

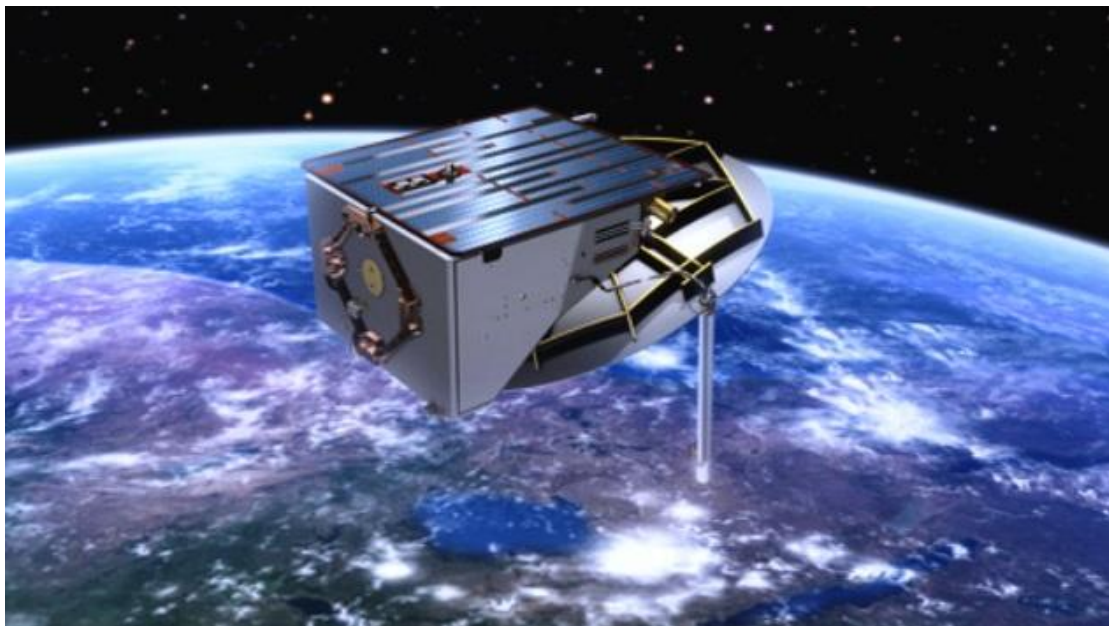


**ΕΘΝΙΚΟ ΜΕΤΣΟΒΙΟ ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ**



**ΔΙΑΤΜΗΜΑΤΙΚΟ ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΟ ΠΡΟΓΡΑΜΜΑ**  
**ΜΑΘΗΜΑΤΙΚΗ ΠΡΟΤΥΠΟΠΟΙΗΣΗ ΣΤΙΣ ΣΥΓΧΡΟΝΕΣ**  
**ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΚΑΙ ΤΗΝ ΟΙΚΟΝΟΜΙΑ**

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ  
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΡΑΝΤΑΡ  
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ



ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Κ. ΣΚΟΥΛΑΡΙΚΗΣ

Επιβλέπων : ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΦΡΑΓΚΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ 2014

ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗΣ ΕΔΑΦΟΥΣ ΜΕ ΤΗ ΒΟΗΘΕΙΑ  
ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ ΠΟΥ ΠΡΟΕΡΧΟΝΤΑΙ ΑΠΟ ΡΑΝΤΑΡ  
ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ

ΜΕΤΑΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Κ. ΣΚΟΥΛΑΡΙΚΗΣ

**Επιβλέπων :** ΠΑΝΑΓΙΩΤΗΣ ΦΡΑΓΚΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

Εγκρίθηκε από την τριμελή εξεταστική επιτροπή τον ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟ 2014

.....  
Π. ΦΡΑΓΚΟΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

.....  
Π. ΣΤΕΦΑΝΕΑΣ  
ΛΕΚΤΟΡΑΣ Ε.Μ.Π.

.....  
Α. ΠΑΝΑΓΟΠΟΥΛΟΣ  
ΕΠ. ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ Ε.Μ.Π.

ΑΘΗΝΑ ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014

Copyright © ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Κ. ΣΚΟΥΛΑΡΙΚΗΣ, 2014

Με επιφύλαξη παντός δικαιώματος. All rights reserved.

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

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

# ΠΕΡΙΛΗΨΗ

Η συγκεκριμένη διπλωματική εργασία πραγματεύεται τις τεχνικές ταξινόμησης διάφορων εδαφικών περιοχών (αστικές περιοχές, καλλιεργημένες εκτάσεις, θαλάσσιες περιοχές κλπ) χρήσει δορυφορικών εικόνων (SAR εικόνων) που προέρχονται από ραντάρ συνθετικής απεικόνισης. Το ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR) παρέχει την μοναδική δυνατότητα απεικόνισης υψηλής ανάλυσης της επιφάνειας της γης υπό οποιεσδήποτε καιρικές συνθήκες ανεξαρτήτου ημέρας ή νύχτας.

Ο σκοπός της διπλωματικής εργασίας είναι η ταξινόμηση των εδαφικών περιοχών (terrain analysis) χρήσει των διαφορετικών υπογραφών που παράγει καθεμία περιοχή ξεχωριστά σύμφωνα με τη θεωρία των fractals (fractal signature και fractal dimension) για ένα αντιπροσωπευτικό δείγμα περιοχών.

Ειδικότερα, στο 1<sup>ο</sup> κεφάλαιο αναφέρονται μερικές εισαγωγικές έννοιες πάνω στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης και στη φύση του H/M κύματος που αποτελεί τη γενεσιουργό αιτία όλων των παραγόμενων εικόνων. Επιπλέον, τονίζεται η σημασία της φωτοερμηνείας που επιτελείται στα πλαίσια της αξιολόγησης μιας εικόνας (δορυφορικής εικόνας ή αεροφωτογραφίας) ενώ αναπτύσσεται ο τρόπος και τα μέσα με τα οποία υλοποιείται και εκτελείται η διαδικασία της φωτοερμηνείας.

Στο 2<sup>ο</sup> κεφάλαιο ύστερα από τις εισαγωγικές έννοιες εμβαθύνουμε στο αντικείμενο του ραντάρ δίνοντας περισσότερες λεπτομέρειες όσον αφορά την εξίσωση του ραντάρ, την αρχή λειτουργίας του και το φαινόμενο Doppler. Στη συνέχεια εξετάζουμε το ραντάρ συνθετικής απεικόνισης μελετώντας την εξίσωση του και υπολογίζοντας την διακριτική ικανότητα του.

Στο 3<sup>ο</sup> κεφάλαιο εξετάζουμε αναλυτικά και συγκρίνουμε δύο τύπους δορυφόρων SAR υψηλής διακριτικής ικανότητας. Οι δορυφόροι αυτοί είναι ο γερμανικής κατασκευής Terra SAR-X και ο καναδικής κατασκευής RadarSAT-2. Ειδικότερα, αναλύονται η αρχή λειτουργίας, τα χαρακτηριστικά και η απεικόνιση των εικόνων που παράγονται ως προϊόντα λειτουργίας τους.

Στο 4<sup>ο</sup> κεφάλαιο γίνεται εφαρμογή ενός αλγορίθμου προγραμματισμένου σε κώδικα Matlab πάνω σε μια σειρά SAR εικόνων διαφορετικών περιοχών, έτσι ώστε να ταξινομήσουμε τις διάφορες εδαφικές περιοχές που εμφανίζονται πάνω σε αυτές τις εικόνες και να αποδώσουμε ξεχωριστές υπογραφές και χαρακτηριστικά σε καθεμία από αυτές.

Τέλος, στο 5<sup>ο</sup> κεφάλαιο εξάγουμε ορισμένα χρήσιμα συμπεράσματα από την εφαρμογή του προαναφερθέντος αλγορίθμου, ενώ αναλύουμε τους λόγους και τα αίτια για τα οποία προέκυψαν οι διάφοροι τύποι εδαφικών περιοχών από την εφαρμογή του προαναφερθέντος αλγορίθμου.

## ΛΕΞΕΙΣ ΚΛΕΙΔΙΑ

FRACTAL, ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ, ΡΑΝΤΑΡ, ΔΙΑΚΡΙΤΙΚΗ ΙΚΑΝΟΤΗΤΑ, ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ, ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΕΔΑΦΟΥΣ, SAR ΕΙΚΟΝΕΣ, ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER, ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ, ΑΝΑΛΥΣΗ.

# ABSTRACT

This study analyses a number of classification methods for various and different terrain areas (rural areas, sea etc) using satellite images (SAR images) which come from Synthetic Aperture Radars. Synthetic Aperture Radar provides the unique possibility of resolution of high analysis earth's surface under any meteorological conditions day or night.

The purpose of this thesis is the classification of specific terrains (terrain analysis) with the use of different signatures that are being produced from each region separately according to the theory of fractals (fractal signature and fractal dimension). The aforementioned process is being made for representative sample areas.

In particular, in the beginning chapter (1<sup>st</sup> chapter) we present some basic concepts in the science of Remote Sensing as long as the nature of the E / M wave, which is the root cause of all the produced images. Furthermore, we stress the importance of photo interpretation done within the evaluation of an image (satellite image or aerial photo) while we grow the ways and means by which it is implemented and enforced by the process of photo-interpretation.

In the 2<sup>nd</sup> chapter, after the introductory concepts, we deepen the subject of radar giving more details on the radar equation, the radar operating principle and the phenomenon Doppler theory. We then examine the synthetic radar imaging studying the equation and calculating the discretionary ability.

In the 3<sup>th</sup> chapter we examine, compare and contrast two (2) types-models of SAR satellites which have high resolution image-products. These satellites are the germane origin TERRA-SAR X and the Canadian origin RadarSat-2. As part of their descriptions, are being analyzed the characteristics, the function and the image-products that are being produced from their function.

In the 4<sup>th</sup> chapter we apply a Matlab encoded algorithm in a series of SAR images from different terrain areas, in order to classify the various terrain areas that appear in these images. Furthermore, we give with this manner different signatures and characteristics individually in each of these images.

Finally, in the last chapter (5<sup>th</sup> chapter) we borrow the algorithm's results to extract some useful conclusions, whereas we finish our study analyzing the reasons that gave birth to these results (referring to the different terrain areas) of the aforementioned algorithm.

## KEY WORDS

FRACTAL, REMOTE SENSING, RADAR, CROSS RANGE RESOLUTION, DEPICTION, TERRAIN CLASIFICATION, SAR IMAGES, DOPPLER EFFECT, SATELLITE, ANALYSIS.

# ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Ευχαριστώ θερμά τον Καθηγητή κ. ΠΑΝΑΓΙΩΤΗ ΦΡΑΓΚΟ για την άριστη συνεργασία που είχαμε στα πλαίσια της διπλωματικής εργασίας, όπως και για την εμπιστοσύνη που μου έδειξε για την ανάθεσή της. Ακόμη, πρέπει να τον ευχαριστήσω για την αμέριστη συμπαράσταση και τις γνώσεις που μου παρείχε καθ' όλη τη διάρκεια της εκπόνησης της διπλωματικής εργασίας καθώς ήταν πάντα διαθέσιμος να με δια φωτίσει σε θέματα της ακαδημαϊκής του εξειδίκευσης ανά πάσα στιγμή, παρά τον εξαιρετικά ογκώδη ερευνητικό φόρτο που έχει αναλάβει.

Ευχαριστώ επίσης θερμότατα τον Καθηγητή κ. ΠΕΤΡΟ ΣΤΑΦΑΝΕΑ για τις συμβουλές και την βοήθεια που μου παρείχε κατά την διεκπεραίωση της διπλωματικής εργασίας, αλλά και γιατί ήταν εκείνος η αφορμή να ξεκινήσω την παρούσα διπλωματική εργασία.

Επιπλέον θα ήθελα να ευχαριστήσω την υποψήφια διδάκτορα ANNA ΜΑΛΑΜΟΥ για τη συμβολή της στο έργο εκπόνησης της εργασίας μου με τις πολύτιμες γνώσεις που μου παρείχε.

Επιπροσθέτως θα ήθελα να ευχαριστήσω τους προϊσταμένους μου ΕΥΑΓΓΕΛΟ ΞΥΝΟΓΑΛΑ και ΓΕΩΡΓΙΟ ΤΣΙΓΓΕΝΟΠΟΥΛΟ (αξιωματικούς της Γεωγραφικής Υπηρεσίας Στρατού και πτυχιούχους της ΣΑΤΜ/ΕΜΠ) για τις γνώσεις που μου παρείχαν πάνω στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης, τομέα στον οποίο είναι εξειδικευμένοι λόγω ειδικότητας.

Ακόμη, ιδιαίτερη μνεία πρέπει να γίνει στη Διεθνή Ομάδα Εργασίας σε τεχνικές SAR εικόνων που ονομάζεται «SET 163 Working Group» και στο Διευθυντή της Ομάδος Dr. Luc Vignaud. Ειδικότερα, η Γερμανική Υπηρεσία Αεροδιαστήματος (DLR) προσέφερε τις συγκεκριμένες εικόνες στο SET 163 Working Group. Η προμήθεια, εκ μέρους τους, των πραγματικών SAR εικόνων που χρησιμοποιήθηκαν στα πλαίσια του πρακτικού τμήματος της παρούσας διπλωματικής εργασίας ήταν ιδιαίτερα χρήσιμη και βοήθησε σε μεγάλο βαθμό στην πραγματοποίησή της.

Τέλος, οφείλω να ευχαριστήσω την μητέρα μου για την αμέριστη στήριξη που μου παρείχε κατά τη διάρκεια των σπουδών μου στο ΔΠΜΣ και για τη δύναμη που μου δίνει κάθε μέρα με τη συμπαράστασή της.

ΑΘΗΝΑ , ΣΕΠΤΕΜΒΡΙΟΣ 2014  
ΔΗΜΗΤΡΙΟΣ Κ. ΣΚΟΥΛΑΡΙΚΗΣ

# ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ</b> .....	10
1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ.....	10
1.1.1 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ .....	11
1.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΗΣ).....	13
1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ.....	16
1.3.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ.....	18
1.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ.....	18
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΡΑΝΤΑΡ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (SAR)</b> .....	23
2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΡΑΝΤΑΡ.....	23
2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΑΝΤΑΡ.....	23
2.3 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ.....	29
2.3.1 Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ.....	30
2.3.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER.....	33
2.3.2.1 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ DOPPLER .....	36
2.4 ΡΑΝΤΑΡ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (SAR).....	37
2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ SAR.....	37
2.4.2 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ SAR.....	38
2.4.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ SAR.....	39
2.4.4 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ SAR.....	40
2.4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SAR.....	40
<b>ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ TERRA SAR-X ΚΑΙ RADAR SAT-2</b> .....	42
3.1 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ TERRA SAR-X.....	42
3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	42
3.1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ.....	42
3.1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (Imaging Modes).....	45
3.1.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ.....	51
3.1.5 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ.....	52
3.1.6 ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΙΩΝ.....	53
3.1.7 ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ .....	53
3.1.8 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ.....	56
3.2 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ RADAR SAT-2.....	57
3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	57
3.2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ .....	57
3.2.3 ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΙΩΝ.....	60
3.2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (Imaging Modes).....	62
3.2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ .....	62
3.2.4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ (Imaging Modes).....	65
3.2.5 ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ .....	72
3.2.6 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ.....	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ.....	76
4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	76
4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ.....	78
4.2.1 ΣΤΑΔΙΟ TRAINING DATA.....	78
4.2.2 ΣΤΑΔΙΟ TESTING DATA.....	84
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ.....	86
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	88



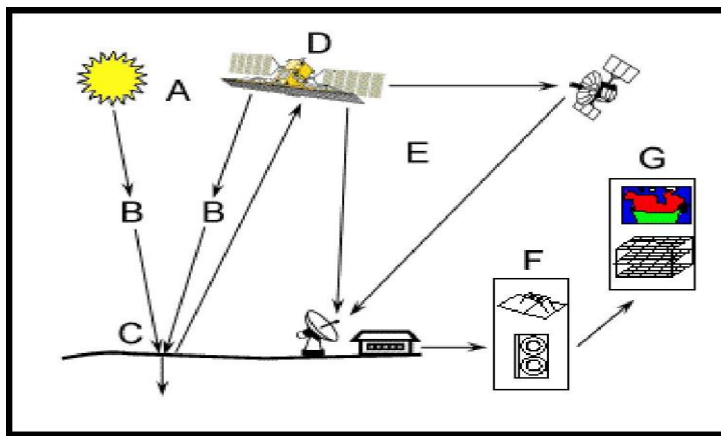
# ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 : ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ ΚΑΙ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ ΤΟΥ ΕΛΑΦΟΥΣ

## 1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ ΣΤΗΝ ΤΗΛΕΠΙΣΚΟΠΗΣΗ

Η τηλεπισκόπηση είναι η επιστήμη και η τέχνη της απόκτησης πληροφοριών για ένα αντικείμενο, μια περιοχή ή ένα φαινόμενο δια μέσου της ανάλυσης δεδομένων, τα οποία έχουν αποκτηθεί από μια συσκευή, η οποία δεν είναι σε επαφή με το υπό έρευνα αντικείμενο, περιοχή ή φαινόμενο (Αργιαλάς Δ., 1999). Μέσω της χρήσης διαφόρων δεκτών ηλεκτρομαγνητικής ενέργειας συλλέγονται δεδομένα από απόσταση, τα οποία στη συνέχεια μπορούν να αναλυθούν. Η διαδικασία αυτή επιτελείται στα πλαίσια της απόκτησης πληροφοριών για τα αντικείμενα και τις περιοχές ή ακόμη και για τα ίδια τα φαινόμενα τα οποία αποτελούν το αντικείμενο της έρευνας. Στην τηλεπισκόπηση, η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία που προέρχεται από κάποιο αντικείμενο που βρίσκεται στην επιφάνεια της γης, μετριέται και μεταφράζεται σε πληροφορία για το αντικείμενο ή σε διαδικασίες σχετιζόμενες με το αντικείμενο και το περιβάλλον του.

Σε μια απλή περιγραφή του τρόπου που λαμβάνονται τα τηλεπισκοπικά δεδομένα μπορούμε να δούμε την εικόνα 1.1. Αναλυτικότερα, μία πηγή ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας που εκπέμπει προς όλες τις κατευθύνσεις, «φωτίζει» την επιφάνεια της γης αφού περάσει μέσα από την ατμόσφαιρα, γεγονός που περιορίζει το φασματικό εύρος της ακτινοβολίας που τελικά θα χτυπήσει στην επιφάνεια. Ένα μέρος, όμως, της ακτινοβολίας που τελικά φθάνει στη γη, ανακλάται, ένα άλλο μέρος διαχέεται στο περιβάλλον, ένα άλλο μεταδίδεται και ένα άλλο απορροφάται και αποδίδεται και πάλι στο περιβάλλον. Η ακτινοβολία που ανακλάται διέρχεται και πάλι μέσα από την ατμόσφαιρα με προορισμό το διάστημα. Σε πολύ μεγάλο ύψος (300χλμ – 800χλμ συνήθως) βρίσκονται σε τροχιά οι τεχνητοί δορυφόροι που είναι εξοπλισμένοι με κάποιας μορφής ανιχνευτές. Η ακτινοβολία που ανακλάστηκε πίσω στο διάστημα, διέρχεται μέσα από πρισματικές διατάξεις που την διαχωρίζουν σε φασματικές ζώνες προκαθορισμένου εύρους, έπειτα οδηγείται σε φωτοδιόδους που μετατρέπουν την ακτινοβολία (που αποτελεί επί της ουσίας ενέργεια) σε ηλεκτρικό σήμα. Το σήμα αυτό κβαντοποιείται σε μορφή δυαδικών αριθμών και μεταδίδεται πίσω στη γη. Ο παραλήπτης του τροποποιημένου αυτού σήματος είναι επίγειοι σταθμοί-δέκτες όπου το επεξεργάζονται και το διορθώνουν, ώστε εκείνο να λάβει την τελική μορφή ψηφιακής εικόνας που διανέμεται στους τελικούς χρήστες. Ανάλογα με το

χαρακτηριστικό που επιθυμούμε να μελετήσουμε, επιλέγεται ο κατάλληλος φασματικός τύπος ανιχνευτή προκειμένου να ληφθεί η μέγιστη πληροφορία.

