αεροπλάνα και κατέστρεψαν τον αμερικάνικο στόλο στο Pearl Harbour, τα αμερικάνικα ραντάρ λειτουργούσαν και είχαν λάβει το σήμα προσεγγίσεως των εχθρικών αεροπλάνων, μόνο που, λέγεται, ότι το προσωπικό χειρισμού δεν διέθετε την κατάλληλη εκπαίδευση για να αντιληφθεί τη σημασία των σημάτων που ελάμβανε. Κατά μία άλλη εκδοχή, τα εχθρικά αεροπλάνα έγιναν αντιληπτά και δόθηκε αρμοδίως μήνυμα συναγερμού, αλλά τα ανώτερα κλιμάκια διοίκησης του στρατού δεν έλαβε σοβαρά υπόψη τους τις πληροφορίες, ίσως επειδή δεν πίστευαν ότι ήταν δυνατόν να οργανωθεί μία τέτοια επίθεση. Λόγω της τεχνολογικής υστέρησης σ' αυτόν τον τομέα, τα πρώτα αξιόλογα αμερικάνικα επίγεια

ραντάρ τέθηκαν σε λειτουργία το έτος 1943, ενώ το έτος 1944 τοποθετήθηκαν τα πρώτα ραντάρ σε αεροπλάνα της πολεμικής αεροπορίας.



Τα πρώτα αμερικάνικα συστήματα ραντάρ, SCR 270 και 271.

Στη Σοβιετική Ένωση υπήρξε επίσης μια αυτοτελής ανάπτυξη του ραντάρ, κυρίως λόγω της σχετικής απομόνωσης του σοβιετικού καθεστώτος και της υποχώρησης στα ενδότερα που κατέστη απαραίτητη, μετά την επίθεση του γερμανικού στρατού. Καταρχήν, περί το έτος 1895 πραγματοποιεί ο καθηγητής στην Πετρούπολη, Alexander Stepanowitsch Popow (Ποπόφ, 1859-1905), πειράματα με ραδιοκύματα. Μέχρι τη δεκαετία του 1920 συνέβαλαν Ρώσοι και Ουκρανοί επιστήμονες στη διαλεύκανση προβλημάτων σχετικά με ανακλάσεις ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Ο Leonid Isaakowitsch Mandelstam (Μάντελσταμ, 1879-1944) και ο Nikolai Dmitrijewitsch Papaleksi

(Παπαλέξης, 1880-1947) πραγματοποίησαν μετρήσεις αποστάσεων με ηλεκτρομαγνητικούς παλμούς για προσδιορισμό του ύψους της ιονόσφαιρας. Για το σκοπό αυτό αξιοποιήθηκαν λυχνίες ως γεννήτριες και διαμορφωτές κυμάτων, οι οποίες είχαν κατασκευαστεί για την τηλεόραση. Επίσης κατασκευάστηκε μάγνητρο για την παραγωγή κυμάτων υπερυψηλής συχνότητας.

Η ιδέα για τον προσδιορισμό της θέσης αεροπλάνων με ραδιοκύματα άρχισε να συζητιέται στη Σοβιετική Ένωση από το έτος 1930. Από το 1933 άρχισαν πειραματικές κατασκευές για εκπομπή εκατοστομετρικών κυμάτων και το έτος 1934 δοκιμάστηκε με επιτυχία η συσκευή *Rapid*, η οποία εντόπιζε αεροπλάνα σε ύψος 5.200 m με ισχύ εκπομπής 200 W και συχνότητα 64 MHz. Μέχρι το έτος 1939 εξελίχθηκε αυτή η συσκευή και πήρε το κωδικό όνομα RUS-1. Το 1941 προστάτευαν 41 τέτοιες μονάδες τη γραμμή Μόσχας-Λένινγκραντ. Παράλληλα αναπτύχθηκαν κι άλλα συστήματα με παραπλήσια χαρακτηριστικά που αξιοποιήθηκαν επίσης κατά το β' παγκόσμιο πόλεμο.

Μετά το β' παγκόσμιο πόλεμο ανέλαβαν ηγετικό ρόλο στο θέμα των ραντάρ οι ΗΠΑ, όπως και στις υπόλοιπες ηλεκτρονικές εφαρμογές εξ άλλου και ανέπτυξαν [ραντάρ](#), εκτός από αυτά που προορίζονταν αμιγώς για στρατιωτική χρήση, και άλλα εξειδικευμένα για την ασφάλεια της πολιτικής αεροπορίας, για έλεγχο της οδικής κυκλοφορίας, για μετεωρολογικές παρατηρήσεις και προβλέψεις, για αστρονομικές μελέτες κ.ά.

2^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΟ ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΤΙΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΥ

2.1 Χαρακτηριστικά του ραντάρ

Το ραντάρ αποκαλύπτει τα αντικείμενα που βρίσκονται στην εμβέλειά του και τα ταξινομεί ως προς την απόσταση και την κατεύθυνση τους, εκπέμποντας ένα σήμα γνωστής κυματομορφής (συνήθως μια επαναλαμβανόμενη σειρά δονήσεων μικρής διάρκειας) και ανιχνεύοντας τη λαμβανόμενη αντήχηση. Η βασική λειτουργία ενός ραντάρ έγκειται στη μέτρηση της απόστασης και της κατεύθυνσης (αζιμουθιακής γωνίας) του στόχου σε σχέση με αυτό. Κανένα άλλο αισθητήριο όργανο δε μπορεί να ανταγωνιστεί το ραντάρ όσον αφορά την ακριβή μέτρηση της θέσης ενός μακρινού στόχου.

Άλλο ένα σημαντικό χαρακτηριστικό είναι η χρήση της συχνότητας Doppler που παράγεται από ένα κινούμενο στόχο. Η συχνότητα Doppler είναι μια μέτρηση της ακτινωτής ταχύτητας ανάμεσα στο ραντάρ και τον στόχο. Επιτρέπει σ' ένα ραντάρ να ξεχωρίζει επιθυμητούς κινούμενους στόχους από ανεπιθύμητες σταθερές απήχησης θορύβων, ακόμα και όταν ο θόρυβος είναι πολύ μεγαλύτερος από τον κινούμενο στόχο. Παρατηρώντας ένα στόχο σε κάποιο διάστημα του χρόνου, ένα ραντάρ μπορεί να εξάγει πορεία και ταχύτητα. Από την πορεία και την ταχύτητα μπορεί να δημιουργηθεί η πορεία του στόχου. Αυτό είναι σημαντικό για εμφύλιο εναέριο έλεγχο όπως επίσης και για στρατιωτικές εφαρμογές (επιθέσεις). Η ιστορία της τροχιάς που παρέχεται από ένα ραντάρ κάνει δυνατή την αναγνώριση ενός είδους στόχου από έναν άλλο. Για παράδειγμα η μικρή ταχύτητα και μερικές φορές η ασταθής πορεία ενός πουλιού είναι σίγουρα διαφορετική από την ταχύτητα και πορεία ενός αεροσκάφους. Δεν χρειάζεται να υπάρχει πρόβλημα στο να διακρίνεις την τροχιά ενός αεροσκάφους. Παρομοίως η τροχιά ενός στρατιωτικού αεροσκάφους σε μια αποστολή πιθανόν να είναι διαφορετική απ' την τροχιά μίας εμπορικής αεροπορικής γραμμής ανάλυση των ατομικών διαλυμάτων (σκορπισμάτων) ενός στόχου σε κατεύθυνση (σειρά), γωνία και η ακτινωτή ταχύτητα είναι μια πιο άμεση και γρηγορότερη μέθοδος για αναγνώριση στόχου απ' ότι η εξέταση της ιστορίας της τροχιάς. Ραντάρ υψηλού βαθμού ανάλυσης μπορεί να δώσει το ακτινωτό προφίλ και το ακτινωτό μέγεθος ενός στόχου. Η καλή ανάλυση γωνίας μπορεί αρχικά να παρέχει μια εικόνα του στόχου σε διαγώνια κατεύθυνση, αλλά τα σχετικά μεγάλα μήκη κύματος του ραντάρ συνήθως αποκλείουν την ανάλυση της γωνίας αρκετά καλά για να αναγνωρίζουν τις λεπτομέρειες των περισσότερων στόχων. Όμως η καλή ανάλυση της διαγώνιας κατεύθυνσης ή της γωνίας μπορεί να γίνει εκμεταλλεύοντας την άριστη ανάλυση που είναι δυνατή στην κυριότητα της συχνότητας Doppler εάν υπάρχει σχετική κίνηση ανάμεσα στον στόχο και το ραντάρ. Αυτή είναι η βασική αρχή του ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα και του ραντάρ με αντίστροφο σύνθετο άνοιγμα. Το ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα μπορεί επίσης να θεωρηθεί σαν μια ακολουθητική μεγάλη παραγόμενη κεραία. Όταν συνδυάζεται με ανάλυση υψηλού βαθμού, το ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα παρέχει μια δισδιάστατη εικόνα του στόχου. Άλλα μέσα για αναγνώριση ενός στόχου από έναν άλλο βασίζονται στην διακριτική αλλοίωση της αντήχησης του ραντάρ, όπως από την περιστροφή των μηχανών ενός αεροσκάφους ή από την περιστροφή της κεραίας πάνω σ' ένα πλοίο.

Το ραντάρ έχει το πλεονέκτημα πάνω από υπέρυθρο και οπτικά αισθητήρια όργανα στο να είναι ικανό να λειτουργεί σε άσχημο καιρό και την νύχτα όπως επίσης και την ημέρα. Μπορεί να είναι μακράς κατεύθυνσης και ευαίσθητο σε μικρούς στόχους. Μερικά ραντάρ είναι αρκετά μικρά για να κρατηθούν στο χέρι (όπως είναι τα αστυνομικά ταχύμετρα). Άλλα είναι μεγαλύτερα από ένα γήπεδο ποδοσφαίρου και απαιτούν μεγάλα μέτρα δύναμης (όπως για τον εντοπισμό εξωγήινων στόχων). Το ραντάρ έχει χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό στόχων πάνω και κάτω από την επιφάνεια της γης, στον αέρα και στο διάστημα. Δεν απαιτεί από το στόχο να συνεργαστεί χρησιμοποιώντας transponders ή αυξανόμενες αντηχήσεις και δεν βασίζεται στη φύση για να φωτίσει τον στόχο (όπως κάνουν τα παθητικά αισθητήρια όργανα) από τη στιγμή που είναι ένα ή ενεργό ή αισθητήριο όργανο που κουβαλάει το δικό του μεταδότη. Πέρα απ' το να κάνει τη δική του δουλειά κάτω από ευνοϊκές συνθήκες, το ραντάρ μπορεί να σχεδιαστεί για να λειτουργεί όταν το φυσικό περιβάλλον παρεμβαίνει, όπως στην παρουσία μεγάλου εδάφους, θάλασσας ή κακοκαιρίας. Πρέπει επίσης να λειτουργεί ώστε να μην αναμειγνύεται με, ή να υποβιβάζεται από άλλες ηλεκτρομαγνητικές λειτουργίες. Τα συστήματα των στρατιωτικών ραντάρ είναι σχεδιασμένα "ώστε να είναι ικανά να εκτελούν τις αποστολές τους παρά από εχθρικές ενέργειες όπως ηλεκτρονικές καταμετρήσεις ή επιθέσεις πυραύλων με ακτινοβολία E. Η εκτέλεση του ραντάρ θα έπρεπε να συνοδεύεται από υψηλή αξιοπιστία και υψηλή διαθεσιμότητα, μια μακροχρόσιμη λειτουργία (ζωή) και εξοπλισμό που ταιριάζει στο διάστημα και ζυγίζει κατάλληλα (ειδικά σημαντικό για εναέριες εφαρμογές). Πρέπει να έχει τα μέσα (τι σημαίνει αυτό βασίζεται στην λειτουργία) και δεν πρέπει να εκπληρώνει υπερβολικές απαιτήσεις για προσωπική λειτουργία και συντήρηση. Το ραντάρ έχει αυξηθεί σημαντικά από την αρχική στρατιωτική ανάπτυξή του το 1930. Καινούριες αναπτύξεις του ραντάρ γίνονται ακόμα, οι οποίες προσφέρουν βελτιωμένες λειτουργίες και καινούριες ικανότητες.

2.2 Εφαρμογές

Ο πίνακας με τα περιεχόμενα αυτού του βιβλίου είναι μια λίστα των κυριότερων εφαρμογών του ραντάρ. Η λίστα που ακολουθεί έχει γίνει με έναν διαφορετικό τρόπο και είναι μια περίληψη των χρήσεων στις οποίες έχει τοποθετηθεί το ραντάρ.

- **Έλεγχος πολιτικής εναέριας κυκλοφορίας**

Ασφαλής και αποτελεσματική πτήση περιλαμβάνει ραντάρ για παρακολούθηση της εναέριας κυκλοφορίας και του καιρού στην περιοχή των αεροδρομίων, για εντοπισμό και ανίχνευση αεροσκαφών και καιρού στις διαδρομές ανάμεσα απ' τα αεροδρόμια και για την παρατήρηση αεροσκαφών και άλλων οχημάτων στο έδαφος. Οι λειτουργίες των στρατιωτικών αεροσκαφών μερικές φορές χρησιμοποιούν ραντάρ προσέγγισης που ελέγχονται απ' το έδαφος για να βοηθούν στην προσγείωση των αεροσκαφών κάτω από συνθήκες μειωμένης ορατότητας.

- **Σκάφος αεροπλοΐας**

Το υψόμετρο του ραντάρ που μετράει το ύψος ενός αεροσκάφους πάνω από το έδαφος είναι ένα παράδειγμα από ένα ραντάρ που χρησιμοποιείται για την ασφαλή και αποτελεσματική πτήση των αεροσκαφών. Το Doppler ραντάρ της αεροπλοΐας μετράει τη σταθερή ταχύτητα του αεροσκάφους και καθορίζει την απόσταση που θα διανυθεί. Το ραντάρ αποφυγής καιρού επιτρέπει στο αεροσκάφος να πετάει ανάμεσα από ατομικά στοιχεία καιρού που θα μπορούσαν να ήταν άβολα ή επικίνδυνα. Τα στρατιωτικά αεροσκάφη, τα οποία πρέπει να επιτεθούν σε χαμηλά ύψη για να ελαχιστοποιήσουν την πιθανότητα ανίχνευσης χρησιμοποιούν ραντάρ αποφυγής του εδάφους και ραντάρ παρακολούθησης του εδάφους για να επιτρέψουν στο αεροσκάφος να αγκαλιάσει το έδαφος και να πετάξει πάνω από ή γύρω από εμπόδια στην πορεία του (διαδρομή του).

- **Ασφάλεια πλοίου**

Μικρά ραντάρ χρησιμοποιούνται πάνω στα πλοία για αποφυγή συγκρούσεων, για να βοηθήσουν στο να φθάσουν εν όψει ξηράς και για πλοήγηση σε περιορισμένα νερά. Χρησιμοποιούνται επίσης στην ξηρά για παρακολούθηση του λιμανιού.

- **Μακρινή εκτίμηση του περιβάλλοντος**

Τα ραντάρ έχουν δει σημαντική εφαρμογή για την παρατήρηση του καιρού και έχουν χρησιμοποιηθεί από το διάστημα για εκτίμηση των συνθηκών της θάλασσας και για τον πλούτο της γης. Τα ραντάρ που έχουν τη βάση τους στο έδαφος έχουν χρησιμοποιηθεί στην αστρονομία

για να καθορίσουν ακριβώς την αστρονομική μονάδα, για να μετρήσουν τις πλανητικές περιστροφικές ταχύτητες και για να παρέχουν καινούριες πληροφορίες για τα μετέωρα και για το σέλας. Το ραντάρ έχει δει επίσης ενδιαφέρον εφαρμογές για την ορνιθολογία και εντομολογία.

- **Εκτέλεση του νόμου**

Το αστυνομικό ταχύμετρο είναι μια γνωστή εφαρμογή του ραντάρ. Το ραντάρ χρησιμοποιείται επίσης για τον εντοπισμό εισβολέων σε προστατευόμενες περιοχές.

Ενορχήστρωση / Ενοργάνωση

Το ραντάρ βρίσκεται στις κατευθύνσεις βλήματος για εντοπισμό στόχων και αεροσκάφους για να καθορίσει ποσοτικά τις ενέργειες που γίνονται. Οι τοπογράφοι (γεωμέτρες) έχουν χρησιμοποιήσει όργανα σαν το ραντάρ για ακριβή μέτρηση μακριάς απόστασης. Τα απλά ντόπλερ ραντάρ χρησιμοποιούνται για να καθορίσουν την ταχύτητα για βιομηχανικές εφαρμογές.

- **Στρατός**

Ο στρατός ήταν ο μεγαλύτερος χρήστης του ραντάρ και ο εξελικτής του μεγαλύτερου μέρους της τεχνολογίας του. Πολλές από τις πολιτικές εφαρμογές που αναφέρονται παραπάνω έχουν στρατιωτικές αντίστοιχες. Ο στρατός βασίζεται στο ραντάρ για παρακολούθηση, αεροπλοΐα, έλεγχο και καθοδήγηση των όπλων, τοποθέτηση πυροσωλήνα σε βλήμα, εξερεύνηση, αναγνώριση στόχου και εκτίμηση ζημιών. Στη συνέχεια θα παρακολουθήσουμε την εξέλιξη του ραντάρ και τις χρήσεις του, ακολουθώντας τον M.I. Skolnik "50 χρόνια του ραντάρ" όπου ιχνογραφεί την εξέλιξη του ραντάρ απ' τις αρχές του το 1930 και περιλαμβάνει παραδείγματα απ' τις πολλές εφαρμογές του. Ανατυπωμένο χαρτί 1.2 "Μισός αιώνας του ραντάρ" απ' τον D.K. Barton, έχει ένα παρόμοιο τίτλο αλλά εξετάζει την εξέλιξη του ραντάρ από διαφορετική προοπτική. Ανατυπωμένο χαρτί 1.3 "Εξέταση του United Kingdom ραντάρ" απ' τον J. Clarke, D.E.N. Davies και απ' τον M.F. Radford περιγράφει τις στρατιωτικές και πολιτικές εφαρμογές του ραντάρ στο United Kingdom. Ανατυπωμένο χαρτί 1.4 "Η χρήση της συχνότητας του ραντάρ" απ' τον M.I. Skolnik, συζητάει για τις ζώνες συχνότητας που έχουν προτιμηθεί για τις διάφορες εφαρμογές του ραντάρ.

3^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3.1 Ασφάλεια πλοίου (ραντάρ ναυσιπλοΐας)

Η λειτουργία του ραντάρ ναυσιπλοΐας βασίζεται σε ορισμένες από τις ιδιότητες των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων:

Την σταθερή ταχύτητα διαδόσεως του $C=3X10^8$ m/sec

Την δυνατότητα εστίασεως του σε συγκεκριμένη λεπτή δέσμη όταν είναι της περιοχής μικροκυμάτων ($\lambda=0,1$ cm-1m)

Την πρακτικά ευθύγραμμη διάδοσή τους

Τη ανάκλασή τους όταν προσπέσουν στην επιφάνεια αγωγίμου σώματος και την επιστροφή τους

Την διάθλασή τους όταν διαδίδονται στο χώρο με ηλεκτρομαγνητική ανομοιογένεια

Για να μπορεί να παρέχει τις πληροφορίες που αναφέραμε η συσκευή ραντάρ αποτελείται από τις παρακάτω μονάδες: τον πομπό ο οποίος παράγει τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα την κεραία η οποία τα εκπέμπει και επίσης λαμβάνει όσα από τα κύματα που ανακλώνται σε στόχο επιστρέφουν σ' αυτή.