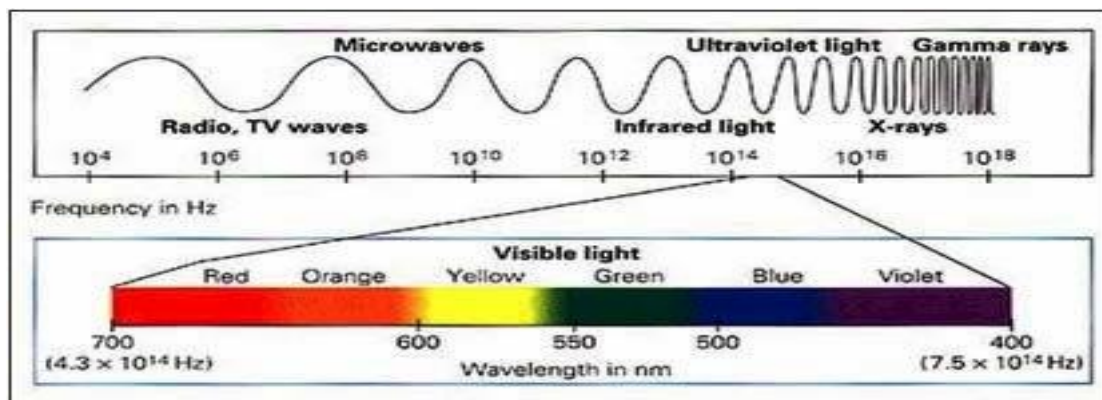


- A. Πηγή Ενέργειας
- B. Ακτινοβολία και ατμόσφαιρα
- C. Αλληλεπίδραση με τον Στόχο
- D. Καταγραφή της Ενέργειας από τον Αισθητήρα
- E. Διάδοση, Λήψη και Επεξεργασία
- F. Ερμηνεία και Ανάλυση
- G. Εφαρμογή

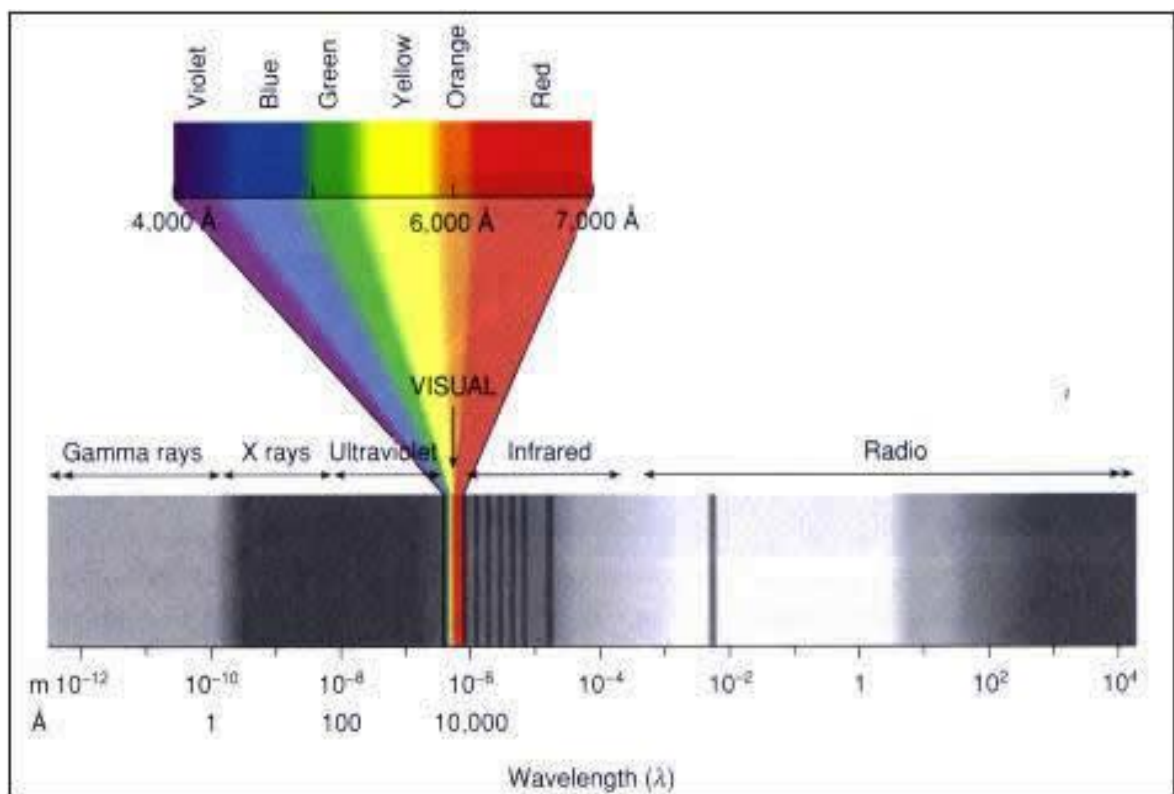
**Εικόνα 1.1:** Τρόπος λήψης των τηλεπισκοπικών δεδομένων.

### 1.1.1 ΤΟ ΗΛΕΚΤΡΟΜΑΓΝΗΤΙΚΟ ΦΑΣΜΑ

Ηλεκτρομαγνητικό φάσμα ονομάζεται το εύρος της περιοχής συχνοτήτων που καλύπτουν τα ηλεκτρομαγνητικά κύματα. Το ηλεκτρομαγνητικό φάσμα εκτείνεται θεωρητικά από σχεδόν μηδενικές συχνότητες έως το άπειρο. Για την κατανόηση της βασικής αρχής πάνω στην οποία στηρίζεται η επιστήμη της τηλεπισκόπησης αναφέρονται τα βασικά στοιχεία του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος. Κάθε ακτίνα φωτός έχει ένα μήκος κύματος που καθορίζεται από το ενεργειακό του επίπεδο. Το φως και οι μορφές ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας περιγράφονται συνήθως βάσει του μήκους κύματος που έχουν (Van der Meer and De Jong, 2001). Για παράδειγμα, το ορατό φως έχει μήκη κύματος από τα 400nm έως τα 700nm, ενώ τα ραδιοκύματα έχουν μήκος κύματος μεγαλύτερο των 30cm (Εικόνα 1.2).



**Εικόνα 1.2:** Εύρος ορατού φάσματος Η/Μ ακτινοβολίας.



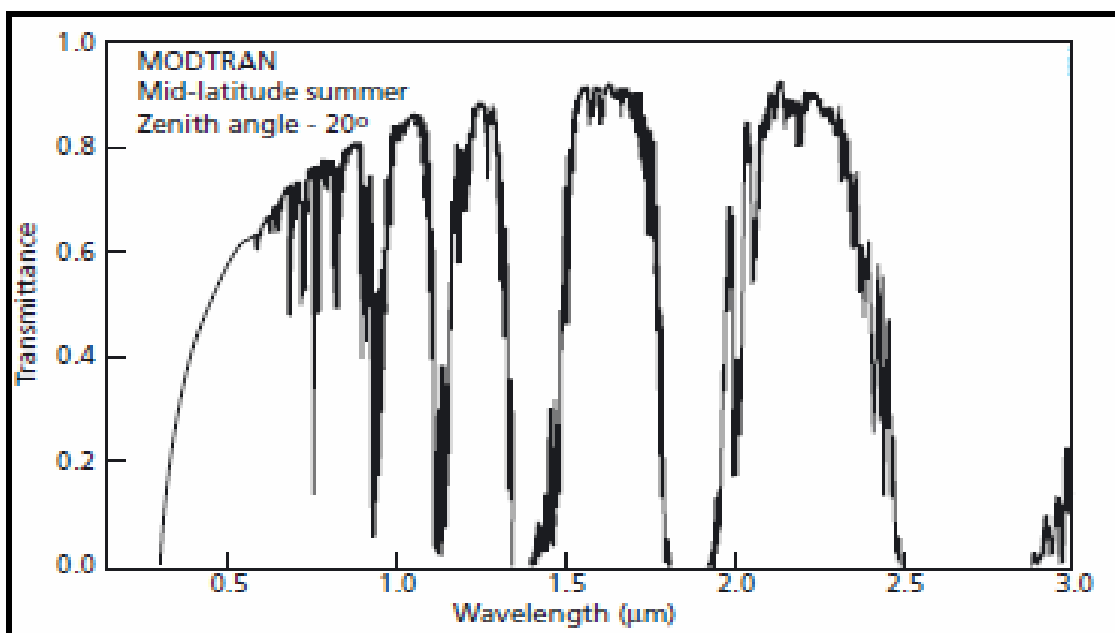
**Εικόνα 1.3:** Έκταση φάσματος Η/Μ ακτινοβολίας.

Στη πλειονότητά τους, τα αντικείμενα έχουν την ιδιότητα να εκπέμπουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία. Αντικείμενα πάνω ή κοντά στην επιφάνεια της γης έχουν την ιδιότητα να ανακλούν ή να διαθλούν την προσπίπτουσα ακτινοβολία που εκπέμπεται από κάποια πηγή, η οποία μπορεί να είναι τεχνητή (π.χ. λάμπα, laser, μικροκύματα) ή φυσική όπως ο ήλιος. Στο ορατό, εγγύς υπέρυθρο (NIR) και μέσο υπέρυθρο (MIR) τμήμα του ηλεκτρομαγνητικού φάσματος μετράμε την ηλιακή ακτινοβολία που ανακλάται από τα αντικείμενα στην επιφάνεια της γης. Στο κομμάτι του θερμικού υπέρυθρου (TIR) και συγκεκριμένα στο ατμοσφαιρικό «παράθυρο» των 10μm, μετράμε την εκπεμπόμενη ακτινοβολία των αντικειμένων, ακτινοβολία που έχει προκύψει φυσικά από τον ήλιο. Στο τμήμα του φάσματος όπου υπάρχει η κατηγορία των μικροκυμάτων, η ανάκλαση και η εκπομπή ακτινοβολίας γίνεται σε πολύ χαμηλά ενεργειακά επίπεδα.

Ωστόσο, η ατμόσφαιρα επηρεάζει την ηλιακή ακτινοβολία πριν αυτή φθάσει στην επιφάνεια της γης (με μεγαλύτερη την επίδραση της ιονόσφαιρας). Κατ' αυτόν τον τρόπο υπάρχει επίδραση και στην ακτινοβολία που ανακλάται ή εκπέμπεται από τα αντικείμενα πάνω στην επιφάνεια της γης, πριν κάποιος αερομεταφερόμενος ή διαστημικός αισθητήρας την εντοπίσει (Van der Meer and De Jong, 2001). Αξίζει να σημειωθεί ότι τα αντικείμενα αυτά αποτελούν κυρίως από μόρια αζώτου και οξυγόνου. Επιπλέον,

υφίστανται υδρατμοί και πολύ μικρού μεγέθους στοιχεία σκόνης. Οι κυριότερες διαδικασίες που προκαλούνται είναι αυτές του διασκορπισμού (Herman et al., 1993) και της απορρόφησης της ακτινοβολίας (La Rocca, 1993), που τελικά μειώνουν την δύναμη και την ενέργεια των ακτινών που φθάνουν στην επιφάνεια της γης.

Όπως γίνεται κατανοητό, υπάρχουν τμήματα του φάσματος για τα οποία η ατμόσφαιρα είναι σχεδόν αδιαπέραστη και άλλα για τα οποία η διαπεραστικότητα είναι πολύ μεγάλη και είναι αυτή η ακτινοβολία που ενδείκνυται για τηλεπισκοπικές μετρήσεις. Αυτά τα τμήματα ονομάζονται ατμοσφαιρικά «παράθυρα». Στην Εικόνα 1.4 παρουσιάζονται οι επιδράσεις (της διάθλασης και της απορρόφησης) στο οπτικό κομμάτι του φάσματος μεταξύ 0,4 και 2,5 $\mu\text{m}$  όπως υπολογίστηκε από το ατμοσφαιρικό μοντέλο μετάδοσης Modtran (Wolfe and Zissis, 1993).

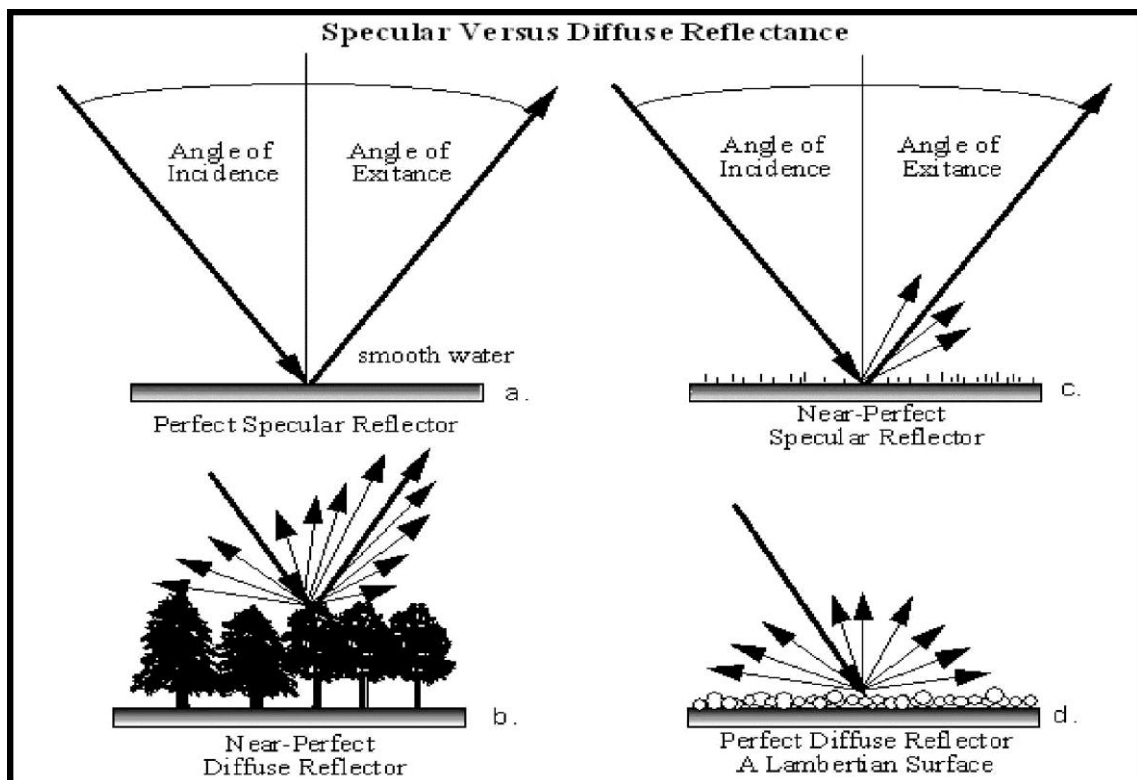


**Εικόνα 1.4:** Η ατμοσφαιρική μετάδοση από το ορατό έως το εγγύς υπέρυθρο, όπως μοντελοποιήθηκε από τον Modtran.

## 1.2 ΦΑΣΜΑΤΙΚΗ ΥΠΟΓΡΑΦΗ ΕΙΚΟΝΑΣ (ΑΛΛΗΛΕΠΙΔΡΑΣΗ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ ΚΑΙ ΥΛΗΣ)

Όταν η ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προσπέσει σε κάποιο αντικείμενο στην επιφάνεια της γης, θα μεταδοθεί, θα απορροφηθεί ή θα ανακλαστεί. Η ποσότητα ακτινοβολίας που θα διανεμηθεί προς αυτές τις διαδικασίες καθορίζεται από τις ιδιότητες του κάθε

αντικείμενου. Το μέγιστο πλεονέκτημα που υπάρχει στην τηλεπισκόπηση, είναι ότι αν και δεν μπορούμε να αναγνωρίσουμε πολλά αντικείμενα σε δορυφορικές απεικονίσεις εξαιτίας της χαμηλής χωρικής ανάλυσης, έχουμε τη δυνατότητα να εκμεταλλευτούμε τις φασματικές ιδιότητες των εικόνων. Έτσι, μετρώντας την ποσότητα της ανακλώμενης ηλιακής ακτινοβολίας σε όρους μήκους κύματος μετρούμε τη φασματική του ανακλαστικότητα. Με τον όρο ανακλαστικότητα, εννοούμε το ποσοστό της ακτινοβολίας που πέφτει σε ένα αντικείμενο και έπειτα ανακλάται. Κάποια υλικά ανακλούν ακτινοβολία συγκεκριμένου μήκους κύματος, ενώ άλλα απορροφούν τα ίδια μήκη κύματος. Εισάγεται έτσι η έννοια της φασματικής υπογραφής επιφανειακών αντικειμένων, όπως του εδάφους, της βλάστησης, του νερού και πολλών άλλων, μέσα στο εύρος του φάσματος. Σε άλλες φασματικές περιοχές, οι υπογραφές που μας ενδιαφέρουν μπορεί να είναι η θερμοκρασία και η εκπομπή ακτινοβολίας, όπως συμβαίνει για το θερμικό υπέρυθρο ή το ανάγλυφο της επιφάνειας της γης για τα συστήματα radar (Van der Meer and De Jong,2001).



**Εικόνα 1.5:** Παραδείγματα ανάκλασης ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας προερχομένης από την ίδια πηγή. Οι τρόπος ανάκλασης καθορίζεται κυρίως από το υλικό, την κατάσταση και τον προσανατολισμό του στόχου.

Στο σημείο αυτό θα γίνει μία λεπτομερής ανάλυση του διαγράμματος ανακλαστικότητας της Εικόνας 1.6 και για το πώς αυτό προκύπτει, για τις κύριες κατηγορίες του νερού, της βλάστησης και του εδάφους που παρουσιάζουν μεγάλο ενδιαφέρον.

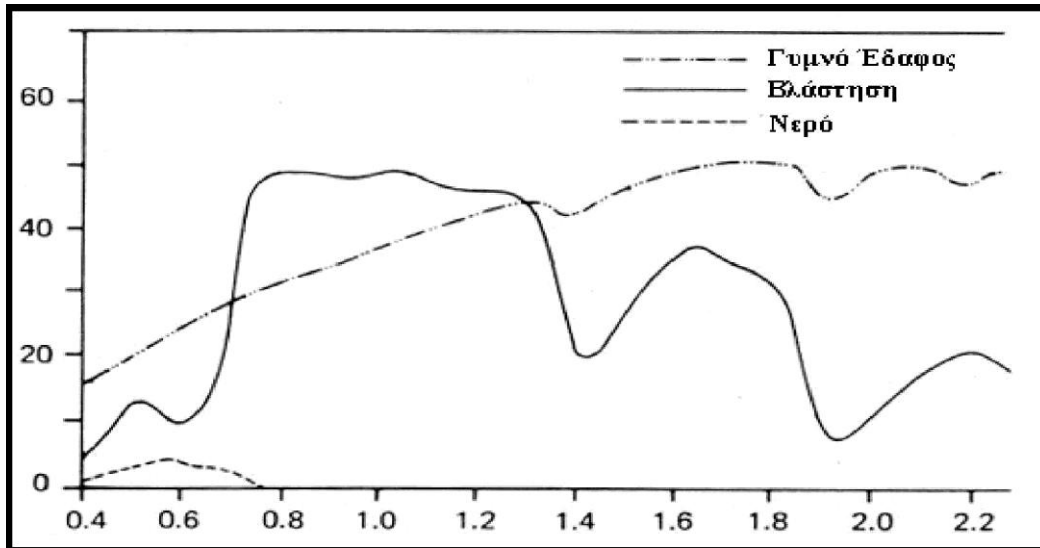
Το νερό απορροφά το μεγαλύτερο μέρος της εισερχόμενης ακτινοβολίας και ανακλά μόνο μία μικρή ποσότητα αυτής, κυρίως στο ορατό κομμάτι του φάσματος, ενώ σε μεγαλύτερα μήκη κύματος δεν ανακλάται σημαντική ποσότητα ακτινοβολίας. Τα χωμάτινα εδάφη παράγουν μία "απαλή" καμπύλη ανακλαστικότητας. Για το λόγο αυτό, διακριτά φασματικά χαρακτηριστικά εξάγονται συνήθως από παρατηρήσεις με ειδικά όργανα που ονομάζονται φασματόμετρα. Τα όργανα αυτά διαθέτουν πολλά και στενά φασματικά κανάλια, μέσω των οποίων μπορούμε να εντοπίσουμε μικρές απορροφήσεις ηλιακής ακτινοβολίας που προκαλούνται από μέταλλα και οξείδια του σιδήρου.

Γενικότερα χαρακτηριστικά φαίνονται σε μήκη κύματος από 1400nm έως 1900nm, λόγω νερού που έχει απορροφηθεί από το έδαφος. Η περιεκτικότητα σε νερό προκαλεί επίσης και τη σταδιακή μείωση της ανακλαστικότητας στο μέσο υπέρυθρο κομμάτι, όσο αυξάνεται το μήκος κύματος. Το υγρό περιεχόμενο ενός εδάφους προκαλεί τη χαμηλή καμπύλη ανακλαστικότητας, σε αντίθεση με αυτή του ξηρού εδάφους. Μπορούμε έτσι να διαχωρίσουμε δύο ομοειδείς φασματικές κατηγορίες.

Από την άλλη πλευρά, η χλωρίδα εμφανίζεται με μία πολύ χαρακτηριστική καμπύλη ανακλαστικότητας. Η ανακλαστικότητα στο ορατό τμήμα της ακτινοβολίας είναι χαμηλή, εξαιτίας της απορρόφησης αυτής της ακτινοβολίας από τη χλωροφύλλη.

Ακολούθως, στο εγγύς υπέρυθρο δεν υφίσταται σχεδόν καμία απορρόφηση και η ανακλαστικότητα που προκύπτει καθορίζεται από τις μεταβολές των φυλλωμάτων των φυτών. Σαν αποτέλεσμα έχουμε την υψηλή ανακλαστικότητα της πράσινης βλάστησης στο εγγύς υπέρυθρο. Στην περιοχή του μέσου υπέρυθρου παρατηρούμε μία όμοια επίδραση του νερού, όπως συμβαίνει με το έδαφος (Clevers and Jongschaap, 2001).

Όλα τα παραπάνω αποτυπώνονται χαρακτηριστικά στο διάγραμμα της εικόνας 1.6 όπου εμφανίζονται ταυτόχρονα οι φασματικές υπογραφές του νερού, της βλάστησης και του εδάφους.