Το δέκτη στον οποίο οδηγούνται τα κύματα που λαμβάνονται από την κεραία για να ενισχυθούν

Τον ενδείκτη ο οποίος παρέχει τελικά τις πληροφορίες για το στόχο στο χειριστή του ραντάρ

Το διακόπτη εκπομπής- λήψεως (T/R swich) ο οποίος ηλεκτρονικά συνδέει την κεραία είτε με τον πομπό είτε με τον δέκτη κατά περίπτωση

Ο πομπός (transmitter)

Λειτουργεί περιοδικά και κατά πολύ μικρά διαστήματα παράγοντας έτσι ηλεκτρικές ταλαντώσεις κατά παλμούς υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων. Η συχνότητα των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που παράγονται με τον τρόπο αυτό είναι υπερυψηλή συνήθως στη περιοχή των 10.000 M/sec δηλαδή στην περιοχή των μικροκυμάτων. Έτσι τα παραγόμενα μικροκύματα μπορούν να εστιάζονται σε δέσμη. Η μεταφορά των μικροκυμάτων αυτών στην κεραία γίνεται με τον γνωστό αγωγό μικροκυμάτων που ονομάζεται κυματοδηγός. Επειδή το κύμα του παλμού που εκπέμπεται από την κεραία αφού ανακλαστεί στο στόχο επιστρέφει στην κεραία πολύ εξασθενημένο για να είναι δυνατή η ανίχνευση μικρών σχετικά στόχων σε όσο

δυνατό μεγαλύτερη απόσταση, οι ταλαντώσεις που παράγει ο πομπός είναι πολύ μεγάλης στιγμιαίας ισχύος (2-75 Kw).

Η κεραία

όπως έχουμε πει οι παλμοί ηλεκτρικών ταλαντώσεων που παράγει ο πομπός μεταφέρονται υπό μορφή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων με τον κυματοδηγό στην κεραία. Αυτή αφού τα εστιάζει ακτινοβολεί τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα στο χώρο συγκεντρωμένα σε δέσμη. Η κεραία περιστρέφεται με σταθερή ταχύτητα που κυμαίνεται από 15-35 R.P.M. με την ίδια ταχύτητα περιστρέφεται και η δέσμη και σε κάθε στροφή της σαρώνει την επιφάνεια της θάλασσας.

Όταν στον τομέα που καλύπτει η δέσμη βρεθεί στόχος, κάθε παλμός ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπεται προσπίπτει στο στόχο και ένα μέρος της ενέργειας του ανακλάται και συνεπώς ακολουθεί αντίθετη φορά διαδόσεως ονομάζεται ηχώ. Ένα μικρό μέρος από το κύμα της ηχούς προσπίπτει στην κεραία και μέσω του κυματοδηγού οδηγείται στο δέκτη.

Ο δέκτης (receiver)

λαμβάνει το ασθενές σήμα της ηχούς που είναι της τάξεως μερικών μV , το ενισχύει και το μετατρέπει σε οπτικό σήμα ώστε να μπορεί να διεγερθεί απ' αυτό ο ενδείκτης.

Ο ενδείκτης (indicator ή display).

Ο ενδείκτης συνδέεται και στον πομπό και στον δέκτη. Με την σύνδεση του στον πομπό πληροφορείται την χρονική στιγμή της εκπομπής κάθε παλμού, ενώ με την σύνδεση του στο δέκτη πληροφορείται την χρονική στιγμή της επιστροφής της αντίστοιχης σε κάθε εκπεμπόμενο παλμό ηχούς από στόχους που βρίσκονται στον τομέα της δέσμης.

Έτσι ο ενδείκτης μπορεί να μετρά το χρόνο που προέρχεται από την στιγμή της επιστροφής της ηχούς που προέρχεται από την ανάκλαση του υπόψη παλμού. Επειδή η κίνηση της δέσμης των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων είναι ευθύγραμμη και ισοταχής θα ισχύει: $R = \frac{1}{2} c.t$ όπου:
 R = η απόσταση που διανύει ο παλμός από την εκπομπή του μέχρι το στόχο που ανακλάται (μέτρα).

C = η σταθερή ταχύτητα διαδόσεως των ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων

t = ο χρόνος από την στιγμή της εκπομπής ενός παλμού μέχρι την στιγμή της επιστροφής της ηχούς λόγω της ανακλάσεως του παλμού σε στόχο (second).

Ο ενδείκτης συνδέεται και στο σύστημα περιστροφής της κεραίας απ' όπου πληροφορείται ηλεκτρονικά την γωνία την οποία σχηματίζει κάθε στιγμή ο άξονας της δέσμης ακτινοβολίας κατά την περιστροφή της κεραίας με την κατεύθυνση της πλώρης του πλοίου. Έτσι μπορεί να παρέχει την πληροφορία της κατευθύνσεως του στόχου ως προς την κατεύθυνση της πλώρης του πλοίου δηλαδή παρέχει της σχετική διόπτευση του στόχου.

Επίσης οι ενδείκτες ορισμένων συσκευών ραντάρ είναι εφοδιασμένοι με επαναλήπτη γυροσκοπικής πυξίδας του πλοίου ο οποίος τους εξασφαλίζει την δυνατότητα να παρουσιάζουν τους στόχους σε αληθή διόπτευση.

Ο διακόπτης εκπομπής – λήψεως T/R.

Ο διακόπτης εκπομπής – λήψεως είναι ηλεκτρονικός διακόπτης ο οποίος μεταγάγει την κοινή κεραία εκπομπής – λήψεως στο πομπό για όσο χρόνο διαρκεί η εκπομπή κάθε παλμού και στο δέκτη κατά τα χρονικά διαστήματα σιγής του πομπού. Έτσι κατά τα μικρά χρονικά διαστήματα που ο πομπός λειτουργεί η υψηλή ισχύς που παράγει δεν παρέχεται στο δέκτη και αποφεύγεται

η καταστροφή των ευαίσθητων κυκλωμάτων της εισόδου του δέκτη. Αλλά και όταν κατά τα μεγάλα χρονικά διαστήματα σιγής του πομπού επιστρέφει η ηχώ ο διακόπτης αυτός αποσυνδέει τον πομπό από την κεραία και η ασθενής ισχύς της ηχούς κατά 50% επειδή χωρίς το διακόπτη T/R αυτή θα κατευθύνονταν στην διακλάδωση του κυματοδηγού τόσο προς τον πομπό όσο και προς τον δέκτη.

Συχνότητα εκπομπής – λήψεως, συχνότητα επαναλήψεως εκπομπής, διάρκεια παλμού εκπομπής

Ως συχνότητα εκπομπής – λήψεως εννοείται η συχνότητα του ηλεκτρομαγνητικού κύματος του παλμού που εκπέμπεται και συνεπώς και της ηχούς. Συνήθως τα ραντάρ ναυσιπλοΐας λειτουργούν (εκπέμπουν και λαμβάνουν) στην περιοχή συχνοτήτων των 3.000 Mc/sec.

Ως συχνότητα επαναλήψεως εκπομπής εννοείται ο αριθμός των παλμών (συρμών μικρής διάρκειας) ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων που εκπέμπονται στην μονάδα του χρόνου. Η συχνότητα αυτή ονομάζεται και συχνότητα επαναλήψεως παλμών (Σ.Ε.Π.). η συχνότητα εκπομπής των ραντάρ ναυσιπλοΐας είναι συνήθως 1000 PPS (παλμοί ανά δευτερόλεπτο) δηλαδή κάθε 100 μσεκπέμπουν ένα παλμό ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων.

Το αντίστροφο της συχνότητας επαναλήψεως εκπομπής ονομάζεται περίοδος επαναλήψεως εκπομπής.

Ως διάρκεια παλμού εκπομπής εννοείται ο χρόνος που απαιτείται για να ολοκληρωθεί η εκπομπή ενός παλμού.

3.2 Εξέλιξη των radar σε πλοία με το σύστημα arpa



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.

Τέτοια παρατήρηση εξασφαλίζει το σύστημα αυτόματης υποτυπώσεως γνωστό ως Automatic Radar Plotting Aids, ARPA, το οποίο χρησιμοποιεί ηλεκτρονικό υπολογιστή. Όπως είναι γνωστό η κλασική μέθοδος υποτυπώσεως έστω και με την χρήση μηχανικών μέσων π.χ reflection plotter παρουσιάζει τα εξής μειονεκτήματα:

φόρτο εργασίας στον αξιωματικό φυλακής που ενδέχεται να τον περισπά από την συνεχή επιτήρηση του περιβάλλοντος

σε περίπτωση πολλών στόχων υπό περιορισμένη ορατότητα το πρόβλημα γίνεται πιεστικότερο τα στοιχεία που δίνει η υποτύπωση σύντομα γίνεται παρελθόν

Με την χρησιμοποίηση του ARPA επιτυγχάνονται:

Μείωση στο ελάχιστο του φόρτου εργασίας που απαιτείται προκειμένου να ληφθούν πληροφορίες για μεγάλο αριθμό στόχων που εμφανίζονται στην οθόνη του ραντάρ.

Δυνατότητα ακριβούς και συνεχούς εκτιμήσεως της καταστάσεως

Το σύστημα ARPA είναι εξειδικευμένος ενδείκτης ραντάρ ο οποίος είναι εφοδιασμένος με διάταξη μικροϋπολογιστών η οποία λαμβάνει πληροφορίες για την απόσταση και διόπτευση στόχων από την συσκευή ραντάρ πορεία και ταχύτητα του πλοίου μας

Μ' αυτές επιλύει τα προβλήματα υποτυπώσεως και παρέχει τις πληροφορίες:

Την ΕΠ (CPA) στην οποία θα περάσει ο στόχος και του ΤΕΠ (TCPA)

Την πορεία και την ταχύτητα του στόχου

Επειδή η επίλυση των προβλημάτων υποτυπώσεως βασίζεται στις προηγούμενες θέσεις του στόχου το ARPA δεν είναι σε θέση να εκτιμήσει με τα δεδομένα αυτά τις παραπάνω πληροφορίες αν ο στόχος πραγματοποιήσει οποιοδήποτε χειρισμό. Κάθε τύπος ARPA μπορεί να παρουσιάζει παλαιότερες θέσεις των στόχων που ισαπέχουν χρονικά. Από αυτές μπορεί να διαπιστωθεί ο χειρισμός του στόχου και να ελεγχθεί η αξιοπιστία των νέων αποτελεσμάτων.

Ο κάθε τύπος ARPA έχει επίσης την δυνατότητα δοκιμής χειρισμού μεταβολής πορείας ή και ταχύτητας που πρόκειται να πραγματοποιήσουμε. Έτσι μας πληροφορεί για την αποτελεσματικότητα το χειρισμού πριν προβούμε στην εκτέλεση του.

Με τις συσκευές αυτόματης υποτυπώσεως τηρείται αυτόματα η υποτύπωση χωρίς να απαιτείται παρατήρηση της οθόνης και μεταφορά των παρατηρήσεων στο φύλλο υποτυπώσεως ή εκτέλεσεως υποτυπώσεως επάνω στον ανακλαστικό υποτυπωτή.

Μια τέτοια συσκευή έχει την δυνατότητα να επιλέξει και να υποτυπώσει πλήρως τους 40 πλησιέστερους στόχους- πλοία με εμβέλεια 16 ναυτικά μίλια. Τα αυτόματα αυτό σύστημα υποτυπώνει τους στόχους που θεωρούνται επικίνδυνοι και διαχωρίζονται οι κινητοί από τους ακίνητους στόχους.

Επίσης προβλέπεται αυτόματο οπτικοακουστικό σύστημα προειδοποιήσεως όταν ο στόχος που μας ενδιαφέρει περνά από απόσταση CPA μικρότερη από την απόσταση ασφαλείας που έχουμε καθορίσει ως απαραβίαστη. Ακόμη το σύστημα συνδέεται με την γυροπυξίδα και το δρομόμετρο.

3.3 Εκτέλεση του νόμου (radar μέτρηση ταχύτητας)

Η ταχύτητα είναι η αλλαγή στην απόσταση σε ένα αντικείμενο όσον αφορά το χρόνο. Κατά συνέπεια το υπάρχον σύστημα για την απόσταση, που συνδυάζεται με μια μικρή μνήμη για να δει που ήταν ο στόχος τελευταία, είναι αρκετό για να μετρήσει την ταχύτητα. Συγχρόνως η μνήμη αποτελείται από έναν χρήστη που κάνει τα σημάδια στην οθόνη ραντάρ, και έπειτα που υπολογίζει την ταχύτητα χρησιμοποιώντας έναν κανόνα.

Εντούτοις υπάρχει μια άλλη επίδραση που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να κάνει ακριβέστερες μετρήσεις ταχύτητας, και σχεδόν αμέσως (καμία μνήμη που απαιτείται), γνωστό ως επίδραση Doppler. Σχεδόν κάθε σύγχρονο ραντάρ χρησιμοποιεί αυτήν την αρχή στο σύστημα ραντάρ σφυγμός-Doppler. Είναι επίσης δυνατό να γίνει ένα ραντάρ χωρίς οποιοδήποτε παλμό, γνωστό ως ραντάρ συνεχών-κυμάτων (ραντάρ CW), με την αποστολή ενός πολύ καθαρού σήματος μιας γνωστής συχνότητας. Τα σήματα επιστροφής από τους στόχους μετατοπίζονται μακριά από αυτήν την συχνότητα μέσω της επίδρασης Doppler επιτρέποντας τον υπολογισμό της ταχύτητας του αντικειμένου σχετικά με το ραντάρ. Στην Ελλάδα χρησιμοποιούνται: η Χ μάλιστα σε κάποια

παλιά πιστόλια χειρός, η K μπάντα σε κάμερες σταθερές και φορητές, όπως και σε πιστόλια και τέλος laser με μήκος κύματος 904 nm στα πιστόλια χειρός.

Τρόπος λειτουργίας των ραντάρ μέτρηση ταχύτητας - Κατηγορίες

Τα ραντάρ διακρίνονται σε δύο κατηγορίες, η μια είναι τα ραντάρ τύπου RF Radar, που χρησιμοποιούν ραδιοκύματα και η άλλη είναι τα τύπου Laser, που χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας.

1) RF RADAR: αυτό το είδος ραντάρ λειτουργεί με συνεχή αποστολή ραδιοκυμάτων σε ορισμένη συχνότητα. Αυτά προσπίπτουν πάνω στη μεταλλική επιφάνεια του αυτοκινήτου και επιστρέφουν στη συσκευή. Έτσι, το ραντάρ αναλύει τη συχνότητα του ραδιοκύματος που έστειλε, με αυτή του ραδιοκύματος που έλαβε, και με αυτό τον τρόπο δείχνει την ταχύτητα με την οποία πηγαίνουμε. Ανάλογα με το ραντάρ, η εμβέλεια φτάνει από τα 150 μέτρα έως τα 2 χιλιόμετρα. Η μέτρηση, όμως, είναι έγκυρη για αποστάσεις από 400 μέτρα έως το 1 χιλιόμετρο. Σε μεγαλύτερες του ενός χιλιομέτρου, το ραντάρ είναι δύσκολο να στοχεύσει, ενώ σε αποστάσεις μικρότερες των 400 μέτρων, αν το όχημα κινείται με μεγάλη ταχύτητα, θα περάσει δίπλα του πριν προλάβει να το μετρήσει.

2) Radar Lazer: Ο δεύτερος τρόπος παρακολούθησης ταχύτητας είναι τα Lazer. Χρησιμοποιούν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία υψηλής συχνότητας. Αυτά εστιάζουν τη δέσμη τους πάνω στο αυτοκίνητο και δεν την διαχέουν, όπως τα ραντάρ της πρώτης μας περίπτωσης. Η δέσμη του ραντάρ Lazer αυξάνει τη διάμετρό της κατά 30 εκατοστά για κάθε 100 μέτρα. Έτσι, σε 400 μέτρα μπορεί να καλύψει μετωπική επιφάνεια ενός κοινού αυτοκινήτου. Η συσκευή εκπέμπει μια δέσμη laser. Η δέσμη αυτή προσπίπτει και αντανακλάται από το όχημα και επιστρέφει πίσω. Από το χρόνο επιστροφής της δέσμης, η συσκευή υπολογίζει την απόσταση που βρίσκεται το όχημα. Αμέσως μετά, μια δεύτερη δέσμη στέλνεται και αντανακλάται πάλι πίσω, ώστε να διαπιστωθεί η απόσταση που έχει διανύσει το όχημα, μεταξύ των χρονικών διαστημάτων επιστροφής στη συσκευή των δεσμών laser.

Η ένδειξη του ραντάρ είναι πιο ακριβής για αποστάσεις μεταξύ των 400 μέτρων και του 1 χιλιομέτρου.

Τα ραντάρ τύπου Lazer απαιτούν υψηλή εστίαση, προκειμένου να βγάλουν σωστή ένδειξη.



Σταθερό radar τροχαίας



Radar τροχαίας χειρός



3.4 Στρατός (Στρατιωτικά ραντάρ)

- Στρατιωτικές εφαρμογές του ραντάρ

Τα ραντάρ που χρησιμοποιούνται απ' τον στρατό για άμυνα εναντίον επιθέσεων από αεροσκάφη πυραύλους μπορούν να ταξινομηθούν ως εναέρια παρακολούθηση (μεγάλης, μεσαίας και μικρής κατεύθυνσης), έλεγχος όπλων (ανίχνευση στόχου για τον σκοπό κατεύθυνσης των όπλων), ή καθοδήγηση πυραύλων (ραντάρ που κουβαλιούνται απ' τον πύραυλο για να παρέχουν καθοδήγηση στην ακμή της δράσης της και /ή εσωτερική καθοδήγηση). Αναμφίβολη απόδειξη της σημαντικότητας του ραντάρ για στρατιωτικές εφαρμογές είναι η ύπαρξη του τομέα του "ηλεκτρονικού πολέμου (EW)" που προσπαθεί να υποβιάσει ή να αρνηθεί την αποτελεσματικότητα του ραντάρ. Αυτό το μέρος εξετάζει τις εφαρμογές των στρατιωτικών ραντάρ που είναι βασισμένα στο έδαφος και στο πλοίο. Οι στρατιωτικές εναέριες εφαρμογές συμπεριλαμβάνονται στο μέρος 4 και τα ραντάρ για το διάστημα συζητούνται στο μέρος 5.

Πέρα απ' τον ρόλο του κλειδί στην εναέρια άμυνα, το στρατιωτικό ραντάρ χρησιμοποιείται για παρακολούθηση του πεδίου μάχης και ανίχνευσης, διεισδυτικό εντοπισμό (περιλαμβάνοντας τον εντοπισμό μικρών βαρκών, εντοπισμό και ανίχνευση ολμοβόλων και πυροβολικών οβίδων (βλημάτων), ανεύρεση κατεύθυνσης με λέιζερ ραντάρ, εναέρια αναχαίτιση, εναέρια παρακολούθηση, αντίσταση στα επιθετικά αεροσκάφη, αποφυγή του εδάφους αεροσκαφών, εξερεύνηση (αναγνώριση), άμυνα από διηπειρωτικούς βαλλιστικούς πυραύλους και παρακολούθηση δορυφόρου. Οι μοντέρνες στρατιωτικές λειτουργίες θα έπρεπε να τροποποιηθούν ευρέως, εάν δεν υπήρχαν καθόλου ραντάρ.

Όπως είναι γνωστό, η αποκάλυψη λεπτομερειών του στρατιωτικού ραντάρ είναι συνήθως περιορισμένη απ' τις ανάγκες στρατιωτικής ασφάλειας. Αυτό καταλήγει στον περιορισμό του αριθμού των χαρτιών για τις εφαρμογές του στρατιωτικού ραντάρ που βρίσκονται στην δημοσιευμένη βιβλιογραφία. Όμως, περιορισμοί στην δημοσίευση συμβαίνουν επίσης και σε άλλες εφαρμογές του ραντάρ και όχι για λόγους στρατιωτικής ασφάλειας. Αρκετά συχνά η δημοσιευμένη βιβλιογραφία δεν αντικατοπτρίζει εντελώς την ικανότητα του ραντάρ ακόμα και για μη στρατιωτικές εφαρμογές εξαιτίας της επιθυμίας απ' τη βιομηχανία να διατηρήσει ένα

πλεονέκτημα σε σχέση με τους ανταγωνιστές ή επειδή οι μηχανικοί είναι πολύ απασχολημένοι κάνοντας άλλα πράγματα για να βρουν χρόνο να γράψουν για δημοσίευση.

- **Ραντάρ εναέριας παρακολούθησης για άμυνα εναντίον εναέριας επίθεσης**

Τα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης παρέχουν πληροφορίες για την εναέρια δραστηριότητα μέσα στην κάλυψή τους, έτσι ώστε να μπορούν να εντοπιστούν απειλητικοί στόχοι, να αναγνωριστούν ως απειλές και να τους γίνει επίθεση από ένα σύστημα άμυνας. Η εναέρια δραστηριότητα συμπεριλαμβάνει αεροσκάφη, ελικόπτερα, οχήματα με πιλότους, πυραύλους και οτιδήποτε άλλο που πετάει και είναι μια πιθανή απειλή. Τα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης μπορούν να διαιρεθούν σε τρεις κατηγορίες βασιζόμενες στην κατεύθυνση τους: "μεγάλη κατεύθυνση", μεγαλύτερη από περίπου 200nm_i, "μεσαία κατεύθυνση", τυπικά μια κατεύθυνση περίπου 100nm_i, και η "μικρή κατεύθυνση", συνήθως λιγότερη από 30nm_i (Αυτοί οι αριθμοί είναι αυστηρών αυθαιρέτοι και δεν καθιερώνονται με κανένα τρόπο. Αναφέρονται εδώ μόνο για λόγους εξήγησης). Τα στρατιωτικά ραντάρ εναέριας παρακολούθησης μερικές φορές ονομάζονται "ραντάρ απόκτησης" όταν παρέχουν πληροφορίες απαραίτητες για τα ραντάρ ελέγχου όπλων για να αποκτήσουν τους στόχους τους. Τα ραντάρ μεγάλης και μεσαίας κατεύθυνσης παρέχουν την γενική εναέρια κατάσταση απ' την οποία απειλές μπορούν να αναγνωριστούν και να τοποθετηθούν στα ραντάρ ελέγχου όπλων. Τα ραντάρ μικρής κατεύθυνσης είναι συνήθως σχεδιασμένα για να εντοπίζουν τους χαμηλού ύψους στόχους που ξεπροβάλλουν πάνω από τον ορίζοντα σε μικρή κατεύθυνση. Πρέπει να δώσουν στην άμυνα αρκετό χρόνο να αντιδράσει (τα ραντάρ μικρής κατεύθυνσης μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν για το γέμισμα κενών μικρού ύψους ή για το γέμισμα στην τρύπα στην εναέρια κάλυψη που είναι τυπικά ραντάρ παρακολούθησης μεγάλης κατεύθυνσης). Όσο μικρότερη είναι η κατεύθυνση του ραντάρ τόσο μικρότερος είναι ο χρόνος ανάμεσα στις παρατηρήσεις. Όταν ακόμα μεγαλύτερες κατευθύνσεις χρειάζονται για εναέρια παρακολούθηση απ' ότι μπορούν να αποκτηθούν από ραντάρ μικροκυμάτων, μπορούν να δοθούν απ' το HF ραντάρ πάνω απ' τον ορίζοντα.

- **2D ραντάρ**

Ένα ραντάρ που χρησιμοποιεί μια κεραία μ' ένα σχέδιο περιστρεφόμενης ακτίνας για ακτινοβολία (μεγάλο πλάτος ακτίνας σε ανύψωση και μικρό σε αζιμούθιο), για να αποκτήσει την τοποθεσία, τον στόχο, και την κατεύθυνση, ονομάζεται 2D (δύο διαστάσεων) ραντάρ. Ένα παράδειγμα είναι το Raytheon AN-SDS-49, ένα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης πάνω στο πλοίο μεγάλης κατεύθυνσης και σε L – ζώνη συχνότητας. Το 2D ραντάρ μεγάλης κατεύθυνσης ήταν στο παρελθόν το κύριο ραντάρ έγκαιρης προειδοποίησης για εναέρια άμυνα. Μπορεί να κατασκευαστεί για να λειτουργεί καλά και μπορεί να πετύχει μεγάλη κατεύθυνση με μέτριο κόστος. Μπορεί να έχει MTI (ντόπλερ) επεξεργασία ενσωματωμένη για καλή απόρριψη θορύβων και ECCM για να επιτρέπει την λειτουργία πέρα από εχθρικές καταμετρήσεις και μπορεί να έχει καλή αξιοπιστία και διαθεσιμότητα. Το 2D ραντάρ, όμως, στερείται της ικανότητας να αποκτάει ύψος του στόχου, εκτός από ειδικές περιπτώσεις. Αλλά το ύψος του στόχου δεν είναι πάντα απαραίτητο σ' ένα ραντάρ παρακολούθησης.

- **Ραντάρ ανεύρεσης ύψους**

Ο ευρέτης ύψους χρησιμοποιεί ένα σχέδιο (μοντέλο) κεραίας με περιστρεφόμενη ακτίνα μ' ένα μικρό φάρδος ακτίνας σε ανύψωση και ένα μεγάλο φάρδος ακτίνας σε αζιμούθιο. Μετράει την ανυψωμένη γωνία του στόχου, απ' το οποίο μια μέτρηση του ύψους μπορεί να αποκτηθεί. Υπάρχουν κάμποσα διαφορετικά είδη ευρετών ύψους. Ο πιο συνηθισμένος είναι ο "ευρέτης ύψους με κεκλιμένη ακτίνα", που ονομάζεται έτσι εξαιτίας της χαρακτηριστικής πάνω και κάτω κεκλιμένης κίνησης της μηχανικά κινούμενης κεραίας του καθώς αυτό εκτελεί την μέτρηση της ανυψωμένης γωνίας του. Η απόλυτη ακρίβεια ενός ευρέτη ύψους με κεκλιμένη ακτίνα είναι συνήθως πολύ καλύτερη απ' ότι μπορεί να αποκτηθεί με τα περισσότερα 3D ραντάρ. Η ακρίβεια μπορεί να είναι $\pm 1500\text{ft}$ σε 150nm_i, με αντιστοίχως καλύτερη ακρίβεια σε μικρότερη κατεύθυνση ($\pm 500\text{ft}$ σε 50nm_i). Αυτό προϋποθέτει ένα σύστημα σε S-ζώνη συχνότητας με μια 0.6° ανύψωση του πλάτους της ακτίνας και το ότι δεν υπάρχει σημαντική διάδοση (πολλαπλασιασμός) πολύ-τροχιάς.

Ο ευρέτης ύψους χρησιμοποιείται σε σύνδεση μ' ένα "τυπικό" 2D ραντάρ εναέριας παρακολούθησης που ορίζει την κατεύθυνση του στόχου και το αζημούθιο στον ευρέτη ύψους. Ο ευρέτης ύψους μηχανικά κάνει μεταβολή προς την κατεύθυνση του στόχου και ψάχνει σε ανύψωση να βρει τον στόχο και μετράει την ανυψωμένη γωνία του. (Θα ήταν δυνατόν να αναστρέψεις μια κεραία που βρίσκει το ύψος κατά 180° σε αζημούθιο και να είναι στην ανύψωση του στόχου σε περίπου 2 δευτερόλεπτα). Όταν ο ορισμός του στόχου στον ευρέτη ύψους είναι κάτω από αυτόματο έλεγχο του κομπιούτερ απ' ότι κάτω από χειροκίνητο έλεγχο από χειριστές, η μέτρηση σχεδόν 22 υψών στόχου ανά λεπτό μπορεί να γίνει με ένα σύστημα σε C-ζώνη συχνότητας έχοντας μια κεραία 14ft από 4.25ft. Αυτό είναι αρκετά καλό αλλά είναι λιγότερο απ' το ρυθμό των δεδομένων στοιχείων που μπορούν να αποκτηθούν για το αζημούθιο και για την μέτρηση κατεύθυνσης. Δεν είναι απαραίτητο, όμως, να έχεις τον ίδιο ρυθμό δεδομένων στοιχείων για την μέτρηση του ύψους όπως για άλλες μετρήσεις της τοποθεσίας του στόχου απ' τη στιγμή που το ύψος ενός αεροσκάφους (συνήθως) δεν αλλάζει γρήγορα.

Η χρήση ενός ευρέτη ύψους σημαίνει ότι δυο ξεχωριστά ραντάρ απαιτούνται για πληροφορίες τριών διαστάσεων σε εναέριους στόχους. Ο ευρέτης ύψους είναι συνήθως, αλλά όχι πάντα, σε S-ζώνη συχνότητας (10cm μήκους κύματος) και το 2D ραντάρ παρακολούθησης σε L-ζώνη συχνότητας (23cm). Όμως, υπάρχει ένα πλεονέκτημα στο να έχεις αυτά τα δυο ραντάρ να λειτουργούν σε διαφορετικές ζώνες συχνότητας όταν συναντιούνται ηλεκτρονικές καταμετρήσεις. Και οι δυο ζώνες συχνότητας πρέπει να συμπιεστούν για να αρνηθούν εντελώς τις πληροφορίες κατεύθυνσης.

• 3D Ραντάρ

Ένα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης που έχει τη βάση του στο έδαφος ή σε πλοίο διαμορφωμένο για να αποκτάει ανυψωμένη γωνία όπως επίσης και γωνία του αζημούθιου και κατεύθυνση ονομάζεται ένα 3D ραντάρ. Το 3D ραντάρ περιστρέφεται μηχανικά στο οριζόντιο επίπεδο για να καλύψει το μέγεθος του ενδιαφέροντος και για να αποκτήσει το αζημούθιο του στόχου. Η ανυψωμένη γωνία βρίσκεται χρησιμοποιώντας μια τεχνική σε θέση φάσεως, απ' την οποία υπάρχουν δύο εναλλακτικές. Η μια εναλλακτική είναι να εξερευνησεις μια ή δυο ακτίνες σε ανύψωση με είτε ηλεκτρονικούς μεταθετές φάσεως ή με εξερεύνηση συχνότητας καθώς η κεραία περιστρέφεται μηχανικά στο αζημούθιο. Η άλλη εναλλακτική είναι να χρησιμοποιήσεις μια κεραία μ' έναν αριθμό συνεχόμενων σταθερών (στερεωμένων) λαμβανομένων ακτινών σε ανύψωση, με μια φαρδιά μεταδιδόμενη ακτίνα καλύπτοντας το ίδιο μέγεθος όπως οι πολλαπλές σταθερές (στερεωμένες) λαμβανόμενες ακτίνες. Πολλά στρατιωτικά 3D ραντάρ ήταν σε S-ζώνη συχνότητας αλλά βρίσκονται επίσης και σε L-ζώνη συχνότητας.

Ένα παράδειγμα ενός μονού 3D ραντάρ με εξερευνηόμενη ακτίνα είναι το GE592 σε L-ζώνη συχνότητας που φτιάχτηκε απ' τη General Electric Co. Είναι ένα παράγωγο του AN/TPS-59, που αναπτύχθηκε για την Marine Corps των Ηνωμένων Πολιτειών. Το AN/TPS-59 ήταν το πρώτο ραντάρ υψηλής δύναμης που χρησιμοποίησε έναν μεταδότη σε εντελώς στερεή κατάσταση. Το AN/FPS-117 ελαχίστως παρακολουθούμενο ραντάρ για την πολεμική αεροπορία των Ηνωμένων Πολιτειών είναι παρόμοιο. Το GE592 περιγράφεται στο ανατυπωμένο χαρτί 3.1 : "Το GE592 ραντάρ σε στερεή κατάσταση", απ' τον J. J. Gostin. Αυτά τα ραντάρ έχουν ένα τρανζίστορ μεταδότη που είναι τοποθετημένος πίσω από κάθε μία απ' τις σειρές (ή γραμμές) της περιστρεφόμενης κεραίας σε επίπεδη γραμμή. Η δύναμη "συνδυάζεται στο διάστημα". Η ίδια αρχή για την στήριξη (μοντάρισμα) των μεταδοτών στις σειρές (γραμμές) της κεραίας χρησιμοποιήθηκαν στο Marconi Martello S723 ραντάρ που χρησιμοποιεί έξι ή οχτώ σταθερές (στερεωμένες) ακτίνες σε ανύψωση για να αποκτήσει 3D πληροφορίες. Είναι επίσης δυνατό να ενσωματώσεις μεταδοτές στερεής κατάστασης σε ραντάρ εναέριας παρακολούθησης χωρίς να στηρίξεις τον μεταδότη στην κεραία. Οι εμβάτες ίσως να συνδυαστούν με περίμετρο μικρής απώλειας μικροκυμάτων και να συνδεθούν στην κεραία με τον συνηθισμένο τρόπο με τη βοήθεια μιας μονής γραμμής μετάδοσης.

Ένα παράδειγμα ενός 3D ραντάρ με σταθερές (στερεωμένες) ακτίνες ανύψωσης δίνεται στο ανατυπωμένο χαρτί 3.2 : "Ένα υψηλής εκτέλεσης επιδέξιο 3D ραντάρ για το 1980", απ' τον K. F. Horenkamp και τον T. E. Keast. Το χαρτί περιγράφει το TPS-70, ένα ραντάρ που γεμίζει τα ανοίγματα σε S-ζώνη συχνότητας που έγινε απ' το Westing house, βασιζόμενο στο δημοφιλές

AN/TPS-43 3D ραντάρ μεγάλης κατεύθυνσης. (Οι συγγραφείς του χαρτιού περιγράφουν το ραντάρ σαν παρέχει "τεσσάρων διαστάσεων, ή 4D" πληροφορίες : περιλαμβάνουν ταχύτητα σύμφωνα με την κατεύθυνση, αζημούθιο και ανύψωση. Οι περισσότεροι, όμως, ακόμα θα ονόμαζαν αυτού του είδους το ραντάρ 3D). Το TPS-70 χρησιμοποιεί έξι ταυτόχρονες ακτίνες για να καλύψει 20° σε ανύψωση.

Το 3D ραντάρ αρχικά χρησιμοποιήθηκε για στρατιωτικές εφαρμογές. Δεν έχει δει σχεδόν καθόλου πολιτική εφαρμογή. Ένας λόγος γι' αυτό είναι ότι η ακρίβεια του ύψους που είναι απαραίτητη για πολιτικό έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας πρέπει να είναι πολύ καλύτερη από εκείνη η οποία είναι δεκτή για στρατιωτικές εφαρμογές. Η ακρίβεια που απαιτείται για το πολιτικό ATC είναι αρκετά δύσκολο να κατορθωθεί με ραντάρ. Τα ATC συστήματα, γι' αυτό, βασίζονται στην απόκτηση ύψους ευθέως απ' το υψόμετρο του ίδιου του αεροσκάφους μέσω του μηνύματος του μεταδότη του ATCRBS, .

- **Ραντάρ παρακολούθησης του πεδίου μάχης**

Αυτά είναι φορητά, μικρής κατεύθυνσης (ντόπλερ) ραντάρ για τον εντοπισμό της κίνησης οχημάτων, ειδικά όταν η οπτική παρατήρηση δεν είναι πρακτική. Τα οχήματα μπορούν να εντοπιστούν σε κατευθύνσεις ίσως μερικών χιλιομέτρων. Ένας εκπαιδευμένος χειριστής που ακούει την (ντόπλερ) συχνότητα των λαμβανομένων αντηχήσεων μπορεί να αναγνωρίσει ένα είδος κινούμενου στόχου από έναν άλλο. Ο "ήχος" των αρμάτων είναι διαφορετικός απ' των φορητών και ένας άντρας που περπατάει μπορεί να αναγνωριστεί από μια γυναίκα που περπατάει.

Οι εξακριβωτές διεύθυνσης του ραντάρ, έχουν στρατιωτική εφαρμογή για εντοπισμό των ανθρώπων στο πεδίο μάχης και για την προστασία στρατιωτικών εγκαταστάσεων και εξοπλισμού. Τα εναέρια ραντάρ μπορούν επίσης να παίξουν ένα σημαντικό ρόλο στην παρακολούθηση του πεδίου μάχης μ' ένα ραντάρ υψηλής ανάλυσης να χαρτογραφεί τη περιοχή και με μια (ντόπλερ) επεξεργασία να εντοπίζει κινούμενα οχήματα.

3.5 Έλεγχος πολιτικής εναέριας κυκλοφορίας (ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας)

Το ραντάρ στον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας

Το σύστημα ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας (ATC) που λειτούργησε από την διεύθυνση ομοσπονδιακής αεροπορίας (FAA) έχει σαν σκοπό του την ασφαλή και ικανή λειτουργία των αεροσκαφών που πετάνε στην περιοχή αεροδρομίων, αεροσκαφών που πετάνε καθ' οδό από ένα αεροδρόμιο σε άλλο και αεροσκαφών και οχημάτων στο έδαφος σε αεροδρόμια. Η εμπορική και γενική αεροπορία, όπως επίσης και το στρατιωτικό αεροσκάφος, όλα περιλαμβάνονται μέσα στα όρια του συστήματος ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας. Όσοι ταξιδεύουν με αεροπλάνα είναι ενήμεροι της σημαντικότητας αυτής της αποστολής.

Κάμποσα διαφορετικά ραντάρ χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας. Το ραντάρ παρακολούθησης του αεροδρομίου (ASR) παρέχει πληροφορίες για την τοποθεσία και την κίνηση όλων των αεροσκαφών που πετάνε μέσα στην περιοχή των αεροδρομίων. Μερικές φορές ονομάζεται ένα "τελικό ραντάρ". Το ραντάρ παρακολούθησης εναέριας πορείας (ARSR) έχει σκοπό του τον εντοπισμό και ανίχνευση αεροσκαφών που είναι καθ' οδό από ένα αεροδρόμιο σε άλλο. Γι' αυτό το λόγο μερικές φορές ονομάζεται ένα "καθ' οδό ραντάρ". Ο εξοπλισμός εντοπισμού εδάφους του αεροδρομίου (ASDE) είναι ένα ραντάρ που συντάσσει το χάρτη του εδάφους του αεροδρομίου για να παρέχει πληροφορίες στον ρυθμιστή που αφορά αεροσκάφη στο έδαφος, όπως επίσης και την κυκλοφορία οχημάτων μέσα στο αεροδρόμιο. Το ASR και ARSR επίσης παρέχουν στον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας πληροφορίες για την

παρουσία επικίνδυνου και άβολου καιρού που το αεροσκάφος θα έπρεπε να αποφύγει. Το Nexrad ραντάρ είναι ένα (ντόπλερ) ραντάρ καιρού σχεδιασμένο για να παρέχει στον ελεγκτή εναέριας κυκλοφορίας πληροφορίες για τον τοπικό και διεθνή καιρό που δεν είναι διαθέσιμες από το ASR και ARSR. Το FAA ενδιαφέρεται επίσης για ειδικά σχεδιασμένα ραντάρ τοπικού καιρού για να αναπτυχθούν στην περιοχή των αεροδρομίων ώστε να προειδοποιούν για την παρουσία επικίνδυνων μετεωρολογικών συνθηκών, όπως ο άνεμος που μπορούν να επηρεάσουν την ασφαλή πτήση όσον αφορά την προσγείωση ή την απογείωση. Το ραντάρ ακριβής προσέγγισης (PAR) είναι ένα ραντάρ διαμορφωμένο για να βοηθάει στην προσγείωση αεροσκαφών σε πολιτικά αεροδρόμια. Τα συστήματα ραντάρ προσγείωσης δεν χρησιμοποιούνται τώρα για πολιτικό ATC. Αντί γι' αυτό, έχουν αντικατασταθεί απ' το σύστημα μικροκυμάτων προσγείωσης, το οποίο αυτόματα παρέχει στον πιλότο πληροφορίες απαραίτητες γι' αυτό ή γι' αυτήν για να κάνει προσγείωση με μειωμένη ορατότητα, παρά να βασίζεται σε οδηγίες μέσω του ραδίου από έναν ελεγκτή βασισμένο στο έδαφος. Φαίνεται να υπάρχει μια ζώνη συχνότητας που προτιμάται για κάθε συγκεκριμένη εφαρμογή του ραντάρ. Η εκλογή μπορεί συνήθως να δικαιολογηθεί από βασικές αρχές του ραντάρ. Το υψηλό ανταγωνιστικό έδαφος του ATC ραντάρ οδήγησε σε μια φυσική εκλογή στην "αγορά" συχνοτήτων που οδηγούν σε αποτελεσματικά (ενεργά) ραντάρ. Εκείνα τα ραντάρ με χαμηλή συχνότητα για την συγκεκριμένη λειτουργία τελικά κυριαρχούνται από εκείνα που λειτουργούν με την συχνότητα "που προτιμάται".