**Εικόνα 1.6:** Τυπικά διαγράμματα ανακλαστικότητας για τις κατηγορίες του εδάφους, του νερού και της βλάστησης.

Όπως έχει αναφερθεί, στο τμήμα του θερμικού υπέρυθρου, η ποσότητα ακτινοβολίας που μετράται είναι αυτή που εκλύεται από τα αντικείμενα. Η ποσότητα αυτή μπορεί να συσχετιστεί με τη θερμοκρασία του αντικειμένου που παρατηρείται, παρέχοντας έτσι και πληροφορίες σχετικές με μελέτες πάνω στην ενέργεια. Μία σημαντική ιδιότητα των μεγάλων μηκών κύματος που χρησιμοποιούνται στα μικροκύματα είναι ότι δεν επηρεάζονται από την ατμόσφαιρα, με συνέπεια να μη διασκορπίζονται. Έχουν τη δυνατότητα να διεισδύουν μέσα από σύννεφα και άλλες δύσκολες συνθήκες, εκτός της ισχυρής βροχόπτωσης. Ένας παθητικός αισθητήρας μικροκυμάτων ανιχνεύει την φυσικώς εκλύομενη μικροκυματική ενέργεια που βρίσκεται στο πεδίο "όρασής" του και η παρατηρούμενη ποσότητα συνδέεται με ιδιότητες του αντικειμένου, όπως η θερμοκρασία και η υγρασία

### 1.3 ΑΙΣΘΗΤΗΡΕΣ Η/Μ ΑΚΤΙΝΟΒΟΛΙΑΣ

Τα όργανα που είναι ικανά να μετρήσουν την ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία ονομάζονται αισθητήρες. Η ταξινόμησή τους μπορεί να γίνει σε δύο κατηγορίες (κατά der Meer and De Jong,2001):

1. Στους παθητικούς αισθητήρες που δεν διαθέτουν τη δική τους πηγή ακτινοβολίας. Είναι ευαίσθητοι μόνο στην ακτινοβολία που έχει φυσική προέλευση και συνήθως είναι η ανακλώμενη ηλιακή ακτινοβολία ή η ενέργεια που εκπέμπεται από ένα επίγειο

αντικείμενο. Ένα κλασικό παράδειγμα παθητικού αισθητήρα είναι η φωτογραφική μηχανή, η οποία καταγράφει την ανακλώμενη ακτινοβολία κάποιου αντικειμένου σε μία φωτοευαίσθητη επιφάνεια και έπειτα πάνω στο φιλμ. Άλλα παραδείγματα είναι οι πολυφασματικοί σαρωτές, οι θερμικοί σαρωτές και τα ραδιόμετρα που χρησιμοποιούν μικροκύματα.

2. Στους ενεργητικούς αισθητήρες που διαθέτουν μία τεχνητή πηγή ακτινοβολίας. Η πηγή αυτή εκπέμπει στην ατμόσφαιρα ή σε αντικείμενα στην επιφάνεια της γης και έπειτα η ανακλώμενη ενέργεια που προκύπτει λαμβάνεται πίσω από τον αισθητήρα για την εξαγωγή μετρητικής και ποιοτικής πληροφορίας. Παραδείγματα ενεργητικής τηλεπισκόπησης αποτελούν τα συστήματα radar (radio detection and ranging) και lidar (light detection and ranging).

Η ακτινοβολία μπορεί να καταγραφεί είτε σε αναλογική μορφή (παράδειγμα της οποίας αποτελούν οι αεροφωτογραφίες) είτε μπορεί να αποθηκευτεί ως μία ψηφιακή διάταξη, ένα σύνολο τιμών του σήματος που έχει καταγραφεί δηλαδή, πάνω σε μαγνητική ταινία (όπως είναι το CD-ROM και το DVD). Τάση της σύγχρονης εποχής είναι η υιοθέτηση της ψηφιακής διαδικασίας στην πλειοψηφία των σημερινών συστημάτων τηλεπισκόπησης. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι ψηφιακές απεικονίσεις, μπορούν να εξαχθούν από ψηφιακά δεδομένα φωτογραφικών τηλεπισκοπικών αισθητήρων.

Είναι σημαντικό σε αυτό το σημείο να παρατεθούν οι κύριες ιδιότητες που επιτρέπουν την παρατήρηση και τελικά την αναγνώριση ενός αντικειμένου. Αυτές συνοψίζονται στα επόμενα χαρακτηριστικά:

- Σχήμα και μέγεθος του αντικειμένου. Η χωρική όπως και η γεωμετρική ανάλυση θεωρούνται σημαντικές για τον αισθητήρα. Ως κριτήριο, λαμβάνεται υπόψη το μέγεθος του εικονοστοιχείου (διαστάσεις που καλύπτει στο έδαφος).

- Ιδιότητες ανακλαστικότητας και ιδιότητες εκπομπής ακτινοβολίας του αντικειμένου. Το δυναμικό εύρος και η ραδιομετρική ανάλυση είναι τα σημαντικά στοιχεία του αισθητήρα για την κατηγορία αυτή. Ως δυναμικό εύρος ορίζεται ο αριθμός των ψηφιακών επιπέδων στα οποία μπορεί να αποθηκευτεί η παρατηρούμενη ανακλαστικότητα ή εκπομπή ακτινοβολίας.

- Φασματικές ιδιότητες του αντικειμένου. Σε αυτές περιλαμβάνονται το μήκος κύματος, η συχνότητα και το χρώμα. Για τα χαρακτηριστικά αυτά, το μήκος κύματος και η



φασματική ανάλυση (εύρος καναλιού) του αισθητήρα έχουν ιδιαίτερη σημασία.

- Η επίδραση της πόλωσης στο αντικείμενο.

- Αλλαγές που υφίσταται το παρατηρούμενο αντικείμενο σε μεταβολές του χρόνου και του τόπου (temporal effects).

Γίνεται σαφές ότι ο σχεδιασμός και η χρήση των τηλεπισκοπικών συστημάτων πρέπει να γίνεται μετά από μεγάλη μελέτη που θα εξαρτάται από το είδος και τις απαιτήσεις συγκεκριμένων εφαρμογών.

### **1.3.1 ΜΕΤΑΔΟΣΗ ΣΗΜΑΤΟΣ**

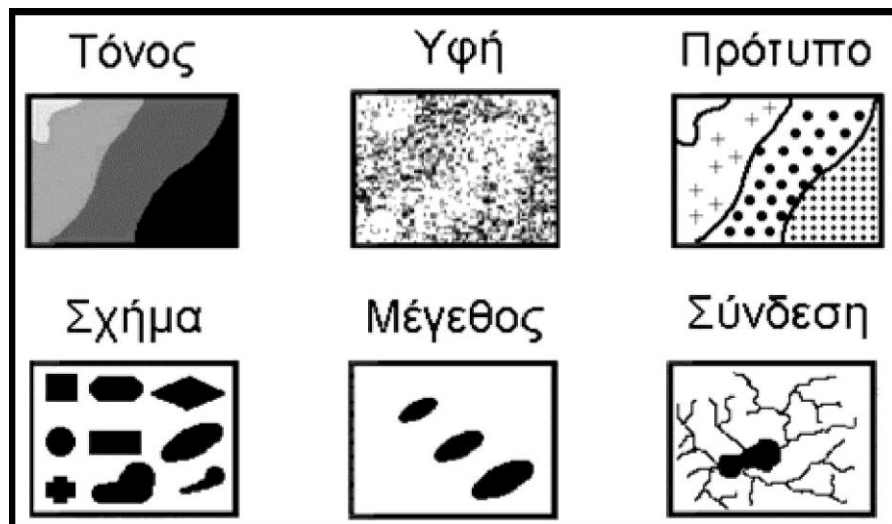
Η ενέργεια που καταγράφεται από ένα αισθητήρα πρέπει να μεταδοθεί σε ηλεκτρονική μορφή σε κάποιο σταθμό λήψης και επεξεργασίας, όπου τα δεδομένα θα μετασχηματιστούν σε εικόνα. Γενικά, ο προμηθευτής της εικόνας έχει προβεί ήδη σε προεπεξεργασία των δεδομένων, που αφορά κυρίως τη διόρθωση γεωμετρικών και ραδιομετρικών παραμορφώσεων, προβλήματα που προέρχονται από την πλατφόρμα και τον αισθητήρα που αυτή φέρει. Οι ραδιομετρικές διορθώσεις θεωρούνται απαραίτητες λόγω μεταβολών της φωτεινότητας, ατμοσφαιρικών συνθηκών και θορύβου του αισθητήρα. Η εμφάνιση και το μέγεθος των παραπάνω εξαρτάται από το είδος του αισθητήρα, την πλατφόρμα που χρησιμοποιείται και τις συνθήκες που επικρατούν κατά τη στιγμή της λήψης. Τέλος, μπορεί κάποιες φορές να είναι επιθυμητή η μετατροπή και/ή το καλιμπράρισμα των δεδομένων σε γνωστή (απόλυτη) ακτινοβολία ή μονάδες ανακλαστικότητας προς διευκόλυνση συγκρίσεων μεταξύ των δεδομένων.

### **1.4 ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΡΜΗΝΕΙΑΣ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ**

Όταν διαθέτουμε δεδομένα σε ψηφιακή μορφή, αυτά είναι μετασχηματισμένα χωρικά (σε εικονοστοιχεία) και ραδιομετρικά (σε διακριτές τιμές φωτεινότητας) κι έτσι υπάρχουν διάφορες προσεγγίσεις για την εξαγωγή πληροφορίας. Μία από αυτές, προϋποθέτει τη χρήση H/Y για την εξέταση των ιδιοτήτων κάθε εικονοστοιχείου της εικόνας ξεχωριστά. Η διαδικασία αυτή αναφέρεται ως ποσοτική ανάλυση, καθώς εικονοστοιχεία με όμοια χαρακτηριστικά υπολογίζονται για να δώσουν επιφανειακές συγκεντρώσεις. Μία δεύτερη προσέγγιση προϋποθέτει τη συμμετοχή του ανθρώπινου παράγοντα, στο ρόλο του

αναλυτή/ερμηνευτή, για την εξαγωγή πληροφορίας, μέσω οπτικής επιθεώρησης της εικόνας που σχηματίστηκε από τα δεδομένα. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **φωτοερμηνεία** και ο αναλυτής σημειώνει γενικά χαρακτηριστικά της εικόνας που βρίσκονται σε μεγάλη κλίμακα και συνήθως δεν έχει γνώση των χωρικών και ραδιομετρικών χαρακτηριστικών των δεδομένων.

Σκοπός της φωτοερμηνείας είναι η αναγνώριση συγκεκριμένων αντικειμένων (στόχων). Η αναγνώριση αυτή πραγματοποιείται μέσω του εντοπισμού των διαφορών μεταξύ των στόχων αυτών και του περιβάλλοντος χώρου (γειτονικών αντικειμένων). Ο εντοπισμός βασίζεται σε κάποιο ή κάποια από τα οπτικά τους χαρακτηριστικά.



**Εικόνα 1.7:** Τα βασικά οπτικά χαρακτηριστικά ενός στόχου στην εικόνα στα οποία βασίζεται ο εντοπισμός των διαφορών του από τα γειτονικά αντικείμενα που τον περιβάλλουν.