Η τάση να περιστρέφεται γύρω από μια συγκεκριμένη ζώνη συχνότητας βασιζόμενη στα αποτελέσματα του συναγωνισμού είναι αρκετά προφανής στο ATC ραντάρ. Το μέσης κατεύθυνσης ASR συνήθως βρίσκεται σε S-ζώνη συχνότητας ώστε να αποκτήσει ένα μικρό φάρδος (πλάτος) ακτίνας με μια κεραία μέτριου μεγέθους και για να εντοπίζει βιαστικές (ενεργές) αντηχήσεις. Το ARSR μεγάλης κατεύθυνσης είναι σε L-ζώνη συχνότητας απ' τη στιγμή που οι χαμηλότερες συχνότητες προτιμούν μεγάλη κατεύθυνση. Τα ραντάρ εντοπισμού εδάφους του αεροδρομίου είναι συνήθως σε K-ζώνη συχνότητας όπου η υψηλή ανάλυση αποκτιέται χωρίς σοβαρή εξασθένηση στη βροχή. Τα ραντάρ καιρού μεγάλης κατεύθυνσης είναι σε S-ζώνη συχνότητας για να εντοπίζουν τις επιδράσεις του καιρού χωρίς τις συνέπειες της εξασθένησης στη βροχή που δοκιμάζονται σε υψηλότερες συχνότητες. Τα ραντάρ καιρού μέτριας κατεύθυνσης είναι σε C-ζώνη συχνότητας για να πετύχουν καλή ανάλυση με μικρά ραντάρ (σε αντίθεση με τα μεγαλύτερα ραντάρ σε S-ζώνη συχνότητας). Η εξασθένηση στη βροχή μπορεί να κανονιστεί (προσαρμοστεί) σε C-ζώνη συχνότητας απ' τη στιγμή που σχεδιάζονται για να έχουν μικρότερη κατεύθυνση απ' τα ραντάρ καιρού σε S-ζώνη συχνότητας. Τα ραντάρ προσγείωσης είναι σε X-ζώνη συχνότητας για να αποκτήσουν καλή ανάλυση γωνίας και κατεύθυνσης.

Αν και το ραντάρ παίζει ένα σημαντικό ρόλο στον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας, οι κύριοι τρόποι για απόκτηση πληροφοριών σε συνεργάσιμα αεροσκάφη είναι το σύστημα του ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας με φωτεινό σήμα (ATCRBS). Παρέχει την ταυτότητα και το ύψος του συνεργάσιμου αεροσκάφους μαζί με την τοποθεσία τους σε κατεύθυνση και αζιμούθιο. Το ATCRBS είναι ένα καλό σύστημα για την πραγματοποίηση εντοπισμού, τοποθεσίας και αναγνώριση συνεργάσιμων αεροσκαφών. Όμως, δεν έχει καθόλου ικανότητα με αεροσκάφη που δεν κουβαλάνε έναν transponder, όταν το αεροσκάφος με transponder είναι ανίσχυρο.

Το ATC σύστημα ραντάρ με φωτεινό σήμα μερικές φορές ονομάζεται "δευτερεύον ραντάρ" για να διαφοροποιηθεί απ' το "πρωτεύον ραντάρ".

Σύμφωνα με το FAA, το πρωτεύον ραντάρ παρέχει τις παρακάτω υπηρεσίες ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας :

- Πληροφορίες κυκλοφορίας σε αεροσκάφη χωρίς φωτεινό σήμα.
- Ραντάρ υπηρεσιών βοήθειας και αεροπλοΐας σε αεροσκάφη χωρίς φωτεινό σήμα σε δυσκολίες ή επείγοντα περιστατικά.
- Ραντάρ παρατήρησης καιρού και βοήθεια στην αποφυγή περιοχών με κακές καιρικές συνθήκες.

- Σχέδιο (μοντέλο) παρακολούθησης για αεροσκάφη χωρίς φωτεινό σήμα.
- Ραντάρ για το διαχωρισμό αεροσκαφών με φωτεινό σήμα και αεροσκαφών χωρίς φωτεινό σήμα.
- Υποστήριγμα του συστήματος παρακολούθησης σε περίπτωση αποτυχίας του εναέριου transponder.
- Συμβουλευτικές υπηρεσίες του ραντάρ για αεροσκάφη που λειτουργούν προς και από αεροδρόμια χωρίς πύργους ελέγχου.

Αυτό το μέρος εξετάζει τα χαρακτηριστικά και τις εφαρμογές των διαφόρων ραντάρ που χρησιμοποιούνται για έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας. Τα δύο πρώτα ανατυπωμένα χαρτιά δίνουν μια άποψη των βασικών ιδεών του ραντάρ εναέριας παρακολούθησης. Ανατυπωμένο χαρτί 2.1: "Η τεχνολογία του ραντάρ που χρησιμοποιείται στον έλεγχο εναέριας κυκλοφορίας", απ' τον W.W. Shrader, είναι μια άριστη εξέταση των βασικών αρχών που συμπεριλαμβάνονται σε τέτοια ραντάρ. Απ' την έκδοση αυτού του χαρτιού το 1973, αρκετή πρόοδος κατορθώθηκε στην επεξεργασία του ΜΤΙ και στην τεχνολογία για την εφαρμογή τέτοιων ραντάρ, αλλά, είναι ακόμα ένα καλό μέρος να ξεκινήσεις ώστε να αποκτήσεις μια αντίληψη της βασικής φιλοσοφίας του σχεδίου πολιτικών ραντάρ για τον εντοπισμό αεροσκαφών. Τα ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας κατασκευάζονται από πολλές εταιρίες στον κόσμο (ο ανταγωνισμός ανάμεσα στις διάφορες εταιρίες είναι ένας λόγος που τα ATC ραντάρ ήταν τόσο αποτελεσματικά με λογικό κόστος). Ανατυπωμένο χαρτί 2.2: "Μια οικογένεια των ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας", απ' τον E. Giaccari και τον G. Nucci, περιγράφει τα ATC ραντάρ που κατασκευάστηκαν απ' τη Selenia της Ρώμης, Ιταλία. Επίσης περιλαμβάνει μια συζήτηση του γενικού σχεδίου του ραντάρ για τον εντοπισμό στόχων "στα καθαρά", υπό την παρουσία εδαφικού θορύβου και κάτω από αντίξοες μετεωρολογικές συνθήκες.

3.5.1 Τα radar βρίσκουν εφαρμογή και στα αεροπλάνα

Το **E-1 Tracer** ήταν το πρώτο [αεροσκάφος](#) που κατασκευάστηκε ειδικά ως [αεροσκάφος έγκαιρης προειδοποίησης](#) για το [Αμερικανικό Ναυτικό](#). Βασιζόταν στο [C-1 Trader](#) και πέταξε πρώτη φορά στις [17 Δεκεμβρίου 1956](#). Εισήλθε σε υπηρεσία το [1958](#) και αντικαταστάθηκε από το [E-2 Hawkeye](#) στις αρχές της δεκαετίας του [1970](#).

Σχεδίαση και εξέλιξη

Το Tracer έφερε το [ραντάρ Hazeltine AN/APS-82](#) στο θόλο, στο επάνω μέρος της ατράκτου. Το ραντάρ διέθετε τη λειτουργία Εναέριας Κατάδειξης Κινούμενων Στόχων (*Airborne Moving Target Indicator - AMTI*), η οποία ανέλυε τα κύματα [Ντόπλερ](#) σε αντανακλώμενη ενέργεια του ραντάρ, ώστε να διακρίνει τα αεροσκάφη από το θόρυβο που δημιουργούνταν από τα κύματα στην επιφάνεια της [θάλασσας](#). Ο διαχωρισμός των κινούμενων αντικειμένων από το στατικό υπόβαθρο του περιβάλλοντος επιτυγχανόταν με τη χρήση του κατάλληλου εξοπλισμού.

Η αρχική ονομασία του E-1, με το παλιό σύστημα ονοματοδοσίας του Αμερικανικού Ναυτικού ήταν **WF**, γεγονός που του χάρισε το παρατσούκλι "*Willy Fudd*". Λόγω της αρχικής ονομασίας του [S-2 Tracker](#), στο οποίο βασιζόταν το C-1 και κατά προέκταση και το E-1, ως *S2F*, το οποίο του είχε προσδώσει το παρατσούκλι "*Stoof*", το WF/E-1, με το χαρακτηριστικό θόλο του ραντάρ πήρε το παρατσούκλι "*Stoof with a Roof*".

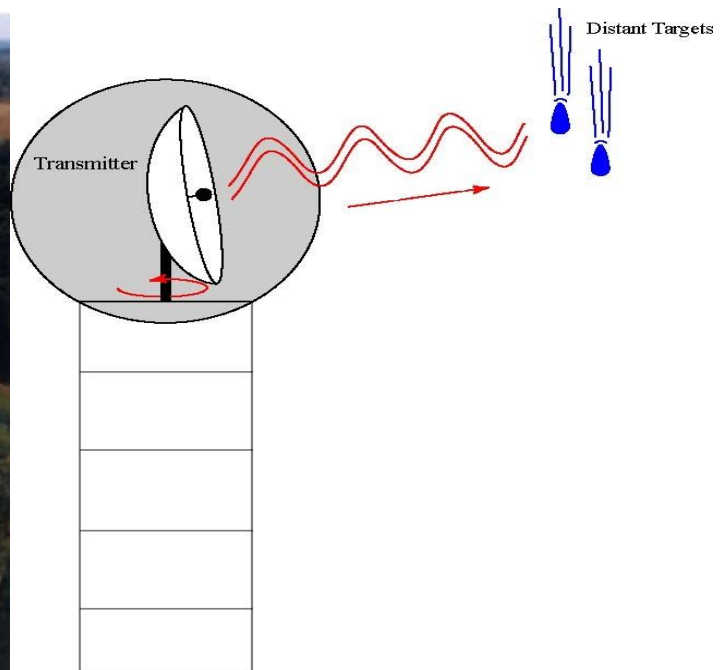


Περιγραφή

Αποστολή Αεροσκάφος έγκαιρης προειδοποίησης Πλήρωμα 4 Κατασκευαστής [Grumman](#)
 Διαστάσεις Μήκος 12,9 m Εκπέτασμα 21,2 m Ύψος 4,9 m Επιφάνεια πτέρυγας 46,35 m² Βάρος
 Άδειο 8.504 kg Μέγιστο απογείωσης 13.222 kg Πηγή ισχύος Κινητήρες 2× Wright R-1820-
 82WA Cyclone 9 Ισχύς 1,525 hp (Εκαστος) Επιδόσεις Μέγιστη ταχύτητα 462 km/h
 287 mph Αυτονομία 2.092 km Επιχειρησιακή οροφή 4,800 m

3.6 Μακρινή εκτίμηση του περιβάλλοντος(μετεωρολογικά radar)

Ραντάρ Doppler χρησιμοποιεί Επίδραση Doppler για να επιστρέψει τις πρόσθετες πληροφορίες από το α ραντάρ σύστημα. Η επίδραση Doppler μετατοπίζει τη συχνότητα της ακτίνας ραντάρ λόγω στη μετακίνηση του "στόχου", άδεια της άμεσης και ιδιαίτερα ακριβούς μέτρησης των ταχυτήτων. Τα ραντάρ Doppler αναπτύχθηκαν αρχικά για τα στρατιωτικά συστήματα ραντάρ, αλλά έχει γίνει από τότε ένα μέρος σχεδόν όλων των συστημάτων ραντάρ, συμπεριλαμβανομένου του καιρικού ραντάρ και πυροβόλα όπλα και ραντάρ για την αστυνομία κυκλοφορίας και τον αθλητισμό.



Βασική έννοια

Τα πρόωρα συστήματα ραντάρ έστειλαν τους ισχυρούς ράδιο σφυγμούς που απεικονίστηκαν από "τους στόχους" το απεικονισμένο σήμα ανιχνεύθηκε έπειτα σε μια χωριστή κεραία. Τα συστήματα εξελίχθηκαν σύντομα για να χρησιμοποιήσουν την ίδια κεραία για να ενεργήσουν και με έναν εκφωνητή και το δέκτη, με την ηλεκτρονική - α duplexer - μετατροπή μεταξύ των δύο τρόπων. Αυτοί πάλλονται τα συστήματα ραντάρ είχαν διάφορα μειονεκτήματα, εντούτοις. Δεδομένου ότι το σύστημα δεν μπόρεσε να μεταδώσει ραδιοφωνικά και να λάβει συγχρόνως, οι σφυγμοί έπρεπε να είναι αρκετά απότομα έτσι η συσκευή αποστολής σημάτων θα μπορούσε να σβηστεί, και ο δέκτης αναμμένος, πριν από το διαβιβασθέντα σφυγμό που επιστρέφεται από το ταξίδι του έξω στο στόχο και την πλάτη (δείτε Ραντάρ-διέλευση χρόνος για μια πιό λεπτομερή εξήγηση). Αυτό σήμανε ότι η συνολική ενέργεια που απεικονίζει από το στόχο μειώθηκε. Οι σφυγμοί θα μπορούσαν να επεκταθούν για να επιστρέψουν περισσότερη ενέργεια, αλλά αυτό μείωσε τη σειρά. Ένα άλλο πρόβλημα ήταν ότι οι σφυγμοί θα απεικονίζαν μακριά οποιουδήποτε στερεού αντικειμένου, συμπεριλαμβανομένου του εδάφους, έτσι έπρεπε να δειχτούν επάνω προκειμένου να ανιχνευθούν οι αερομεταφερόμενοι στόχοι - επιτρέποντας στα αεροσκάφη για να δραπετεύσουν την ανίχνευση κοντά στο έδαφος. Ενώ αυτό ήταν μόνο ένα δευτερεύον πρόβλημα για τα επίγεια ραντάρ, τα ραντάρ αεροσκαφών δεν θα μπορούσαν να δουν τους στόχους από κάτω τους.

Η χρησιμοποίηση της επίδρασης Doppler επιτρέπει σε και τα δύο προβλήματα για να αποφευχθεί. Αντί της αποστολής των σφυγμών, το ράδιο σήμα είναι συνεχές, με αυτόν τον τρόπο μεγιστοποιώντας το ποσό ενέργειας που επιστρέφεται από το στόχο. Για αυτόν τον λόγο το σύστημα αναφέρθηκε συχνά ως **ραντάρ συνεχής-κυμάτων** όταν εισαγόταν πρώτα. Ο στόχος "βλέπει" επειδή το επιστρεφόμενο σήμα θα είναι συχνότητα που μετατοπίζεται λόγω στην επίδραση Doppler, επιτρέποντας σε το για να διαλεχτεί του εξερχόμενου σήματος με το φιλτράρισμα. Από το ποσό μετατόπισης εξαρτάται από τη σχετική ταχύτητα του στόχου, η ελάχιστη ανιχνεύσιμη ταχύτητα είναι μια λειτουργία της στενότητας του φιλτραρίσματος που ο εξοπλισμός είναι ικανός.

Σε χρήση αεροσκαφών, τα φίλτρα μπορούν να τεθούν ως στόχος να φιλτραρίσουν έξω οποιοδήποτε σήμα με την ακριβή ίδια ταχύτητα με τα αεροσκάφη, με αυτόν τον τρόπο φιλτράροντας έξω την αντανάκλαση από το έδαφος. Αυτό επιτρέπει στο ραντάρ για να φανεί ευθύ κάτω, ανιχνεύοντας τα αεροσκάφη που ήταν στο παρελθόν άορατα. Όπως με τα συστήματα ραντάρ σφυγμού, πολλοί σφυγμός συστημάτων Doppler επίσης το σήμα τους για να επιτρέψει τη χρήση μιας ενιαίας κεραίας σε αυτούς τους ρόλους.

Από το Doppler το σύστημα απαιτεί μια διαφορά ταχύτητας μεταξύ της κεραίας και του στόχου για υπάρχει μια μετατόπιση φάσης που ανιχνεύει, είναι δυνατό "σε υποκριτικό" αυτοί με το πέταγμα παράλληλο στο ραντάρ, ή πλευρικά "πέρα από το μέτωπο". Για αυτόν τον λόγο τα περισσότερα συστήματα ραντάρ αεροσκαφών χρησιμοποιούν και τον δύο επιστρεφόμενο σφυγμό και η μετατόπιση Doppler για να ανιχνεύσει τους στόχους.

Ραντάρ Doppler ως καιρικό ραντάρ

Ένα απλό καιρικό ραντάρ μπορεί να ανιχνεύσει [πτώση](#) ή αντικείμενα ακριβώς από την αντανάκλαση [μικροκύματα](#). Τα περισσότερα καιρικά ραντάρ χρησιμοποιούν τα παλλόμενα σήματα μικροκυμάτων. Με περισσότερη πτώση ή ένα μεγαλύτερο αντικείμενο, υπάρχει περισσότερη ανακλαστικότητα. Όπως στην περίπτωση με βαρύ βροχή ή χαλάζι, περισσότερο σήμα απεικονίζεται πίσω στο πιάτο ραντάρ. Η ανακλαστικότητα ενός αντικειμένου μετρείται μέσα [dBZ](#), ή [decibels](#) από το ζ. μετεωρολογία, η επίδραση Doppler γίνεται ιδιαίτερα χρήσιμη. Ενώ το ραντάρ Doppler μπορεί ακόμα να ανιχνεύσει την ανακλαστικότητα, άλλες πληροφορίες συλλέγονται από τη μετατόπιση Doppler του σήματος μικροκυμάτων επιστροφής. Οι

πληροφορίες χρησιμοποιούνται έπειτα από τους υπολογιστές για να παραγάγουν την ταχύτητα αέρα στον πραγματικό χρόνο. Οι ταχύτητες που μπορούν να ανιχνευθούν από ένα ενιαίο πιάτο είναι ταχύτητες που κατευθύνονται μακριά από το πιάτο ή προς το πιάτο (δείτε *διανυσματικοί μηχανικοί*). Αυτό το προϊόν είναι γνωστό ως ακτινωτή ταχύτητα. Ένα άλλο παραγόμενο προϊόν χρησιμοποιεί τα ακτινωτά στοιχεία για να υπολογίσει την ταχύτητα διάδοσης του κυττάρου θύελλας που αφαιρείται έπειτα από την ακτινωτή ταχύτητα. Αυτό παράγει τη σχετική ταχύτητα θύελλας που είναι χρήσιμη για την περιστροφή thunderstorms supercell.

Ακόμα κι αν το περισσότερο καιρικό ραντάρ έχει τη δυνατότητα να συλλέξει τις ταχύτητες αέρα Doppler, συνήθως δεν χρησιμοποιείται για την επίδειξη στο κοινό δεδομένου ότι είναι δύσκολο για ακόμη και τον πιο πεπειραμένο μετεωρολόγο να καταλάβει γρήγορα. Χαρακτηριστικά, οι ερευνητικοί μετεωρολόγοι εξαρτώνται βαρύτερα από τα στοιχεία Doppler για τη διανυσματική ανάκτηση αέρα. Επίσης, παραδείγματος χάριν, μερικά προϊόντα από τα στοιχεία Doppler χρησιμοποιούνται για να δείξουν (στην επίδειξη ανακλαστικότητας) τις περιοχές κουρά αέρα. Οι περισσότεροι μετεωρολόγοι TV αναφέρονται στα προϊόντα ραντάρ τους ως "Doppler", όταν στην πραγματικότητα οι επιδείξεις τους είναι ακριβώς ανακλαστικότητα. Τα πακέτα λογισμικού που χρησιμοποιούνται από πολλούς σταθμούς TV χρησιμοποιούν το ακτινωτό προϊόν ταχύτητας για να παραγάγουν τις διαδρομές θύελλας και τις προβλέψεις κινήσεων κυττάρων.

4^ο ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΕΝΗΝΤΑ ΧΡΟΝΙΑ ΡΑΝΤΑΡ

Αν και είναι δύσκολο να ορίσεις μια ακριβή ημερομηνία για την γέννηση του μοντέρνου ραντάρ, η πραγματική του ανάπτυξη άρχισε ανεξάρτητα και σχεδόν ταυτόχρονα σε κάμποσες χώρες του κόσμου κατά τα μέσα του 1930, περίπου πριν 50 χρόνια. Γι' αυτό το ειδικό θέμα πάνω στο ραντάρ των ενεργειών του IEEE (Φεβρουάριος 1985) και η IEEE Διεθνής διάσκεψη του ραντάρ (Μάιος 1985) και τα δύο συμβαίνουν, λίγο – πολύ, στην χρυσή επέτειο του μοντέρνου ραντάρ. Σαν μια εισαγωγή σ' αυτό το ειδικό θέμα, μια σύντομη ανακεφαλαίωση των ικανοτήτων των τελευταίων 50 χρόνων θα δοθεί, μαζί με την τωρινή κατάσταση του ραντάρ.

Πριν πενήντα χρόνια, τα παρακάτω γεγονότα του ραντάρ έγιναν :

- Στο ναυτικό εργαστήριο έρευνας στην Ουάσιγκτον, DC, A. HOYE Taylor, L.C. Young, και Robert Paye μόλις είχαν συμπληρώσει τεστ του παλμικού ραντάρ 60-MHz που εντόπιζε αεροσκάφη τον Δεκέμβριο του 1934 (αλλά όχι με μεγάλη επιτυχία απ' τη στιγμή που ο δέκτης ήταν μικρής ζώνης συχνότητας και προκαλούσε έκταση τις αντήχησης).
- Στη Μεγάλη Βρετανία, ο Robert Watson – Watt, επόπτης του τμήματος Ράδιου του εργαστηρίου Εθνικής Φυσικής μετέφερε ένα σημείωμα (υπόμνημα) στην επιτροπή Tizard το Φεβρουάριο του 1935, περιγράφοντας πως τα ραδιοκύματα θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για εντοπισμό αεροσκαφών. Του επέτρεψαν να προχωρήσει να εξηγή (επιδεικνύει) τον Ιούνιο του 1935 αυτό που τώρα θα ονομαζόταν βιοστατικό CW ραντάρ, ακολουθούμενο τον Σεπτέμβριο του 1935 από παλμικό ραντάρ εντοπισμού αεροσκαφών με συχνότητα 30-MHz.
- Το Φεβρουάριο του 1935, το Γαλλικό Ναυτικό κανόνισε για συγκριτικά τεστ ενός βιοστατικού CW ραντάρ με μήκος κύματος 4-m (75-MHz) κατανοητό από τον Pierre David, ενός μηχανικού στο Εθνικό Ραδιοηλεκτρικό Εργαστήριο και ενός ραντάρ με μήκος κύματος 16-cm.
- Πριν, το Σεπτέμβριο του 1935, ο Dr. Rudolph Kuhnold, αρχηγός (ο μεγαλύτερος) του τμήματος έρευνας σημάτων του Γερμανικού Ναυτικού έδειξε πάνω σε πλοίο ένα παλμικό ραντάρ με 600-MHz στον αρχιστράτηγο του Γερμανικού Ναυτικού.
- Την άνοιξη του 1935, ο Guglielmo Marconi, επιδείκνυε στην Ιταλία ένα CW (ντόπλερ) ραντάρ εντοπισμού οχημάτων και ανθρώπων.
- Ένα γκρουπ καθοδηγούμενο από τον B.K. Shembel στο Ηλεκτροφυσικό Ινστιτούτο Leningrad (αργότερα ονομάστηκε το Ινστιτούτο Επιστημονικής Έρευνας) εξήγησε στις 22 Οκτωβρίου του 1935 τον εντοπισμό αεροσκαφών σε μια απόσταση από 5 ως 6 Km χρησιμοποιώντας ένα (ντόπλερ) CW ραντάρ σ' ένα μήκος κύματος 25 cm (1200-MHz, η σημερινή L-ζώνη συχνότητας) με δύναμη (ενέργεια) 8W που παράγεται από ένα θετικό ηλεκτρόδιο μαγνήτρου και δύο ξεχωριστές 2-m διαμέτρου παραβολικές κεραιές μεταβίβασης και κεραιές που δέχονται, δεμένες δίπλα-δίπλα.
- Λίγο αργότερα, το 1936, η αρχή του (ντόπλερ) ραντάρ προτάθηκε και αργότερα εξηγήθηκε απ' τον K. Okabe στην Ιαπωνία.

Κάθε μια απ' αυτές τις χώρες εμφάνισαν και ανέπτυξαν μερικά είδη στρατιωτικών ραντάρ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου. Φαίνεται ότι η αρχική εμφάνιση σε όλες τις χώρες έγινε κρυφά χωρίς γνώση του τι γινόταν οπουδήποτε αλλού.

Εμφανίσεις (αναπτύξεις) του ραντάρ των πρώτων 5 δεκαετιών

1930s

Η βασική αρχή του ραντάρ εξηγήθηκε από τον Heinrich Hertz το 1888, και μια τεχνική για τον εντοπισμό των πλοίων, βασισμένη στα πειράματα του, εξετάστηκε στην Γερμανία στις αρχές του 1900. Τίποτα δεν έγινε για να εκμεταλλευτούν αυτές τις πρώτες επιδείξεις, αν και για πολλά χρόνια πριν την πραγματική εφεύρεση του ραντάρ στα μέσα του 1930 υπήρχαν αναφορές για ραδιοκύματα που αντανακλούνταν από αντικείμενα. Αυτό παρέμεινε, όμως, μέχρι τα μέσα του 1930 πριν να εμφανιστεί το ραντάρ στις περισσότερες χώρες το οποίο είχε μια καλή τεχνολογική βάση στο ράδιο. Ένας πιθανός λόγος για τον σάλο του στο χρόνο ενδιαφέροντος για εντοπισμό ραδίου εκείνο τον καιρό ήταν το ωρίμασμα στις αρχές του 1930 του μοντέρνου αεροπλάνου καθώς ένα βομβαρδιστικό αεροπλάνο με μεγάλη κατεύθυνση ήταν ικανό να προκαλέσει σημαντική ζημιά με το μεγάλο του φορτίο. Γι' αυτό ίσως να ειπώθηκε, ότι το ραντάρ εφευρέθηκε ως απάντηση στο μοντέρνο βομβαρδιστικό αεροπλάνο.

Το 1930 βρήκε τις περισσότερες απ' τις κύριες χώρες να εξερευνούν το βιοστατικό CW ραντάρ, το οποίο χαρακτηρίζεται απ' τις κεραίες μετάδοσης και λήψης που είναι ξέχωρες η μια απ' την άλλη. Αεροσκάφη που διαπέρασαν ανάμεσα απ' τον μεταδότη και τον δέκτη εντοπίστηκαν απ' το χτύπο του (ντόπλερ) ανάμεσα απ' το άμεσο σήμα (απ' τον μεταδότη στον δέκτη) και το σήμα που διαλύθηκε απ' τον στόχο. Αν και ο γαλλικός και ρωσικός στρατός εμφάνισαν το βιοστατικό CW ραντάρ πριν την είσοδο τους στο 2^ο παγκόσμιο πόλεμο, ο εντοπισμός στόχων με ράδιο για σημαντικές στρατιωτικές εφαρμογές δεν πάρθηκε σοβαρά μέχρι την επιτυχημένη ανάπτυξη του μονοστατικού παλμικού ραντάρ. Το βιοστατικό ραντάρ απλώς ήταν πολύ περιορισμένο.

Οι πρώτοι λογισμοί παλμικού ραντάρ από αεροσκάφος έγιναν το Δεκέμβριο του 1934 από το εργαστήριο ναυτικής έρευνας αλλά δεν ήταν πλήρως επιτυχημένος γιατί ο δέκτης που ήταν διαθέσιμος ήταν μικρής ζώνης συχνότητας. Παρέμεινε μέχρι τον Απρίλιο του 1936 πριν το NRL ξεπεράσει αυτό το πρόβλημα. Το duplexer, το οποίο επέτρεψε να χρησιμοποιηθεί μια συνηθισμένη κεραία και για μετάδοση και για λήψη, συνενώθηκε απ' το NRL σ' ένα παλμικό 200 – MHz ραντάρ κατά την διάρκεια του Ιουλίου του 1936. Αυτό ήταν ένα σημαντικό κατόρθωμα που δεν αντιγράφηκε από άλλους για κάμποσα χρόνια. Η πρώτη επίδειξη του NRL ραντάρ στη θάλασσα ήταν τον Απρίλιο του 1937, το οποίο οδήγησε στην ανάπτυξη ενός ραντάρ που έχει σχέση με στρατιωτικές επιχειρήσεις από το ναυτικό ηνωμένων πολιτειών το CXAM, που άρχισε το 1940. Πριν τον Δεκέμβριο του 1941 υπήρχαν 79 ραντάρ διαφόρων ειδών τοποθετήθηκαν στα πλοία του ναυτικού των ΗΠΑ. Ο στρατός των ΗΠΑ άρχισε τη δουλειά του παλμικού ραντάρ την άνοιξη του 1936 και έκανε το πρώτο του τεστ τον Δεκέμβριο του 1936. Ένα σύστημα που είχε σχέση με στρατιωτικές επιχειρήσεις δοκιμάστηκε το φθινόπωρο του 1938.

Η μεγάλη Βρετανία άρχισε την ανάπτυξη αργότερα από τις ΗΠΑ αλλά επιταχύνθηκαν γρήγορα και επιτυχημένα επέδειξαν τα πρώτα του ραντάρ που έχουν σχέσεις με στρατιωτικές επιχειρήσεις πριν το 1937. Ήταν σε 24ωρη λειτουργία πριν το Σεπτέμβριο του 1938.

Οι σοβιετικοί ξεκίνησαν την ανάπτυξη του ραντάρ το 1934 και συνέχισαν να εξερευνούν τρία είδη ραντάρ : 1) ένα βιοστατικό CW ραντάρ (RUS – 1) που λειτούργησε σε μήκος κύματος 4 m (75MHz) με χώρισμα 35-kW ανάμεσα απ' τον μεταδότη και το δέκτη, και το οποίο έγινε δεκτό απ' το σοβιετικό στρατό τον Δεκέμβριο του 1939, 2) ένα παλμικό ραντάρ (RUS – 1) που λειτουργεί με μήκος κύματος 4 – m με μέγιστη κατεύθυνση 150 Km, έγινε δεκτό τον Ιούλιο του 1940 και χρησιμοποιήθηκε για την κατεύθυνση αεροσκαφών που παρεμποδίζονται και 3) πειραματικά αντιαεροπορικά ραντάρ ελέγχου πυροβολισμών (σε συχνότητες τόσο υψηλές όσο 2000 MHz με κατευθύνσεις (ταχύτητα) από 12 μέχρι 20 Km.

Η Γαλλία ακολούθησε δύο μονοπάτια στην ανάπτυξη του ραντάρ, και τα δύο CW. Το ένα, κάτω απ' την κατεύθυνση του Pierre David, ήταν σε μεγάλα μήκη κύματος (4m). Αυτό αναπτύχθηκε σ' ένα βιοστατικό CW σύστημα που έχει σχέση με στρατιωτικές επιχειρήσεις λειτουργώντας ως ένα φράγμα, ή φράχτη (ο David πρώτα πρότεινε αυτή την ιδέα το 1928). Χρησιμοποιώντας παραπάνω από ένα φράγμα (φράχτη), μπορούσαν να αποκτηθούν η πορεία (κατεύθυνση) του

στόχου και η ταχύτητα, (ένα μόνο βιοστατικό CW φράγμα αποκτάει μόνο εντοπισμό αλλά όχι τοποθεσία ή ταχύτητα καθώς ο στόχος διαπερνάει ανάμεσα απ' τον μεταδότη και τον δέκτη. Το άλλο ήταν ένα CW σύστημα με μήκος κύματος 16cm που έπρεπε να εγκαταλειφθεί εξαιτίας της χαμηλής δύναμης. Αν και ο David πρότεινε ένα μονοστατικό σύστημα ραντάρ τον Οκτώβριο του 1938, η Γαλλία δεν έκανε τίποτα σ' αυτό το πεδίο μέχρι η Βρετανία να αποκαλύψει τις δικές της αναπτύξεις στο ραντάρ σ' αυτούς τον Απρίλιο του 1939.

Όπως τους Γάλλους και τους Ρώσους, οι Γερμανοί επίσης πειραματίστηκαν τα μικροκύματα το 1934 αλλά δεν τα επιδίωξαν εξαιτίας της χαμηλής δύναμης. Το πρώτο πρωτότυπο αυτού που ήταν να γίνει το ευρέως αναπτυξιακό Γερμανικό Freya ραντάρ γρήγορης προειδοποίησης για τον εντοπισμό αεροσκαφών ξεκίνησε το 1936. Ένα ραντάρ ελέγχου φωτιάς (πυροβολισμού) που λειτουργούσε σε 375 MHz με μέγιστη δύναμη 7 kW τοποθετήθηκε στο πλοίο Graf Spee το 1936 και ήταν πάνω στο πλοίο όταν αυτό συμμετείχε στον Ισπανικό εμφύλιο πόλεμο κατά τη διάρκεια του καλοκαιριού το 1938. Αυτό το ραντάρ είχε μια κατεύθυνση (ταχύτητα) 10 nmi εναντίον μεγάλων πλοίων. Οι Γερμανοί επίσης παρήγαγαν το Wurzburg ραντάρ μέχρι το τέλος του 1938. Αυτό λειτουργούσε με 560MHz με μια κατοπτρική κεραία διαμέτρου 3m. Η Γερμανική αεροδύναμη παρήγγειλε 5000 Wurzburg ραντάρ. Στο ξεκίνημα του 2^{ου} Παγκοσμίου πολέμου το Γερμανικό ραντάρ ήταν αρκετά καλό. Μια πηγή λει οί το Γερμανικό ραντάρ ήταν κάπως πιο πάνω απ' το ραντάρ των Ηνωμένων Πολιτειών. Άλλη μια πηγή είπε ότι ο εξοπλισμός εδαφική ακρίβειας ήταν "δεύτερο προς τίποτα".

Εκτός απ' το Chain Home ραντάρ του Ηνωμένου Βασιλείου, το οποίο λειτουργούσε σε HF (25-30 MHz), τα επιτυχημένα ραντάρ του 1930 χαρακτηρίστηκαν από λειτουργία σε VHF και UHF. Τα περισσότερα από τα Allieβ ραντάρ ήταν σε συχνότητες από περίπου 75 μέχρι 200 MHz, απ' τη στιγμή που αυτό συμβόλιζε (τόνιζε) το όριο της τεχνολογίας της λυχνίας άδεια από αέρα εκείνο τον καιρό (οι Γερμανοί χρησιμοποίησαν ραντάρ ως και 600 MHz). Αν και ίσως φαινόταν σαν καθημερινή ρουτίνα, η λειτουργία σε VHF το 1930 ήταν πρωτοποριακή και προκλητική. Αυτή η ζώνη συχνότητας ίσως να μην ήταν πολύ ελκυστική για το μοντέρνο ραντάρ εξαιτίας του μεγάλου πλάτους ακτίνας, του μικρού πλάτους ζώνης συχνότητας και του μεγάλου περιβαλλόμενου θορύβου αλλά εν τούτοις παρείχε μια χρήσιμη ικανότητα που εκτιμήθηκε πολύ εκείνο τον καιρό και εφαρμόστηκε ευρέως. Μια απ' τις πιο σημαντικές εξελίξεις που επηρέασαν το μοντέρνο ραντάρ συνέβησαν στο τέλος της δεκαετίας, το 1939, όταν το κύμα (μάγκνετρο) υψηλής δύναμης εφευρέθηκε στην Αγγλία.

1940s

Η αρχή του 1940 είδε την ανάπτυξη του πρωτοποριακού VHF ραντάρ του 1930 μαζί με την είσοδο (σύσταση) των μικροκυμάτων, η οποία έγινε δυνατή από την Βρετανική εφεύρεση του magnetron. Το magnetron οδήγησε το ραντάρ στο να λειτουργεί με υψηλότερες συχνότητες που επέτρεψαν να ξεπεραστούν οι κύριοι περιορισμοί του VHF (παρέχοντας μικρά πλάτη ακτίνας και μεγάλα πλάτη ζώνης συχνότητας). Επέτρεψε την ανάπτυξη του μεγάλου ραντάρ εναέριας παρακολούθησης που είχε την βάση του στο έδαφος με L-ζώνη συχνότητας (23-cm μήκος κύματος) και S-ζώνη συχνότητας (10 cm) όπως επίσης και μικρά εναέρια ραντάρ με X-ζώνη συχνότητας (3 cm). Στις αρχές της δεκαετίας ο στρατός των Ηνωμένων Πολιτειών αποφάσισε να συνεχίσει να συγκεντρώνεται στην ανάπτυξη του VHF και UHF ραντάρ όπως ξεκίνησε στα τέλη του 1930. Η ευθύνη για την ανάπτυξη των ραντάρ στην ανεξερεύνητη περιοχή μικροκυμάτων του φάσματος δόθηκε στο καινούριο MTI εργαστήριο ακτινοβολίας. Η απόφαση να συγκεντρωθούν στο ραντάρ μικροκυμάτων στο MTI πάρθηκε πριν να έχουν οι Ηνωμένες Πολιτείες γνώση της ανάπτυξης του magnetron υψηλής δύναμης (ισχύος) από τους Βρετανούς. Το MTI εργαστήριο ακτινοβολίας ήταν πολύ πετυχημένο στο να χρησιμοποιεί την καινούρια τεχνολογία μικροκυμάτων σε στρατιωτικά ραντάρ για εναέρια χερσαίες και θαλάσσιες εφαρμογές. Ακριβώς 150 ξεχωριστά συστήματα ραντάρ αναπτύχθηκαν ως αποτέλεσμα του προγράμματος του εργαστηρίου ακτινοβολίας. Σαν παραδείγματα των κατορθωμάτων του εργαστηρίου ακτινοβολίας, τρία ραντάρ μικροκυμάτων θα περιγραφούν σύντομα :

- 1) το SCR-584 ραντάρ εύρεσης στόχου που έγινε από το General Electric και το Westing house,
- 2) το εναέριο SCR-720 ραντάρ αναχαίτισης που κατασκευάστηκε απ' το Western Electric Co.,

3) το εναέριο Eagle ραντάρ βομβαρδισμού που κατασκευάστηκε απ' το Western Electric.