**Το σχήμα** αναφέρεται στη γενική μορφή, διάταξη ή περίγραμμα των μεμονωμένων αντικειμένων. Σε πολλές περιπτώσεις (αλλά όχι πάντα) αρκεί το σχήμα μόνο ενός αντικειμένου για να αναγνωριστεί το αντικείμενο.

Το **μέγεθος** των αντικειμένων στις φωτογραφίες θα πρέπει να λαμβάνεται υπόψη σε συνάρτηση με την κλίμακα της εικόνας.

Το **πρότυπο** καθορίζεται με τη χωρική διάταξη των αντικειμένων. Η επανάληψη προκαθορισμένων γενικών μορφών ή σχέσεων, είναι χαρακτηριστική για πολλά αντικείμενα, φυσικά και ανθρωπογενή, και προσδίδει στα αντικείμενα ένα πρότυπο που υποβοηθά το Φωτοερμηνευτή να τα αναγνωρίσει.

Ο **τόνος** (ή απόχρωση) αφορά τη σχετική φωτεινότητα ή το χρώμα των αντικειμένων στις απεικονίσεις. Σε περίπτωση που ο τόνος των αντικειμένων ήταν ο ίδιος, τότε δε θα ήταν δυνατή η διάκριση χαρακτηριστικών όπως το σχήμα, το πρότυπο και η υφή τους.

Η **υφή** είναι η συχνότητα εναλλαγής των τόνων του γκρι σε μια απεικόνιση. Η υφή οφείλει την ύπαρξή της στη συγκέντρωση μεμονωμένων αντικειμένων τα οποία είναι πάρα πολύ μικρά, με αποτέλεσμα να μην είναι διακριτά ως μεμονωμένα αντικείμενα. Μέσω της υφής καθορίζεται η ομαλότητα ή η τραχύτητα των αντικειμένων της εικόνας.

Η **θέση του αντικειμένου στο χώρο** αφορά την τοπογραφική ή γεωγραφική θέση και συνιστά ένα πολύ σημαντικό βοήθημα στην αναγνώριση γεωμορφών και ειδών βλάστησης.

Η **χωρική διάταξη (συσχέτιση)** αναφέρεται στην παρουσία συγκεκριμένων αντικειμένων σε σχέση με κάποια άλλα. Για παράδειγμα αναμένει κανείς μια όαση μέσα σε μια έρημο και όχι πάνω σε πάγους στην περιοχή της Ανταρκτικής.

Για να υπάρχει ένα μέτρο σύγκρισης μεταξύ της φωτοερμηνείας (που εκτελείται από ανθρώπινο παρατηρητή) και ψηφιακής ταξινόμησης (που είναι συνήθως αυτοματοποιημένη χρήση υπολογιστή) παρατίθεται η παρακάτω σύγκριση μεταξύ των δύο αυτών διαδικασιών:

### ΦΩΤΟΕΡΜΗΝΕΙΑ

### ΨΗΦΙΑΚΗ ΤΑΞΙΝΟΜΗΣΗ

- Εκτελείται κυρίως από τον φωτοερμηνευτή.
- Επεξεργάζεται ομάδα εικονοστοιχείων.

- Εκτελείται κυρίως από υπολογιστή.
- Επεξεργάζεται συνήθως μεμονωμένα εικονοστοιχεία.

<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δεν έχει ακρίβεια σε υπολογισμούς επιφανειών.</li> <li>• Αυτοπεριορίζεται η πραγματική πολυφασματική ανάλυση.</li> <li>• Ο φωτοερμηνευτής μπορεί να αφομοιώσει ένα περιορισμένο μόνο αριθμό από διακριτές διαβαθμίσεις του τόνου (περίπου 16 επίπεδα κάθε κανάλι) .</li> <li>• Η αναγνώριση του σχήματος, των προτύπων, της υφής και των αντικειμένων είναι εύκολη.</li> <li>• Η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι εύκολη.</li> <li>• Οι διαθέσιμες χωρικές πληροφορίες μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά ποιοτικό τρόπο.</li> <li>• Οι διαθέσιμες γνώσεις του χρήστη μπορούν να χρησιμοποιηθούν κατά ποιοτικό τρόπο.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Δυνατή η ακρίβεια σε υπολογισμούς επιφανειών.</li> <li>• Δεν υπάρχει περιορισμός για πραγματική πολυφασματική ανάλυση.</li> <li>• Μπορεί να κάνει χρήση όλων των διαθέσιμων επιπέδων σε όλα τα κανάλια (δηλαδή 64, 128, 256).</li> <li>• Η εξαγωγή συμπερασμάτων είναι δύσκολη.</li> <li>• Οι διαθέσιμες γνώσεις του χρήστη μπορούν έμμεσα και επίμονα, να χρησιμοποιηθούν με κατασκευή βάσεων γνώσεων και εμπειρών συστημάτων.</li> <li>• Η αναγνώριση του σχήματος, των προτύπων της υφής και των αντικειμένων είναι πολύ δύσκολη ή αδύνατη.</li> <li>• Είναι περιορισμένες οι διαθέσιμες τεχνικές για χρήση χωρικών δεδομένων.</li> </ul>
---	---

**Πίνακας σύγκρισης των δύο προσεγγίσεων ερμηνείας πολυφασματικών εικόνων.  
(Αργιαλάς 1998)**

Υπάρχουν δύο βασικές μορφές εμφάνισης των τηλεπισκοπικών απεικονίσεων. Η πρώτη είναι η ασπρόμαυρη απεικόνιση των δεδομένων για κάθε κανάλι, όπου για ψηφιακά δεδομένα το μαύρο αντιστοιχεί στην τιμή φωτεινότητας 0 και το άσπρο στην υψηλότερη τιμή, που μπορεί να είναι 63, 127, 255 ή 4095 (για 6 bit, 7 bit, 8 bit και 12 bit αντίστοιχα).

Η δεύτερη μορφή είναι αυτή του έγχρωμου σύνθετου, στο οποίο επιλεγμένα κανάλια των πολυφασματικών/υπερφασματικών δεδομένων συνδέονται με τα τρία πρωτεύοντα χρώματα (R,G,B) για την παραγωγή του έγχρωμου προϊόντος. Στην περίπτωση που τα διαθέσιμα δεδομένα αποτελούνται από ένα πολύ μεγάλο αριθμό καναλιών, όπως

συμβαίνει στην περίπτωση των υπερφασματικών δεδομένων, ο συνδυασμός των καναλιών που παράγουν το έγχρωμο σύνθετο είναι αποτέλεσμα εμπειρίας και σχετίζονται με τον τομέα της εφαρμογής



**Εικόνα 1.8:** Έγχρωμο σύνθετο RGB(3,2,1) περιοχής Χαλκίδος.

## **ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 : ΡΑΝΤΑΡ ΚΑΙ ΡΑΝΤΑΡ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (SAR)**

### **2.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ ΡΑΝΤΑΡ**

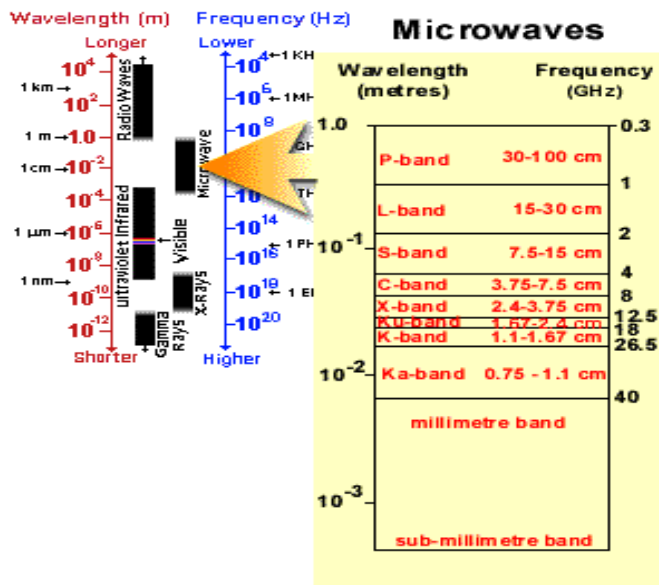
Ο διεθνής όρος ραντάρ (RADAR) προέρχεται από την σύντμηση των αγγλικών λέξεων Radio Detection and Ranging (ράδιο ανίχνευση και εμβέλεια). Ένα ραντάρ είναι ένα ηλεκτρομαγνητικό σύστημα που χρησιμοποιείται για την ανίχνευση και τον εντοπισμό αντικειμένων. Ειδικότερα, το ραντάρ αποτελεί ένα ηλεκτρονικό σύστημα ηλεκτρομαγνητικού εντοπισμού και παρακολούθησης κινητών και ακίνητων στόχων, σε αποστάσεις και συνθήκες φωτισμού απαγορευτικές για τον απλό οπτικό εντοπισμό με το ανθρώπινο μάτι. Η μεγάλη αξία του ραντάρ οφείλεται στις δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης στόχων με μεγάλη ακρίβεια που βρίσκονται σε μεγάλες αποστάσεις.

Η λειτουργία του βασίζεται στην εκπομπή μικροκυματικών σημάτων και στη συνέχεια στη λήψη των ανακλάσεων από τα διάφορα αντικείμενα που φωτίζονται από το σήμα εκπομπής. Για ένα μόνο στόχο ο χρόνος καθυστέρησης  $t$  της ηχούς μπορεί να χρησιμοποιηθεί για να καθοριστεί η απόσταση  $R$  αυτού αφού τα μικροκύματα ταξιδεύουν, στο κενό και προσεγγιστικά στον αέρα, με την ταχύτητα του φωτός.

Η περιοχή συχνοτήτων που λειτουργούν τα ραντάρ σήμερα είναι από τις συχνοότητες UHF(100 MHz) έως τις συχνοότητες EHF(100 GHz). Για χαμηλές συχνοότητες, όπου η διάδοση επηρεάζεται ελάχιστα από τις ατμοσφαιρικές συνθήκες, η ορατότητα που παρέχουν τα ραντάρ από πλευράς εμβέλειας είναι πολύ μεγαλύτερη από την ανθρώπινη όραση. Βέβαια η διακριτική ικανότητα που διαθέτει το ανθρώπινο μάτι είναι σαφώς ανώτερη. Το μεγάλο πλεονέκτημα των ραντάρ είναι ότι έχουν μεγάλη εμβέλεια και μπορούν να μετρήσουν με μεγάλη ακρίβεια αποστάσεις.