Το SCR-584 ήταν το πρώτο και πιο ευρέως χρησιμοποιημένο ραντάρ μικροκυμάτων ανεύρεσης στόχου. Χρησιμοποίησε κωνική εξερεύνηση και με το πλάτος ακτίνας του 4° είχε ικανοποιητική γωνιακή ακρίβεια για να κατευθύνει αντιαεροπορικά όπλα σε στόχους χωρίς την ανάγκη ηλεκτρικών προβολέων ή οπτικών, όπως ήταν στην περίπτωση του παλιότερου συνεχώς κινούμενου VHF SCR-268 ραντάρ. Το SCR-584 λειτουργούσε με S-ζώνη συχνότητας με μια παραβολική κατοπτρική κεραία διαμέτρου 6-ft. Το ψάξιμο έντασης γινόταν εξερευνώντας ελικοειδώς την ακτίνα για να καλύψει οποιοδήποτε τομέα ανύψωσης 20°. Η κατεύθυνση (ταχύτητα) εναντίον βομβαρδιστικών αεροσκαφών ήταν περίπου 30 nmi. Η ανάπτυξη του SCR-584 πρωτοεμφανίστηκε στο MIT εργαστήριο ακτινοβολίας τον Ιανουάριο του 1941, μια κινητή μονάδα συναρμολογούμενων φορτηγών επιδείχτηκε τον Δεκέμβριο του 1941, η παραγωγή άρχισε τον Απρίλιο του 1942, η πρώτη παραγωγική σειρά μεταφέρθηκε στις 15 Ιουνίου του 1943 και το ραντάρ χρησιμοποιήθηκε σε μάχη στις αρχές του 1944 στο Anzio Beach head. Η σύστασή (εισαγωγή) του ήταν αρκετά έγκαιρη απ' τη στιγμή που οι Γερμανοί είχαν δυναμικά αποσιωπήσει τον προκάτοχό του, το SCR-268, με ηλεκτρονικές καταμετρήσεις. Η σύσταση (εισαγωγή) του ραντάρ μικροκυμάτων βρήκε τους Γερμανούς απροετοίμαστους. Σχεδόν 2000 απ' αυτά τα ραντάρ παραγγέλθηκαν. Το SCR-584 ήταν ένα καλό ραντάρ. Μπορούσε να χρησιμοποιηθεί για διάφορες εφαρμογές του ραντάρ πολλά χρόνια μετά το τέλος του πολέμου. Συνειδητοποιήθηκε αρκετά νωρίς στο εργαστήριο Ακτινοβολίας ότι το ραντάρ μικροκυμάτων μπορούσε να το κάνει δυνατό να γίνει, με λογικού μεγέθους κεραίες, εναέριο ραντάρ με μικρά πλάτη ακτίνας. Το SCR-720 ήταν ένα AL ραντάρ με S-ζώνη συχνότητας που χρησιμοποιήθηκε σε νυχτερινά μαχητικά αεροσκάφη. Το paraboloidal κάτοπτρο διαμέτρου 29 cm περιστρεφόταν συνεχόμενα σε αξιμούθιο και αργά έκλινε προς ανύψωση για να καλύψει μια γωνιακή ανύψωση 25°. Είχε πλάτος ακτίνας 10°, μια μέγιστη δύναμη από 100 ως 150 KW, μέση δύναμη από 112 ως 170 W, βάρος 415 Ib και υποτίθεται ότι είχε μια κατεύθυνση (ταχύτητα) περίπου 4 nmi σε μαχητικά αεροσκάφη και 8.5 nmi σε βομβαρδιστικά αεροσκάφη. Η μεταφορά του SCR-720 άρχισε την άνοιξη του 1943 και κάμποσες χιλιάδες είχαν παραχθεί μέχρι την D-ημέρα (6 Ιουνίου 1944).

Υπήρχαν πολλά αξιοσημείωτα ραντάρ που αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια του πολέμου, αλλά το Eagle ραντάρ βομβαρδισμού υψηλής ανάλυσης ξεχωρίζει σαν προϊόν ανακαινιστικής σκέψης που προκάλεσε τη διαθέσιμη τεχνολογία με το προοδευτικό του σχέδιο και τις ικανότητές του. Ο συγγραφέας έχει μερικές φορές αναρωτηθεί αν ένα τέτοιο ραντάρ θα είχε ποτέ εμφανιστεί και αναπτυχθεί στρατιωτικά χωρίς τις πιέσεις των αναγκών της πολεμικής περιόδου. Αυτό γιατί αν δεν είχε αναπτυχθεί επιτυχώς κατά τη διάρκεια του πολέμου ίσως ποτέ να μην είχε επιχειρηθεί κατά τη διάρκεια ειρήνης. Το Eagle AN/APQ-7 ήταν ένα ραντάρ υψηλής ανάλυσης με μια X-ζώνη συχνότητας για τυφλό βομβαρδισμό σε μεγάλο ύψος. Αυτό είχε μια μοναδική κεραία σε θέση φάσεως, 16 ft σε μήκος η οποία παρήγαγε ένα πλάτος ακτίνας 0.4° που μπορούσε να εξερευνηθεί $\pm 30^\circ$ σε αξιμούθιο με ένα ρυθμό 1.5 εξερευνησεως ανά δευτερόλεπτο μεταβάλλοντας μηχανικά το φάρδος της κεραίας σε γραμμική θέση. Αυτό ονομάζεται ένας Eagle εξερευνητής ή δέλτα εξερευνητής. Με μέγιστη δύναμη 50 kW και μέση δύναμη 30W το ραντάρ μπορούσε να παρέχει εικόνες πόλεων σε κατευθύνσεις (ταχύτητες) μέχρι 160 mi. Το ολικό βάρος ήταν 764 Ib. Η δουλειά ξεκίνησε τον Νοέμβριο του 1941. Υπήρξε πολύς σκεπτικισμός για την προσέγγιση μέσα στο εργαστήριο ακτινοβολίας έτσι ώστε το σχέδιο αναγκάστηκε να προχωρήσει με χαμηλή προτεραιότητα. Όμως, ηχητικές τεχνικές λύσεις βρέθηκαν για καθένα απ' τα προβλήματα και το Eagle έκανε το πρώτο τεστ πτήσης τον Ιούνιο του 1943. Τον Ιούνιο του 1944, 1660 σερ παραγγέλθηκαν. Το Eagle ραντάρ χρησιμοποιήθηκε στρατιωτικά πολύ αργά στην Ευρώπη αλλά χρησιμοποιήθηκε με επιτυχία στον Πασιφικό.

Όπως αναφέρθηκε πριν, ο Στρατός και τα Ναυτικά εργαστήρια συγκέντρωσαν τις προσπάθειές τους σχετικά με τα ραντάρ σε συχνότητες χαμηλότερες απ' των μικροκυμάτων. Ένα παράδειγμα είναι το Ναυτικό ραντάρ των Ηνωμένων Πολιτειών που ονομάζεται ASB, το πρώτο στρατιωτικό εναέριο ραντάρ των Ηνωμένων Πολιτειών που χρησιμοποιήθηκε ευρέως για βομβαρδισμό, εντοπισμό πλοίων και υποβρυχίων και εναέρια αναχαίτιση. Πάνω από 26000 εξοπλισμοί

(εφόδια) προμηθεύτηκαν (απ' το 1942 ως το 1944), η μεγαλύτερη προμήθεια οποιουδήποτε άλλου ραντάρ κατά τη διάρκεια του πολέμου. Το ραντάρ λειτουργούσε μια 515 MHz (UHF) με μέγιστη δύναμη από 5 ως 10 kW και μέση δύναμη περίπου 4W. Το ολικό βάρος ήταν 120 Ib. Όμοιες Yagi κεραιές με πλάτος ακτίνας 60° ήταν δεμένες κάτω από κάθε πτερύγιο. Οι δύο κεραιές μπορούσαν να περιστρέφονται ξεχωριστά μέσα από 90° απ' τον χειριστή. Έχει ειπωθεί ότι το ASB ήταν ένα απ' τα πιο επιτυχημένα απ' όλα τα ASV ραντάρ.

Σημειώθηκε προηγουμένως ότι οι Γερμανοί ήταν πιθανόν πολύ πιο μπροστά από οποιαδήποτε άλλη χώρα στην εμφάνιση και ανάπτυξη του ραντάρ στις αρχές του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου. Η Βρετανία και οι Ηνωμένες Πολιτείες επιτάχυναν τις προσπάθειες του στις αρχές του 1940 αλλά όχι οι Γερμανοί. Η ανάπτυξη του ραντάρ δεν είχε μεγάλη προτεραιότητα στη Γερμανία κατά τη διάρκεια του πολέμου. Κοντά στα τέλη του 1940, ο Γερμανός διοικητής νόμιζε ότι ο πόλεμος θα κερδίζονταν σε μικρό χρονικό διάστημα και ότι τα ραντάρ που υπήρχαν ήταν αρκετά. Σταμάτησαν όλες τις έρευνες που δεν θα παρήγαγαν τελειωμένο εξοπλισμό (εφόδια) σε λιγότερο από ένα χρόνο και πολλοί από τους επιστήμονες πήγαν στον Στρατό. Αυτή η πολιτική (τακτική) υπήρχε μέχρι τις αρχές του 1943. Όταν οι Γερμανοί συνειδητοποίησαν ότι ήταν πίσω, ήταν πολύ αργά να προλάβουν.

Την εποχή της εισβολής της Σοβιετικής Ένωσης στους Γερμανούς, 45 RUS-1 βιοστατικά CW ραντάρ είχαν κατασκευαστεί απ' την Σοβιετική Ένωση. Αυτά στάλθηκαν στην Μακρινή Ανατολή και στον Καύκασο. Η παραγωγή του RUS-1 σταμάτησε με το ξεκίνημα της παραγωγής του RUS-2 και του RUS-2c και τα δυο παλμικά ραντάρ. Λειτουργούσαν με 75 MHz με μέγιστη δύναμη από 70 ως 120 kW, 900-Hz PRF και Yagi κεραιές με μεγάλο πλάτος ακτίνας. Η μέγιστη κατεύθυνση (ταχύτητα) ήταν περίπου 150 Km. Το RUS-2 χρησιμοποιούσε ξεχωριστά συστήματα μεταδότη και δέκτη πάνω σε ξεχωριστά οχήματα, αραιωμένα περίπου 300W για να παρέχουν απομόνωση κεραιάς. Το RUS-2c ήταν ικανό να λειτουργεί με μια μονή κεραιά και για μετάδοση και για λήψη κώνοντάς το ένα πιο χρήσιμο εξοπλισμό. Πέρα απ' αυτά τα δύο ραντάρ παρακολούθησης, η Σοβιετική Ένωση χρησιμοποίησε για την άμυνα της απ' τη Μόσχα τα πειραματικά χαμηλής δύναμης αντιαεροπορικά ραντάρ μικροκυμάτων που ήταν διαθέσιμα.

Ένα μεγάλο μέρος της Σοβιετικής ανάπτυξης του ραντάρ έγινε στο Leningrad. Το Leningrad έγινε μέρος του πεδίου μάχης και ήταν υπό πολιορκία για το περισσότερο καιρό του αγώνα προκαλώντας τη μεταφορά στην ανατολή αυτών που ασχολούνταν με την ανάπτυξη του ραντάρ. Η μεταφορά προκάλεσε διάρρηξη αλλά μέχρι το τέλος του πολέμου κάμποσα εργοστάσια ήταν ικανά να κατασκευάσουν κάμποσες εκατοντάδες RUS-2 και RUS-2c ραντάρ.

Η ανάπτυξη του ραντάρ μικροκυμάτων που ξεκίνησε κατά τη διάρκεια του πολέμου στις Ηνωμένες Πολιτείες συνεχίστηκε και μετά που τελείωσε ο πόλεμος αλλά με πολύ πιο αργά βήματα. Ο μονοπαλμικός ιχνηλάτης και το MTI (ένδειξη κινούμενου στόχου) ραντάρ, που και τα δύο ξεκίνησαν κατά τη διάρκεια του πολέμου, εξελίχθηκαν στα τέλη του 1940 όπου μπορούσαν να θεωρηθούν χρήσιμα για εφαρμογές. Το μονοπαλμικό, εξαιτίας της ακρίβειάς του και της σχετικής εξαίρεσης σε μερικά είδη ECM, είναι το κύριο ραντάρ τεχνικής ανεύρεσης που είναι διαθέσιμο σήμερα. Όλα τα μοντέρνα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης χρησιμοποιούν κάποιο είδος MTI για να εντοπίσουν επιθυμητούς κινούμενους στόχους υπό την παρουσία μεγάλων ανεπιθύμητων αντηχήσεων από τη ξηρά και τη θάλασσα.

Οι ικανότητες του ραντάρ μικροκυμάτων κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου στο MIT εργαστήριο ακτινοβολίας εγγράφηκαν πλήρως σε μια εντυπωσιακή σειρά 28 τόμων που εκδόθηκαν απ' το

McGraw-Hill Book Co. στα τέλη του 1940. Δυστυχώς άλλες ικανότητες του ραντάρ κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου δεν εγγράφηκαν με παρόμοιο τρόπο.

1950s

Αν και μερικοί απ' τους ιδρυτές του ραντάρ απ' τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο και στις αρχές του 1930 συνέχισαν να συμμετέχουν στο ραντάρ πολλοί πήγαν σε άλλες δουλειές. Το 1930 είδε την είσοδο της ανάπτυξης του ραντάρ της δεύτερης γενιάς ανάπτυξης μηχανικών ραντάρ. Τα 1950s έχτισαν πάνω στη δουλειά των δύο προηγούμενων δεκαετιών για να αναπτύξουν (επεκτείνουν)

τη τεχνολογία. Για παράδειγμα η αρχή του μονοπαλμικού ραντάρ που αναπτύχθηκε το 1940 εφαρμόστηκε στο πολύ επιτυχημένο AN/FPS-16 ραντάρ ανίχνευσης. Αυτό ήταν ένα ενορχηστρωμένο ραντάρ ακριβείας που πέτυχε μια γωνιακή ακρίβεια ανίχνευσης 0.1 mil, μια ικανότητα που δεν υπερβαίνεται ακόμη και σήμερα.

Μια απ' τις χαρακτηριστικές αναπτύξεις του 1950 ήταν η επιστροφή σε χαμηλότερες συχνότητες στο VHF και UHF. Κατά τη διάρκεια του 1940 υπήρξε μια γρήγορη ανοδική εξέλιξη (πορεία) στην συχνότητα από HF και VHF σε μικροκύματα, μέχρι και K-ζώνη συχνότητας. Όμως ενδιαφέρον για το ραντάρ μεγάλης κατεύθυνσης (ταχύτητας) για αξιόπιστο εντοπισμό αεροσκαφών και εντοπισμό διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων προκάλεσε μια επιστροφή στο VHF και UHF όπου μεγάλη μέση δύναμη (μέγα-βατ) και μεγάλες κεραίες (εκατοντάδες πόδια σε γραμμική διάσταση) μπορούσαν να αποκτηθούν, όπως επίσης και καλύτερο MTI και λιγότερο θόρυβο απ' ότι σε ψηλές συχνότητες. Τα μεγάλα ραντάρ κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας επίσης χρησιμοποιήθηκαν για παρατηρήσεις του φεγγαριού, της αυγής, των μετεωριτών και της Αφροδίτης.

Ο Klystron ενισχυτής υψηλής δύναμης πρωτοχρησιμοποιήθηκε στο ραντάρ κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας. Η διαθεσιμότητα ενός ενισχυτή δύναμης επέτρεψε μια σημαντική αλλαγή στην αρχιτεκτονική του ραντάρ. Προσέφερε αξιόλογα υψηλότερη δύναμη απ' ότι μπορούσε να κατορθωθεί με το magnetron. Θα μπορούσε να χρησιμοποιήσει πιο παραπονημένα είδη κύματος απ' ότι μια απλή παλμική σειρά και πολλαπλά μηχανήματα θα μπορούσαν να λειτουργήσουν σε σύγκριση για να πετύχουν ακόμα μεγαλύτερη δύναμη απ' ότι από ένα μονό σωλήνα. Ο ενισχυτής Klystron εφευρέθηκε πριν τον 2^ο παγκόσμιο πόλεμο και περιγράφηκε στην εφημερίδα εφαρμοσμένης φυσικής το 1939. Αλλά η δυνατότητά του για ραντάρ δεν εκτιμήθηκε μέχρι που ένα χαρτί εμφανίστηκε το 1953 περιγράφοντας ένα σωλήνα μέγιστης δύναμης 20MW και με S-ζώνη συχνότητας που αναπτύχθηκε για το γραμμικό επιταχυντή του πανεπιστημίου Stanford.

Είδη κύματος με παλμική συμπίεση επίσης παρουσιάστηκαν στο ραντάρ το 1950. Η αρχή της παλμικής συμπίεσης ήταν γνωστή πολύ νωρίτερα αλλά πήρε μέχρι το 1950 για να την επιδείξουν σε πρακτικά συστήματα ραντάρ. Η παλμική συμπίεση είναι η χρήση μεγάλου παλμού, με εσωτερική διαμόρφωση, για να αποκτηθεί η ενέργεια μεγάλου παλμού αλλά με την ανάλυση μικρού παλμού. Η πρώτη επίδειξη ραντάρ υψηλής δύναμης παλμικής συμπίεσης έγινε με φάση διαμορφωμένου κώδικα στο οποίο ένας μεγάλος παλμός χωρίστηκε σε 200 υπό-παλμούς, ο καθένας ή με 0° ή με 180° επιλεγμένης σειράς στη τύχη. Το γραμμικό FM είδος κύματος επιδείχτηκε αργότερα ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα (SAR) έκανε επίσης την εμφάνισή του κατά της διάρκειάς αυτής της περιόδου. Το SAR είναι μια τεχνική για να πετύχεις ανάλυση στο αζιμούθιο, συγκρινόμενη με την ανάλυση που μπορεί να κατορθωθεί σε κατεύθυνση (ταχύτητα). Αυτό χρησιμοποιεί μια σχετικά μικρή κεραία πλάγιας όψης που κουβαλιέται από ένα αεροσκάφος (ή από δορυφόρο) για να παράγει ένα χάρτη μιας λωρίδας εδάφους. Η χρήση ραντάρ για εναέρια αποφυγή καιρού και για παρατήρηση καιρού στο έδαφος επίσης ξεκίνησε κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου. Εναέριο παλμικό (ντόπλερ) ραντάρ, όπως είναι γνωστό σήμερα, πρώτα κατανοήθηκε στις αρχές του 1950 και χρησιμοποιήθηκε επιτυχώς στα τέλη του 1950 σαν ένα στρατιωτικό ραντάρ αναγνώρισης και στοχεύσεις του στόχου από ψηλά για τι πύραυλο αέρος-αέρος Bomarc που αναπτύχθηκε για εναέρια άμυνα απ' την Πολεμική Αεροπορία (αυτή η εμφάνιση πήρε το 1984 το IEEE AES-S πρωτοποριακό βραβείο).

Υπήρχαν επίσης μερικές "αρνητικές" εμφανίσεις σ' αυτή τη δεκαετία. Το βιοστατικό CW ραντάρ για εντοπισμό αεροσκαφών ξανά ανακαλύφθηκε, τοποθετήθηκε στην DEW γραμμή στον Αρκτικό σαν το AN/FPS-23, αλλά αργότερα μετακινήθηκε. Έγιναν προσπάθειες για να χρησιμοποιηθεί πολυστατικό ραντάρ στα Plato και Ordir συστήματα εντοπισμού διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων αλλά και οι δύο εμφανίσεις αποβλήθηκαν.