Τα κανάλια της μικροκυματικής ακτινοβολίας στα οποία λειτουργούν τα ραντάρ είναι:

Κανάλι Συχνότητα (σε GHz)	Κανάλι Συχνότητα (σε GHz)
P 0.225 - 0.390	K 10.9 - 36.0
L 0.390 - 1.550	Q 36.0 - 46.0
S 1.550 - 4.200	V 46.0 - 56.0
C 4.200 - 5.750	W 56.0 - 100
X 5.750 - 10.90	



**Εικόνα 2.1:** Τα κανάλια της μικροκυματικής ακτινοβολίας.

Τα ραντάρ παρακολούθησης της γης λειτουργούν σε όλα αυτά τα κανάλια και ιδιαίτερα στο κανάλι X (TeraSAR-X, αερομεταφερόμενοι δέκτες), C (ERS-1, ERS-2, SIR-C, ENVISAT, RADARSAT), S (Almaz), L (SEASAT, SIR-A, SIR-B, SIR-C, JERS-1, ALOS), και P (αερομεταφερόμενοι δέκτες AirSAR). Ενεργοί μικροκυματικοί δέκτες άλλων εφαρμογών λειτουργούν στις παρακάτω συχνότητες (GHz):

Υψομετρητές	4.2 - 4.4 GHz
Πλοηγητές	8.8, 13.25 - 13.4 GHz
Μετεωρολογικά radar	5.6 - 5.65, 9.3 - 9.5 GHz
Παράκτια radar	5.35 - 5.65, 9.0 - 9.2, 10 - 10.55 GHz
Radar πλοίων	5.46 - 5.47, 9.3 - 9.5, 14 - 14.3, 24.5 - 25.25, 31.8 - 33.4 GHz

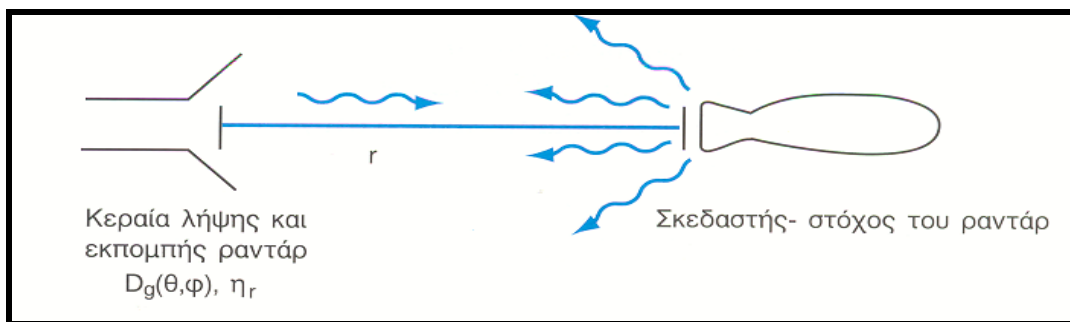
## 2.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΡΑΝΤΑΡ

Ανάλογα με την αρχή σχεδίασης διακρίνουμε τους παρακάτω τύπους ραντάρ.

- 1) Παλμικά Ραντάρ
- 2) Ραντάρ Συνεχούς κύματος
- 3) Ανιχνευτές κινούμενων στόχων
- 4) Ραντάρ παρακολούθησης
- 5) Ραντάρ συνθετικής απεικόνισης.

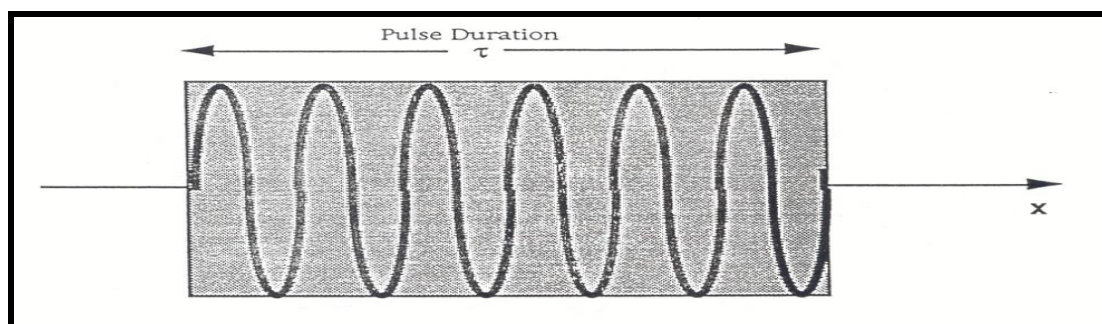
Τα παλμικά ραντάρ αποτελούν τα πιο απλά και ευρέως χρησιμοποιούμενα ραντάρ, όπως π.χ. στη ναυσιπλοΐα και αεροναυσιπλοΐα. Τα ραντάρ συνεχούς κύματος και οι ανιχνευτές κινούμενων στόχων χρησιμοποιούν το φαινόμενο Doppler για την ανίχνευση κινούμενων αντικειμένων. Τα ραντάρ παρακολούθησης στόχων είναι παλμικά ραντάρ που έχουν όμως την ικανότητα να μετρούν με μεγάλη ακρίβεια την κατεύθυνση ενός αντικειμένου και έχουν σκοπό να παρακολουθούν μόνο ένα στόχο. Τέλος, τα ραντάρ συνθετικής απεικόνισης χρησιμοποιούν το φαινόμενο Doppler για να απεικονίσουν από αεροσκάφη (air borne) ή διαστημόπλοια (space borne) την επιφάνεια της γης με μεγάλη διακριτικότητα.

Ένα παλμικό ραντάρ εκπέμπει μία αλληλουχία από πακέτα φωτονίων, γνωστά ως παλμούς. Ο χρόνος που μεσολαβεί μεταξύ της εκπομπής και της λήξης των παλμών είναι  $2r/c$  όπου  $r$  η απόσταση του σκεδαστή-στόχου από το ραντάρ και  $c$  η ταχύτητα του φωτός. Συνεπώς με μέτρηση του χρόνου προσδιορίζεται η απόσταση του στόχου από το ραντάρ.



**Εικόνα 2.2:** Λειτουργία ραντάρ.

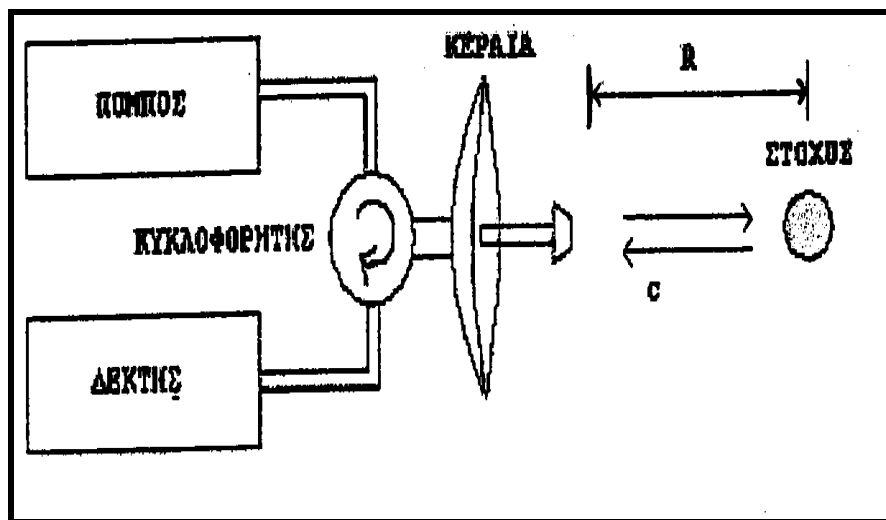
Όλα τα φωτόνια έχουν το ίδιο μήκος κύματος και η χρονική διάρκεια των παλμών  $\tau$  (εικόνα 2.3) είναι τυπικά γύρω στα 10μs. Ο εκπεμπόμενος παλμός ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός στο μέσο διάδοσης. Η ισχύς εκπομπής είναι συνήθως περίπου 1 KW.



**Εικόνα 2.3:** Διάρκεια παλμού.



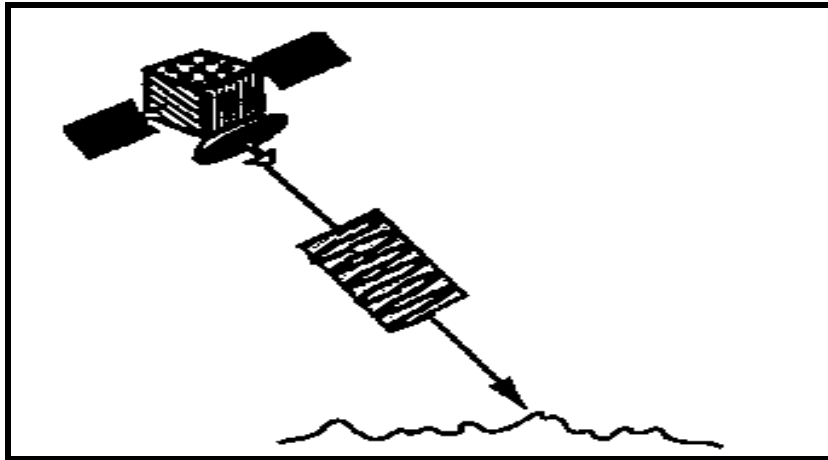
Σε ένα μονοστατικό σύστημα ραντάρ (η ίδια κεραία χρησιμοποιείται και για εκπομπή και για λήψη) όπως στην εικόνα 2.4, ο πομπός του ραντάρ εκπέμπει ένα παλμό υψηλής ισχύος. Ακολούθως, ο παλμός αυτός οδηγείται στο διακόπτη κυκλοφορίας και εν τέλει καταλήγει στην κεραία του ραντάρ. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι κεραίες των ραντάρ είναι σχεδιασμένες να εκπέμπουν και να λαμβάνουν παλμούς στη συγκεκριμένη συχνότητα λειτουργίας. Έτσι, η κεραία προωθεί τον παλμό στην περιοχή του στόχου και στη συνέχεια η ενέργεια ανακλάται πάνω στο στόχο και η ηχώ λαμβάνεται πίσω από την κεραία. Όταν το σύστημα, λοιπόν, λαμβάνει το σήμα λειτουργώντας, πλέον, ως δέκτης ο διακόπτης κυκλοφορίας(ή κυκλοφορητής) οδηγεί την ηχώ στο δέκτη του ραντάρ ο οποίος την μετατρέπει σε ψηφιοποιημένη μορφή (digits). Αυτή η ψηφιοποιημένη πληροφορία τοποθετείται τελικώς σε ένα μέσο αποθήκευσης ή προβάλλεται στην οθόνη ενός υπολογιστή, όπου τελικώς επιβάλλεται (ή όχι) περαιτέρω επεξεργασία ή ανάλυση αυτής ώστε να εξαχθούν ορισμένα συμπεράσματα.