Η δεκαετία του 1950, πιθανόν περισσότερο από οποιαδήποτε άλλη δεκαετία, είδε την πρόοδο της θεωρητικής βάσης του ραντάρ. Πριν από αυτή την περίοδο, το σχέδιο του ραντάρ ήταν βασισμένο αρχικά (όπως θα έπρεπε να είναι) σε μηχανική εμπειρία, τέχνη και κρίση. Η εισαγωγή (σύσταση) των θεωρητικών απόψεων του ραντάρ που συνέβησαν το 1950 επέτρεψαν μια πιο σταθερή βάση για το σχέδιο του ραντάρ απ' ότι ήταν διαθέσιμο πριν. Ευτυχώς η θεωρία που αναπτύχθηκε για το ραντάρ δεν διέψευσε τις πρακτικές εφαρμογές που αναπτύχθηκαν τα

προηγούμενα χρόνια. Δεν έδωσε μόνο αυτό πεποίθηση στις υπάρχοντες μηχανικές εφαρμογές που αναπτύχθηκαν από εμπειρία, αλλά έδειξε πως η τέχνη του ραντάρ μπορούσε να επεκταθεί στα θεωρητικά της όρια. Όλη αυτή η θεωρητική δουλειά δεν ήταν διαθέσιμη στην ανοιχτή λογοτεχνία το 1950 και ορισμένη, ήταν ταξινομημένη. Αλλά ήταν σ' αυτή τη δεκαετία που η θεωρία του ραντάρ αναγνωρίστηκε ως μια σημαντική άποψη σχεδίου και ανάπτυξης και χρησιμοποιήθηκε απ' τους μηχανικούς του ραντάρ. Οι θεωρητικές ιδέες που άρχισαν να εκτιμούνται κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου είναι οι παρακάτω

Εφάμιλλο φίλτρο. Αυτό αρχικά συστήθηκε από τον D. O. North σε μια ταξινομημένη αναφορά το 1943 και ανατυπώθηκε στο PROCEEDINGS του IEEE τον Ιούλιο του 1963. Ήταν το 1950, όμως, που αυτή η ιδέα έγινε πολύ πιο γνωστή. Ο North έδειξε ότι υπάρχει ένα καλύτερο φίλτρο λήψης που μεγιστοποιεί την αναλογία απόδοσης σήματος προς θόρυβο και επιπλέον μεγιστοποιεί τον εντοπισμό στόχου. Αυτό ονομάζεται εφάμιλλο φίλτρο. Έχει μια λειτουργία αντίδρασης συχνότητας ανάλογη με την πολύπλοκη ένωση του φάσματος, $S^*(f)$, του σήματος $S(t)$ του ραντάρ, όπου $S(f)$ είναι ο Fourier μετασχηματισμός του $S(t)$. Σχεδόν χωρίς εξαίρεση, κάθε δέκτη του ραντάρ σχεδιάζεται όπως το εφάμιλλο φίλτρο ή σαν μια κοντινή προσέγγιση.

Στατιστική θεωρία του εντοπισμού. Ο J. Marcum σε μια κλασική Rand Corporation αναφορά που γράφτηκε το 1947, επανεκδόθηκε το 1952 και δημοσιεύτηκε στο IRE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY το 1960, εξέφρασε καθαρά την ανάγκη να θεωρηθεί ο εντοπισμός του ραντάρ σε μια στατιστική βάση. Έδειξε ότι η πιθανότητα εντοπισμού έπρεπε να προσδιοριστεί πριν η αναλογία σήματος -θορύβου που απαιτείται στον δέκτη του ραντάρ μπορούσε να καθοριστεί. Αυτός επίσης έδειξε την ποσοτική αποτελεσματικότητα χρησιμοποιώντας ένα αριθμό παλμών για εντοπισμό. Πριν από αυτό πολλές προβλέψεις για την κατεύθυνση (ταχύτητα) του ραντάρ δεν περιείχαν σωστά την αναλογία σήματος -θορύβου έτσι ώστε η μετρημένη κατεύθυνση (ταχύτητα) των πραγματικών ραντάρ ήταν συχνά απογοητευτική απ' ότι προβλεπόμενη. Αν και η αναφορά του Marcum ήταν μη ταξινομημένη και ευρέως γνωστή στην κοινότητα των ραντάρ των Ηνωμένων Πολιτειών, ήταν περιορισμένης διανομής και το 1960 δημοσιεύτηκε πλήρως στο IRE TRANSACTIONS ON INFORMATION THEORY μαζί με την προέκταση του Peter Swerling σε κυμαινόμενους στόχους.

MTI θεωρία. Η αρχή του MTI ραντάρ συστήθηκε κατά τη διάρκεια του πολέμου, αλλά ήταν η κλασική Rand Corporation αναφορά του Emerson το 1954, η οποία παρείχε μια σταθερή θεωρητική εκτίμηση των ορίων του και έδειξε πώς τα MTI ραντάρ, τα είδη κυμάτων τους και η επεξεργασία, θα έπρεπε να σχεδιαστούν. Αυτός περιέγραψε την ιδέα του άριστου MTI φίλτρου, τη χρήση εγκάρσιων φίλτρων και αραιωμένων παλμικών επαναλαμβανόμενων συχνοτήτων. Η αναφορά του Emerson παρέμεινε ταξινομημένη για λίγο καιρό και δεν ήταν διαθέσιμη για να διαβαστεί. Από τότε από -ταξινομήθηκε και εκδόθηκε. Όταν η αναφορά ήταν ταξινομημένη ήταν αρχικώς "ακαδημαϊκού" ενδιαφέροντος, απ' τη στιγμή που η τεχνολογία επεξεργασίας των σημάτων δεν είχε προχωρήσει σε σημείο που η θεωρία μπορούσε να διαβαστεί. Πρακτικές εφαρμογές της θεωρίας έγιναν δυνατές το 1960 όταν MTI ακουστικές επιβραδυνόμενες γραμμές αντικαταστάθηκαν από ηλεκτρολογική (δακτυλική) επεξεργασία.

1960s

Το 1960 σημειώνεται για τις πρώτες μεγάλες ηλεκτρονικά κατευθυνόμενες θέσεις φάσεως και για το ξεκίνημα της στροφής προς τη ηλεκτρολογική διαδικασία αργά σ' αυτή τη δεκαετία. Το ραντάρ AN/SPS-33 εναέριος άμυνας με θέση φάσεως (τοποθετημένο σε 2 πλοία) του Ναυτικού των Ηνωμένων Πολιτειών και το ραντάρ AN/FPS-85 ανευρέσεως δορυφόρου της πολεμικής αεροπορίας των Ηνωμένων Πολιτειών τέθηκαν σε λειτουργία. Το AN/SPS-33 ήταν ένα ραντάρ σε θέση φάσεως και S-ζώνη συχνότητας με ηλεκτρονικούς μεταθετές φάσεως για να οδηγούν την ακτίνα στο αζιμούθιο καθώς η εξερεύνηση συχνότητας οδηγούσε την ακτίνα σε ανύψωση. Το AN/FPS-85 ήταν η πρώτη μεγάλη στρατιωτική σειρά που οδηγούσε την ακτίνα σε δύο γωνιακές συντεταγμένες με τη βοήθεια ηλεκτρονικών μεταθετών φάσεως. Η ανάπτυξη του AN/FPS-85 έδειξε επίσης τη σημαντικότητα του computer με πλήκτρα για τον έλεγχο ραντάρ με θέση φάσεως και ότι τα δεδομένα του computer μπορούν να είναι ένα σημαντικό μέρος του ολικού κόστους του συστήματος. Η ανάπτυξη της ηλεκτρολογικής τεχνολογίας στα τέλη του

1960 προκάλεσε μια στροφή στην επεξεργασία σήματος του ραντάρ, η οποία ακόμα συνεχίζεται. Η ηλεκτρολογική επεξεργασία επέτρεψε την πρακτική εφαρμογή της θεωρίας του ραντάρ που ήταν μόνο περιορισμένης χρήσεως όταν ανάλογες μέθοδοι ήταν οι μόνες διαθέσιμες.

Η ηλεκτρολογική τεχνολογία εισήχθη στο ραντάρ ήσυχα, χωρίς την υπερβολική έκθεση στην εμπορική βιβλιογραφία που μερικές φορές συνοδεύει καινούρια τεχνολογία.

Οι σχεδιαστές ήταν πολύ απασχολημένοι συγχωνεύοντας την ηλεκτρολογική διαδικασία στα ραντάρ τους και δεν είχαν ώρα ή την ανάγκη για να στενοχωριούνται για την γνωστοποίηση (διαφήμιση) της υπόσχεσης της. Εκτός από μερικά ανάλογα μηχανήματα παλμικής συμπίεσης σχεδόν όλη η επεξεργασία σήματος και δεδομένων στοιχείων είναι τώρα ηλεκτρολογική.

Οι ειδικές τροποποιήσεις σε ένα ΜΤΙ ραντάρ για να το επιτρέψουν να λειτουργήσει πάνω σ' ένα αεροσκάφος όπως ένα ΑΜΤΙ ραντάρ πραγματοποιήθηκαν κατά τη διάρκεια του 1960 με την ανάπτυξη του Ε2-ΑΕW ραντάρ του Ναυτικού το 1964. Η επιτυχία του ΑΜΤΙ ραντάρ οφείλεται στην χρήση του ΡΡCΑ και ΤΑCСΑR για ικανοποιητική κίνηση. Το ΑΜΤΙ αρχικά δοκιμάστηκε κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου αλλά πήρε σχεδόν 20 χρόνια για να εντοπίζει σίγουρα στόχους αεροσκαφών πάνω απ' το νερό μ' ένα ραντάρ πάνω Δε μια κινούμενη αποβάθρα (εξέδρα). Πήρε σχεδόν άλλα 10 χρόνια πριν η τεχνική του ΑΜΤΙ μπορούσε να επεκταθεί επιτυχημένα σε χερσαία λειτουργία όπου ο θόρυβος είναι πολύ μεγαλύτερος απ' ότι πάνω απ' τη θάλασσα. Κατά τη διάρκεια του 1960 το πειραματικό ΟΤΗ (πάνω απ' τον ορίζοντα) ραντάρ, ικανό για εντοπισμό στόχου μέχρι και 2000 nmί ή περισσότερο οδήγησε στην επίδειξη των ικανοτήτων του ΟΤΗ ραντάρ που συμπεριλάμβανε τον εντοπισμό αεροσκαφών, διηπειρωτικών, βαλλιστικών πυραύλων και πλοίων καθώς επίσης και στον προσδιορισμό της κατάστασης της θάλασσας και των συνθηκών του ανέμου πάνω απ' τον ωκεανό. Η εποχή των δορυφόρων που ξεκίνησε στα τέλη του 1950 επίσης εγκαινίασε τη χρήση του ραντάρ για εντοπισμό και ανίχνευση διαστημικών οχημάτων. Το πρώτο πειραματικό ραντάρ που χρησιμοποιήθηκε σ' αυτό το ρόλο ήταν το ΜΤ Lincoln Laboratory Millstone Hill UHF ραντάρ. Το ΑΝ/FPС-85, που αναφέρθηκε προηγουμένως ήταν το πρώτο στρατιωτικό σε θέση φάσεως που χρησιμοποιήθηκε για εντοπισμό και ανίχνευση διαστημικών αντικειμένων. Το Spasur σύστημα που αποτελείται από τρία VHF ραντάρ υψηλής δύναμης και είναι τοποθετημένο στο νοτιότερο μέρος των Ηνωμένων Πολιτειών, χρησιμοποιήθηκε για να εντοπίζει δορυφόρους που διασχίζουν τις Ηνωμένες Πολιτείες. Ένα μετριοπαθές, αλλά πρωτότυπο ραντάρ ήταν τοποθετημένο στο διαστημόπλοιο Gemini για απόδειξη συνάντησης ανάμεσα σ' ένα διαστημόπλοιο και άλλα διαστημικά αντικείμενα.

Η συγχώνευση (ενσωμάτωση) του ECCM για να μετράει τα βλαβερά αποτελέσματα (επιδράσεις) εχθρικών εμπλοκών, άρχισε να προκαλεί ενδιαφέρον το 1960. Τα ραντάρ του συστήματος Nike-Hercules AAW του στρατού (τώρα διαθέσιμα στη πλεονάζουσα αγορά), ήταν ένα καλό παράδειγμα της φιλοσοφίας του ECCM ραντάρ εκείνο τον καιρό. Περιείχε ένα ραντάρ εναέριας παρακολούθησης με L-ζώνη συχνότητας το οποίο λειτουργούσε με υψηλή μέση δύναμη, είχε πολεμικές αποθεματικές συχνότητες, χρησιμοποιούσε μια μεγάλη κεραία και έχει cancelers με πλάγιες προεξοχές. Επιπλέον λειτουργούσε συνδεδεμένο μ' έναν **##** ύψους με κεκλιμένη ακτίνα και S-ζώνη συχνότητας, με ιχνηλάτες X-ζώνης συχνότητας και μ' ένα ραντάρ μόνο κατεύθυνσης (ταχύτητας) με K-ζώνη συχνότητας, το οποίο έκανε το ECM ακόμα πιο δύσκολο.

Η σύσταση (είσοδος) του ομοαξονικού magnetron βελτίωσε την εκτέλεση του magnetron ταλαντωτή δύναμης (ισχύος), ειδικά την σταθερότητά του. Αυτό σχεδόν αντικατέστησε εντελώς το τυπικό (συνηθισμένο) magnetron σε εφαρμογές όπου ένας μετριοπαθής αγωγός μέσης δύναμης είναι η προτιμότερη πηγή δύναμης (ισχύος).

1970s

Η αυξανόμενη ικανότητα της ηλεκτρολογικής επεξεργασίας που άρχισε στα τέλη του 1960 επιταχύνθηκε το 1970. Η ηλεκτρολογική ΜΤΙ επεξεργασία επέτρεψε τη χρήση ενός μεγάλου αριθμού παλμών για να κατορθωθούν τα επιθυμητά χαρακτηριστικά του ΜΤΙ (ντόπλερ) φίλτρου. Η αραιωμένη ΜΤΙ παλμική επαναλαμβανόμενη συχνότητα έγινε πρακτική. Ο

αυτόματος εντοπισμός και ανίχνευση (ADT), ξεκίνησε στο 1950 με κενούς αγωγούς (σωλήνες) στο SAGE σύστημα που ωφελήθηκε αξιόλογα απ' την σμίκρυνση σε μέγεθος και απ' την αύξηση σε ικανότητα που προσφέρθηκε από μικρό-κομπιούτερ. Με την τεχνολογία του κομπιούτερ του 1970, οποιοδήποτε ραντάρ μπορούσε να έχει το δικό του ADT. Η πληκτρολογική επεξεργασία μπορούσε να χρησιμοποιηθεί στο SAR για να κατορθωθεί εναέρια χαρτογράφηση σε πραγματική ώρα αντί να πρέπει να καταγράφεις στον αέρα και να επεξεργάζεσαι στο έδαφος όπως ήταν απαραίτητο με την οπτική επεξεργασία.

Μπροσ-πίσω δέκτες με χαμηλό θόρυβο επιδείχθηκαν αρχικά το 1950, αλλά τα masers και οι παραμετρικοί ενισχυτές που ήταν διαθέσιμοι τότε δεν ήταν πολύ ελκυστικοί για τις περισσότερες εφαρμογές του ραντάρ. Πήρε πάνω από 20 χρόνια για τον τρανζίστορ ενισχυτή να γίνει προτιμότερη τεχνική το 1970 όταν απαιτούνταν ένας με χαμηλό θόρυβο.

Η πρακτικότητα υψηλής ανάλυσης παλμικής συμπίεσης αυξήθηκε κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας με τη σύσταση των SAN αργοπορημένων γραμμών όπως η προτιμότερη προσέγγιση για συμπιεσμένους παλμούς διάρκειας λίγων δέκατων του δευτερολέπτου.

Σημαντικές πρόοδοι έγιναν στο ραντάρ εναέριας παρακολούθησης με την άνοδο του E2 (AEW) αντί του Ναυτικού σε μια χερσαία ικανότητα με την χρήση βελτιωμένης επεξεργασίας σήματος και με την είσοδο του E3 (AWACS) παλμικού (ντόπλερ) ραντάρ της πολεμικής αεροπορίας. Η επιτυχία του εναέριου παλμικού (ντόπλερ) ραντάρ βασίζεται στο να υπάρχει μια κεραία με πολύ χαμηλές πλάγιες προεξοχές έτσι ώστε να μην φωτίζει (τονίζει) μεγάλους ανεπιθύμητους θορύβους. Η επίδειξη απ' το Westing house τις κεραίες με πολύ χαμηλές πλάγιες προεξοχές είναι ένας απ' τους κύριους παράγοντες που έκανε δυνατή τη λειτουργία του εναέριου παλμικού (ντόπλερ) ραντάρ. Οι κεραίες με χαμηλές πλάγιες προεξοχές είναι επίσης επιθυμητές σε εφαρμογές όπου αναμένεται εμπλοκή.

Ένα ενδιαφέρον υπό-παράγωγο της ανάπτυξης του ραντάρ την εποχή του Βιετνάμ που προόδευε κατά τη διάρκεια του 1970 ήταν η χρήση του VHF ραντάρ ευρείας συχνότητας για υπόγειο εντοπισμό. Στις πολιτικές του εφαρμογές αυτή η τεχνολογία του ραντάρ έχει χρησιμοποιηθεί για εντοπισμό υπόγειων αγωγών και συρμάτων, όπως επίσης και για επιστημονικούς σκοπούς.

Στο διάστημα, το ραντάρ χρησιμοποιήθηκε για να βοηθήσει την προσγείωση του Apollo στο φεγγάρι και χρησιμοποιήθηκε σε δορυφόρους ως ένα υψόμετρο (όργανο) για να μετράει την γεωειδές και εδαφική σκληρότητα και ως ένα scatterometer για τον καθορισμό εδαφικής σκληρότητας. Το Cobra Dane ραντάρ της πολεμικής αεροπορίας είναι ένα παράδειγμα ενός μεγάλου, εύκαμπτου ραντάρ υψηλής ανάλυσης που σχεδιάστηκε για να παρατηρεί και να ανιχνεύει επιστρεφόμενους διηπειρωτικούς, βαλλιστικούς πυραύλους. Το ραντάρ επίσης ήταν σημαντικό για την καθοδήγηση πυραύλων, όπως χρησιμοποιήθηκε για τα Hagroon και Tomahawk συστήματα.

1980s

Είναι φυσικά πρόωρο να πούμε τι θα χαρακτηρίσει τις αναπτύξεις του ραντάρ της τωρινής δεκαετίας. Υπάρχουν όμως, κάποιες τάσεις (κλήσεις). Αυτή θα είναι η δεκαετία όταν οι ελπίδες των ιδρυτών μεγάλων θέσεων φάσεως θα εξεταστούν (δοκιμαστούν) απ' το Patriot του στρατού, το Aegis του ναυτικού και τα B-1B της πολεμικής αεροπορίας. Μεταδότες σε στερεή (συμπαγή) κατάσταση συστήνονται (εισάγονται) με L-ζώνη συχνότητας και πιο κάτω σε ραντάρ όπως το Marine Corps AN/ TPS-59 των Ηνωμένων Πολιτειών, το AN/ FPS-117 της πολεμικής αεροπορίας και το Marconi Martello. Το Pave Paws της πολεμικής αεροπορίας (με UHF συντονιστές ρυθμιστές) μεταδότη/ δέκτη σε στερεή κατάσταση σε κάθε στοιχείο μιας μεγάλης θέσης φάσεως, και το VHF spsur δορυφορικό σύστημα παρακολούθησης (το οποίο απαιτεί μια συνολική μέση δύναμη της σειράς του 1 MW). Η παλμική (ντόπλερ) επεξεργασία προστίθεται στο ραντάρ καιρού (Nexrad) για να αποκτήσει ένα συστατικό (συνισταμένη) της ταχύτητας του ανέμου. Με τη σύσταση (εισαγωγή) του VHSIC αργότερα σ' αυτή τη δεκαετία αναμένεται ότι βελτιωμένες ικανότητες της επεξεργασίας σήματος θα κατορθωθούν. Στο μέλλον, το ραντάρ ίσως να είναι ικανό να αποκτάει περισσότερες πληροφορίες για τη φύση του στόχου απ' ότι απλώς για την τοποθεσία. Ο τομέας της ασαφή (αδύνατης) εκτίμησης του περιβάλλοντος ενδιαφέρεται ειδικά με την απόσπαση πληροφοριών του στόχου. Υπάρχει επίσης μια

δραστηριότητα του ραντάρ στο διάστημα για ασαφή (αδύνατη) εκτίμηση, ειδικά το SAR που χρησιμοποιείται απ' το Shuttle.

Εξέλιξη (πορεία) των εφαρμογών του ραντάρ

Η αρχική ανάπτυξη του ραντάρ ήταν το αποτέλεσμα στρατιωτικών ενδιαφερόντων και οι περισσότερες απ' τις κύριες αναπτύξεις που συνέβησαν κατά τη διάρκεια των 50 χρόνων του ραντάρ ήταν στην αρχή και χρηματοδοτήθηκαν από στρατιωτικές ανάγκες. Το ραντάρ χρησιμοποιείται στο στρατό για παρακολούθηση και ανίχνευση εναέριων, θαλάσσιων, χερσαίων και διαστημικών στόχων από εναέριες, θαλάσσιες, χερσαίες και διαστημικές εξέδρες (αποβάθρες). Είναι σημαντικό ένα στρατιωτικό ραντάρ να είναι ικανό να εκτελεί την αποστολή του ακόμα και αν υπάρχουν εχθρικές συνθήκες, ηλεκτρονικές καταμετρήσεις και ακόμα και αν είναι στόχος για εχθρικά όπλα. Πρέπει να είναι διαθέσιμο για χρήση όταν χρειάζεται. Αντίθετα με τα πολιτικά ραντάρ, τα στρατιωτικά ραντάρ πρέπει να είναι ικανά να εντοπίζουν στόχους που προσπαθούν να αποφύγουν εντοπισμό, π.χ. εκείνους που πετάν πολύ χαμηλά, πολύ ψηλά ή πολύ γρήγορα.

Πολλές απ' τις τεχνικές και εφαρμογές του ραντάρ που αναπτύχθηκαν πρώτα για το στρατό βρήκαν το δρόμο τους και στον πολιτικό τομέα. Η τεχνολογία του ραντάρ είχε σημαντική επίδραση και σε άλλες τεχνολογίες περιλαμβάνοντας τις επίγειες και δορυφορικές τηλεπικοινωνίες, συστήματα ναυσιπλοΐας, τις ηλεκτρονικές καταμετρήσεις, τα αισθητικά όργανα βιομηχανικού ελέγχου, την ραδιο-αστρονομία και τη φασματοσκοπία μικροκυμάτων.

Μια ενδιαφέρουσα πολιτική εφαρμογή του ραντάρ είναι η ασαφής (ή αδύνατη) εκτίμηση του περιβάλλοντος. Αυτό περιλαμβάνει τέτοιες εφαρμογές "ρουτίνας" όπως παρατήρηση του καιρού και της ιονοσφαιρικής βυθομέτρησης, δύο εφαρμογές όπου ο μηχανικός του ραντάρ πιθανόν δεν ήταν ενήμερος του όρου "ασαφής (ή αδύνατη) εκτίμηση του περιβάλλοντος" όταν αυτοί οι εξοπλισμοί πρωτοεμφανίστηκαν και αναπτύχθηκαν. Το ίδιο είναι πιθανόν αλήθεια για εκείνους που πρώτο-χρησιμοποίησαν ραντάρ για την έρευνα μετεώρων και αυγής. Η ασαφής (ή αδύνατη) εκτίμηση απ' το διάστημα έχει θεωρηθεί για πολλές εφαρμογές και κάμποσα διαφορετικά συστήματα ραντάρ που έχουν εξεταστεί για διάφορους σκοπούς. Εμπορικές εφαρμογές του ραντάρ (εκείνες όπου ένας επενδυτής είναι πρόθυμος να ρισκάρει το κεφάλαιό του με επιστροφή κάποιου νομισματικού κέρδους) ήταν σπάνιες αλλά υπάρχουν δύο που ίσως αναφερθούν

- 1) Οι εταιρείες πετρελαίου στο παρελθόν έχουν χρησιμοποιήσει τυπικό ραντάρ υψηλής ανάλυσης και ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα για τον προσδιορισμό περιοχών του κόσμου όπου γεωλογικά χαρακτηριστικά υπόσχονται παρακαταθήκες λαδιού, και
- 2) Εταιρείες παραγωγής ηλεκτρισμού χρησιμοποιούν ραντάρ ώθησης (ορμής) υψηλής ανάλυσης για να εξερευνούν υπόγεια για κρυμμένους αγωγούς και γραμμές δύναμης. Το ραντάρ έχει επίσης αποδειχτεί να έχει σημαντική αξία στην ορνιθολογία και εντομολογία.

Το ραντάρ που είναι βασισμένο στο έδαφος χρησιμοποιείται για ανίχνευση αεροσκαφών καθ' οδό και στα κυριότερα αεροδρόμια του κόσμου για τον ασφαλή έλεγχο της εναέριας κυκλοφορίας. Το εμπορικό εναέριο ραντάρ παρέχει το ύψος του αεροσκάφους, δείχνει περιοχές βροχής για να αποφευχθούν, καθορίζει την ορισμένη κατά μήκος και διεύθυνση ταχύτητα του αεροσκάφους και αναγνωρίζει (εξακριβώνει) εδαφικά χαρακτηριστικά. Όλα τα μεγάλα πλοία στη θάλασσα κουβαλούν ένα ή περισσότερα ραντάρ για αποφυγή σύγκρουσης και ναυσιπλοΐα. Αυτά είναι ανάμεσα στα φθηνότερα ραντάρ, είναι τα πιο αξιόπιστα και απ' τα πιο ευρέως χρησιμοποιημένα. Υπάρχει επίσης φυσικά το γνωστό και ευρέως χρησιμοποιημένο αστυνομικό ραντάρ για την μέτρηση της ταχύτητας των οχημάτων. Στο διάστημα, τα ραντάρ χρησιμοποιούνται για συνάντηση διαστημοπλοίων, είσοδο και προσγείωση, όπως επίσης και για εκτίμηση του περιβάλλοντος της γης και πλανητική εξερεύνηση.

Στρατιωτικά ραντάρ του 1980ς

Οι εικόνες μέχρι 29 είναι ένα δείγμα των ραντάρ που λειτουργούν τώρα, ή που θα λειτουργήσουν κατά τη διάρκεια αυτής της δεκαετίας. Τα παραδείγματα που δείχνονται δεν είναι όλα αυτά που θα μπορούσαν να είχαν συμπεριληφθεί. Ο συγγραφέας ζητάει συγγνώμη εκ των προτέρων για οποιεσδήποτε αμελείς παραλείψεις. Τα ραντάρ που εξηγούνται στα άλλα χαρτιά γι' αυτό το θέμα δεν συμπεριλαμβάνονται εδώ.

Το μέλλον του ραντάρ

Είναι σχετικά εύκολο να προβλέψεις τι ίσως να είναι διαθέσιμο στα συστήματα του ραντάρ για να αναπτυχθεί από τρία ως πέντε χρόνια απ' τη στιγμή που αυτά τα συστήματα είναι ήδη στο αναπτυξιακό αγωγό (μερικές φορές παίρνει μέχρι και 15 χρόνια ή περισσότερα απ' την αρχή της ανάπτυξης ως την εκτεταμένη λειτουργία σ' αυτό τον τομέα). Απ' την άλλη μεριά, δεν είναι εύκολο να προβλέψεις το μακροπρόθεσμο μέλλον μιας τεχνολογίας όπως το ραντάρ. Είναι ανόητο να προσπαθήσεις να το κάνεις εκτός και αν είναι γραμμένο με εξαφανιζόμενη μελάνη. Μια απ' τις δυσκολίες στη πρόβλεψη του μέλλοντος του ραντάρ είναι ότι απρόοπτες αναπτύξεις μπορούν να εμφανισθούν από μια καινούρια τεχνολογία που δεν ήταν γνωστή πριν. Αυτό έχει συμβεί πολλές φορές. Παραδείγματα του παρελθόντος τέτοιων απρόβλεπτων αναπτύξεων συμπεριλαμβάνουν τον Klystron ενισχυτή υψηλής δύναμης, σιδηρομαγνητικά υλικά, το τρανζίστορ, τον ενισχυτή χαμηλού θορύβου, SANαργοποιημένες γραμμές, μαγνητικό όργανο καταγραφής ευρείας ζώνης συχνότητας, μικρό-κομπιούτερ και η τεχνολογία ηλεκτρολογικής επεξεργασίας. Θα έπρεπε να αναμένεται ότι το μέλλον θα προσφέρει άλλα παραδείγματα των τώρα άγνωστων αναπτύξεων από άλλες τεχνολογίες που ίσως να έχουν μια βαθιά επιρροή στα μελλοντικά ραντάρ. Επίσης, καινούριες ανάγκες εμφανίζονται που ήταν πριν απροσδόκητες, όπως εκείνες που εμφανίστηκαν με τη σύσταση του δορυφόρου και τη χρήση του διαστήματος. Απ' το να μαντέψεις ποιο θα είναι το μέλλον του ραντάρ, θεωρείται σοφότερο να περιγράψεις μερικά απ' τα επίκαιρα τεχνικά θέματα που έχουν σχέση με το ραντάρ και μπορούν να έχουν επίδραση σε μελλοντικές ικανότητες.

Σημαντικά γεγονότα του ραντάρ

- Τα πειράματα του Heihrich Hertz το 1888που αρχικά επέδειξαν τα αντανακλώμενα χαρακτηριστικά των ραδιοκυμάτων.
- Το βαρύ στρατιωτικό βομβαρδιστικό αεροπλάνο μεγάλης κατεύθυνσης που εμφανίστηκε στις αρχές του 1930, το οποίο ήταν πρόκληση για στρατιωτικό ραντάρ.
- Ο μη σχεδιασμένος εντοπισμός αεροσκαφών σε πολλές χώρες κατά τη διάρκεια του 1930 με υπάρχων εξοπλισμό ράδιο-τηλεπικοινωνιών, που έδειχναν ότι τα ραδιοκύματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον εντοπισμό αεροσκαφών.
- Η επιτυχημένη επίδειξη απ' το NRL το 1936 του VHF μονοστατικού παλμικού ραντάρ χρησιμοποιώντας μια μονή κεραία με duplexer.
- Η ανάπτυξη το 1926 του Γερμανικού πολεμικού σκάφους Graf Spee του 375-MHz Septakt ραντάρ.
- Το Chain Home δίκτυο ραντάρ, αποτελούμενο από επτά θέσεις του ραντάρ για την άμυνα της Αγγλίας, τοποθετημένο το 1938 και το οποίο έπαιξε ένα ρόλο κλειδί στη μάχη της Βρετανίας κατά τη διάρκεια του 1940.
- Το 200-MHz CXAM, το πρώτο των Ηνωμένων Πολιτειών ναυτικό ραντάρ πάνω σε πλοίο, που κατασκευάστηκε το 1939.
- Το 100-MHz SCR-70, το πρώτο ραντάρ έρευνας αέρα του στρατού των Ηνωμένων Πολιτειών που κατασκευάστηκε το 1939.

- Η εφεύρεση του magnetron υψηλής δύναμης στην Αγγλία το 1939, το οποίο οδήγησε τις συχνότητες μικροκυμάτων σε πρακτική ανάπτυξη του ραντάρ.
- Το 500-MHz ASB εναέριο ραντάρ, που εμφανίστηκε το 1940, ευρέως χρησιμοποιημένο κατά τη διάρκεια του 2^{ου} παγκοσμίου πολέμου για έρευνα εδάφους –αέρος.
- Η ίδρυση του ΜΤΙ εργαστηρίου ακτινοβολίας που αφιερώθηκε στην ανάπτυξη του ραντάρ μικροκυμάτων.
- Η εφαρμογή της αντανάκλασης Klystron σαν τον τοπικό ταλαντωτή για τον υπερετερόδουνο δέκτη, κάνοντας τους δέκτες μικροκυμάτων να είναι ευαίσθητοι και αρμονικοί.
- Ο SCR-584 ιχνηλάτης ιονικής ανίχνευσης που αναπτύχθηκε το 1944. Ο πρώτος ιχνηλάτης μικροκυμάτων χρησιμοποιήθηκε απ' το στρατό των Ηνωμένων Πολιτειών για τον ακριβή έλεγχο αντιαεροπορικού πυροβολικού.
- Η εφεύρεση της μόνο-παλμικής ανίχνευσης το 1942 που οδήγησε στην ανάπτυξη του AN/ FPS-16 ιχνηλάτη (ή ανιχνευτή) ακριβείας.
- Η ανάπτυξη του ΜΤΙ ραντάρ.
- Η έκδοση των τόμων της σειράς του ΜΤΙ εργαστηρίου ακτινοβολίας πάνω στο ραντάρ.
- Τα μεγάλα VHF και UHF ραντάρ στα τέλη του 1950, ένα παράδειγμα του οποίου ήταν το VHF AN/ FPS-24 ραντάρ εναέριας παρακολούθησης με μια κεραία περίπου 120ft φάρδος, από 20ft ύψος και μια μέση δύναμη 25KW.
- Το Bomarc αέρος –αέρος ραντάρ καθοδήγησης αεροσκάφους χωρίς πιλότο, το οποίο πρώτα επέδειξε στα τέλη του 1950 το παλμικό (ντόπλερ) ραντάρ υψηλής συχνότητας επαναλαμβανόμενων παλμών σ' ένα τρόπο κατάρριψης αεροπλάνων.
- Η θεωρία εντοπισμού του ραντάρ του Marcum, η οποία παρείχε μια ποσοτική σχέση ανάμεσα στη πιθανότητα εντοπισμού, στη πιθανότητα λάθος συναγερμού, στην ολοκληρωτική απώλεια και στην απαιτούμενη αναλογία σήματος –θορύβου.
- Η σύσταση του Klystron ενισχυτή υψηλής δύναμης στο ραντάρ το 1950.
- Το BMEWS, ένα μεγάλο UHF ραντάρ εντοπισμού διηπειρωτικών βαλλιστικών πυραύλων, τοποθετημένο το 1960, που παρείχε μια μεγάλη αύξηση στις ικανότητες κατεύθυνσης (ταχύτητας) του ραντάρ.
- Το ραντάρ με σύνθετο άνοιγμα, πρώτα επιδείχτηκε στις αρχές του 1950 και το οποίο συνεχώς προόδευε σε ικανότητα ανάμεσα στα χρόνια.
- Ο AN/ FPS-6 ευρέτης ύψους με κεκλιμένη ακτίνα και S-ζώνη συχνότητας, ακόμα μία απ' τις πιο ακριβείς και φθηνές μεθόδους για καθορισμό του ύψους των αεροσκαφών.
- Η επιτυχημένη εφαρμογή του ΑΜΤΙ (εναέρια ένδειξη κινούμενου στόχου) με την ανάπτυξη του ΕΖΑ του ναυτικού στα μέσα του 1960.
- Η επίδειξη του HF πάνω απ' τον ορίζοντα ραντάρ το 1960 για τον εντοπισμό αεροσκαφών και πλοίων.
- Η ανάπτυξη του μοντέρνου καθ' οδό ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας στις αρχές του 1960.
- Η εφεύρεση του ομοαξονικού magnetron στα τέλη του 1960.
- Το AN/ FPS-85 UHF δορυφορικό ραντάρ παρακολούθησης μεγάλης κατεύθυνσης τοποθετημένο στα τέλη του 1960, το πρώτο παράδειγμα μιας μεγάλης θέσης φάσεως χρησιμοποιώντας ηλεκτρολογικούς μεταθετές φάσεως για να κατευθύνουν την ακτίνα σε δύο ίσες γωνίες και το οποίο επιστράτην προσοχή στο κομπιούτερ σαν ένα κύριο συστατικό των θέσεων φάσεως.
- Το ηλεκτρολογικό ΜΤΙ, ξεκινώντας στα τέλη του 1960.
- Η χρήση του μικρό –κομπιούτερ στις αρχές του 1970 για ΑΔΤ.
- Κεραίες με πολύ χαμηλές πλάγιες προεξοχές, όπως επιδείχτηκαν στο ΑWACS.
- Εντοπισμός αεροσκαφών στην ξηρά με το ναυτικό Ε2C ΑEW και το Ε3Α ΑWACS της πολεμικής αεροπορίας.
- Επίδειξη υψηλής διαθεσιμότητας με FAA ραντάρ ελέγχου εναέριας κυκλοφορίας.
- Το ΑWG-9, ανιχνεύει καθώς εξερευνεί, εναέριο παλμικό (ντόπλερ) ραντάρ ανίχνευσης πολλαπλών στόχων μεγάλης κατεύθυνσης.

- Το σύστημα εντοπισμού κινούμενου στόχου (MTD) επιδείχτηκε απ' το MTI Lincoln εργαστήριο.
- Χρήση ενός μεταδότη στο AN/TPS-59.
- Το Harpoon ραντάρ καθοδήγησης πυραύλων στα τέλη του 1970.
- Ακέραιο (πλήρης) ADT, όπως στο AN/ SYS-1 στις αρχές του 1980.
- Διαδοχική παραγωγή των Aegis και Patriot ραντάρ.

Η λίστα δεν τελειώνει. Καινούριες και σημαντικές αναπτύξεις του ραντάρ μπορούν να αναμένονται στο μέλλον όπως και καινούριες εφαρμογές, καινούριες τεχνολογίες και καινούριες ικανότητες του ραντάρ αναπτύσσονται.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

ΕΡΓΑΣΙΑ ΦΟΙΤΗΤΗ : ΛΑΜΠΡΟΥ ΓΚΙΚΟΝΤΗ πανεπιστήμιο Κρήτης
users.physics.uoc.gr/~gts/teaching/06reports/gikontis.doc

ΤΟ ΒΙΒΛΙΟ ΤΙΣ ΣΧΟΛΗΣ RADAR
ΖΑΧΑΡΙΑ Δ. ΤΣΟΥΚΑΛΑ καθηγήτρια Α.Δ.Σ.Ε.Ν. Ασπροπυργου
ιδρυμα Ευγενιδου 1954

ΤΟ ΒΙΒΛΙΟ ΤΙΣ ΣΧΟΛΗΣ RADAR εκδωση 2011
ΓΕΡΑΣΙΜΟΥ Σ. ΛΙΝΑΡΔΑΤΟΥ
ΔΙΟΝΥΣΙΟΥ Σ. ΛΙΝΑΡΔΑΤΟΥ
ιδρυμα Ευγενιδου 1954

ΝΕΑ ΔΟΜΗ (νεοελληνική εγκυκλοπαίδεια)Χρονολογία έκδοσης : 1999

ΕΡΓΑΣΙΑ ΦΟΙΤΗΤΗ :ΓΙΩΡΓΟ ΤΟΥΡΟΥΤΟΓΛΟΥ Τ.Ε.Ι. Κρήτης
<http://nefeli.lib.teicrete.gr/browse/stef/hlk/2001/touroutogloy/attached-document/2001touroutogloy.pdf>

1. <http://sfrang.com/historia/selida621.htm>