**Εικόνα 2.4:** Μονοστατικό σύστημα ραντάρ.

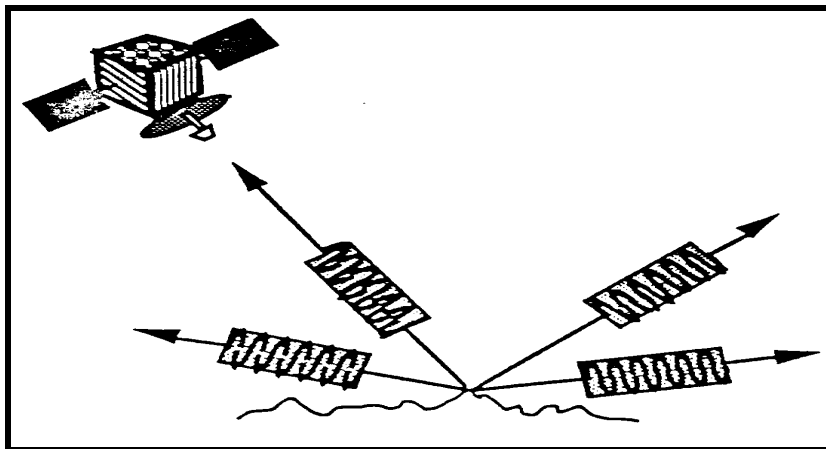
Η λειτουργία ραντάρ και ανθρώπινης όρασης έχουν αρκετές ομοιότητες. Όπως η ανθρώπινη όραση έτσι και το σύστημα ραντάρ έχει μία Πηγή, ένα Σκεδαστή και ένα Παρατηρητή. Στη περίπτωση του ραντάρ η κεραία δρα τόσο ως Πηγή όσο κι ως Παρατηρητής. Απ' την άλλη πλευρά, ο Σκεδαστής μπορεί να είναι μόνο ένας ή να αποτελεί μία πιο σύνθετη σκηνή που αποτελείται τόσο από επιθυμητά όσο και από ανεπιθύμητα τμήματα.

Όταν το ραντάρ εκπέμπει ένα παλμό ένα μέρος της ενέργειας του παλμού ανακλάται και επιστρέφει κατευθείαν στο ραντάρ. Αυτή ακριβώς την ενέργεια μετράει και το ραντάρ (εικόνα 2.5).



**Εικόνα 2.5:** Προσπίπτουσα ενέργεια του ραντάρ.

Το ραντάρ δεν μπορεί να μετρήσει ενέργεια που ανακλάται προς άλλες κατευθύνσεις (εικόνα 2.6).



**Εικόνα 2.6:** Ενέργεια ραντάρ ανακλώμενη προς διάφορες κατευθύνσεις.

Ανάλογα με την προέλευση της ηλεκτρομαγνητικής ακτινοβολίας, η οποία αντανακλάται και στη συνέχεια ανιχνεύεται, οι δέκτες - σαρωτές (ή αισθητήρες) μπορούν να διακριθούν σε παθητικούς και σε ενεργητικούς. Παθητικοί είναι εκείνοι που ανιχνεύουν ηλεκτρομαγνητική ακτινοβολία προερχόμενη από μία φυσική πηγή (συνήθως ο ήλιος), ενώ ενεργητικοί σαρωτές είναι εκείνοι που έχουν ίδια πηγή φωτισμού, δηλαδή προσβάλλουν οι ίδιοι το στόχο χρησιμοποιώντας την δική τους πηγή ακτινοβολίας, π.χ. εικονοληπτικά ραντάρ. Η τελευταία αυτή περίπτωση ονομάζεται "ραδιοεντοπισμός" ή "ραδιοανίχνευση".

Οι παθητικοί μικροκυματικοί δέκτες είναι ραδιόμετρα τα οποία ευαισθητοποιούνται στην περιοχή των μικροκυμάτων της Η/Μ ακτινοβολίας. Έχουν τις ίδιες διατάξεις με τα ηλεκτροοπτικά ραδιόμετρα (οπτικό σύστημα - ανιχνευτής - επεξεργαστής), ωστόσο καταγράφουν την εκπεμπόμενη από τα ίδια σώματα μικροκυματική ακτινοβολία ή/και την ανακλώμενη ηλιακή μικροκυματική ακτινοβολία. από αυτά. Επειδή όμως η ποσότητα της ανακλώμενης ή/και εκπεμπόμενης ακτινοβολίας στην περιοχή των μικροκυμάτων είναι περιορισμένη γι' αυτό το λόγο για την καταγραφή ικανού σήματος απαιτείται μεγάλη χρονική διάρκεια καταγραφής της ακτινοβολουμένης ενέργειας ανά μοναδιαία επιφάνεια. Αυτό σημαίνει μικρή ταχύτητα σάρωσης και χαμηλή χωρική διακριτική ικανότητα (από 10 έως μερικές εκατοντάδες χιλιόμετρα).

Οι παθητικοί μικροκυματικοί δέκτες λειτουργούν κυρίως στις συχνότητες 4.995, 10.69, 15.375 και 19.35 GHz. Ραδιομετρικές παρατηρήσεις της ατμόσφαιρας πραγματοποιούνται κοντά στη συχνότητα των 22 GHz όπου παρουσιάζεται ισχυρή απορρόφηση από υδρατμούς. Επίσης, στην περιοχή του φάσματος 50 – 60 GHz στην οποία παρουσιάζεται ισχυρή απορρόφηση από το οξυγόνο της ατμόσφαιρας, λειτουργούν μικροκυματικά ραδιόμετρα τα οποία προσδιορίζουν κατακόρυφα προφίλ ατμοσφαιρικής θερμοκρασίας. Στην περιοχή αυτή δεν λειτουργούν ενεργητικοί δέκτες (Καραθανάση, 2012).

Επιπλέον, τα radar απεικονίσεων διακρίνονται σε δύο τύπους:

- πραγματικού ανοίγματος (Real Aperture Radar, RAR), και
- συνθετικού ανοίγματος (Synthetic Aperture Radar, SAR) radar.

Τα radar πραγματικού ανοίγματος καλούνται και Side Looking Airborne Radar, SLAR, αν και οι δύο τύποι radar είναι συστήματα πλευρικής όρασης με διεύθυνση όρασης κάθετη στη γραμμή πτήσης. Η διαφορά μεταξύ των δύο τύπων radar έγκειται στη χωρική διακριτική τους ικανότητα κατά τη διεύθυνση της γραμμής πτήσης. Στα radar πραγματικού ανοίγματος αυτή προσδιορίζεται από το εύρος δέσμης της κεραίας και επομένως είναι ανάλογη της απόστασης μεταξύ δέκτη και στόχου.

Τα radar συνθετικού ανοίγματος χρησιμοποιούν επεξεργασία σήματος για να συνθέσουν ένα άνοιγμα κεραίας το οποίο είναι εκατοντάδες φορές μεγαλύτερο από το πραγματικό άνοιγμα της σε λειτουργία κεραίας. Η χωρική διακριτική ικανότητα αυτών των

συστημάτων κατά μήκος της γραμμής πτήσης, είναι ανεξάρτητη από την απόσταση στόχου – δέκτη.

Οι εφαρμογές γενικότερα των ραντάρ στην επιστήμη της Τηλεπισκόπησης εντοπίζονται στους παρακάτω τομείς:

- Γεωλογία (δομή στρωμάτων)
- Υδρολογία (υγρασία εδάφους, χαρτογράφηση επιφανειακών υδάτων, αποστράγγιση υδάτων, πρόγνωση πλημμύρων και χιονισμένων εκτάσεων)
- Γεωργία (παρακολούθηση καλλιεργειών, βοσκοτόπων και εκτάσεων οι οποίες πλήττονται από ξηρασία, παρακολούθηση υγρασίας εδάφους, πρόβλεψη σοδειάς, προγραμματισμός αρδεύσεων)
- Δάση (παρακολούθηση υλοτόμησης, πυρκαγιών)
- Χαρτογράφηση δυσπρόσιτων περιοχών
- Εξερεύνηση πόλων (παρακολούθηση πολικών δραστηριοτήτων, πανίδας, παγετώνων και παγόβουνων)
- Ωκεανοί (παρακολούθηση κυμάτων, επιφανειακών ρευμάτων και θερμοκρασίας, αλμυρότητας, κηλίδων πετρελαίου, κυκλοφορίας πλοίων αλιευτικών).
- Μετεωρολογία και κλιματολογία (κατακόρυφα προφίλ θερμοκρασίας, υγρασίας και προσπτώσεων)
- Παρακολούθηση κυκλώνων και τροπικών βροχών
- Στρατόσφαιρα, μεσόσφαιρα και κατώτερη θερμόσφαιρα (προφίλ θερμοκρασίας, μαγνητικού πεδίου και συγκέντρωσης αερίων).

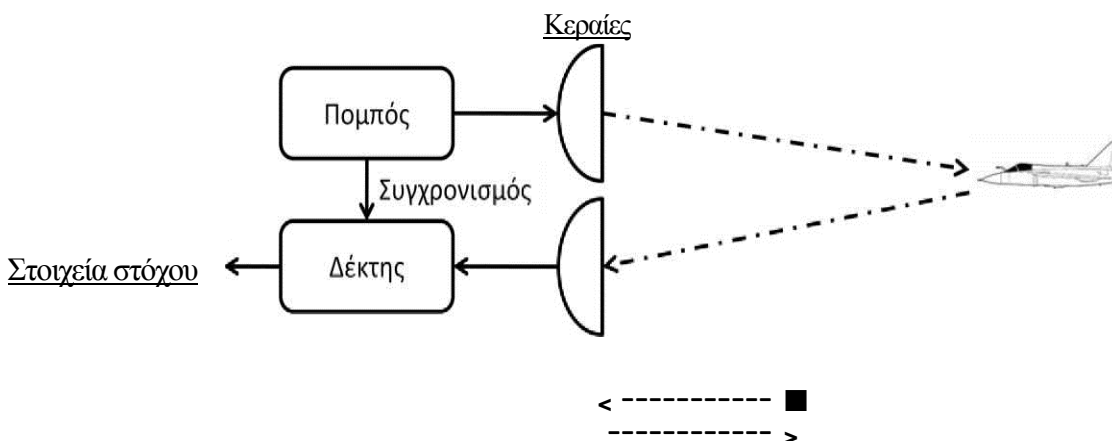
### **2.3 Η ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ**

Η αρχή λειτουργίας του ραντάρ βασίζεται σε ένα σήμα που παράγεται από τον πομπό, μετατρέπεται από την κεραία σε ηλεκτρομαγνητικό κύμα, όπου ταξιδεύει με την ταχύτητα του φωτός μέχρι τον στόχο, ανακλάται και επιστρέφει στην κεραία λήψης, όπου μετατρέπεται σε σήμα λήψης και με κατάλληλη επεξεργασία στον δέκτη και στον επεξεργαστή σημάτων παρέχει τα στοιχεία του στόχου. Η μεγάλη αξία του ραντάρ οφείλεται στις σημαντικές δυνατότητες ανίχνευσης και παρακολούθησης στόχων σε μεγάλες αποστάσεις και με μεγάλη ακρίβεια. Με βάση την ακτινοβολία που λαμβάνει ανιχνεύει την απόσταση και τη θέση του στόχου. Αν ο στόχος είναι κινούμενος υπολογίζει

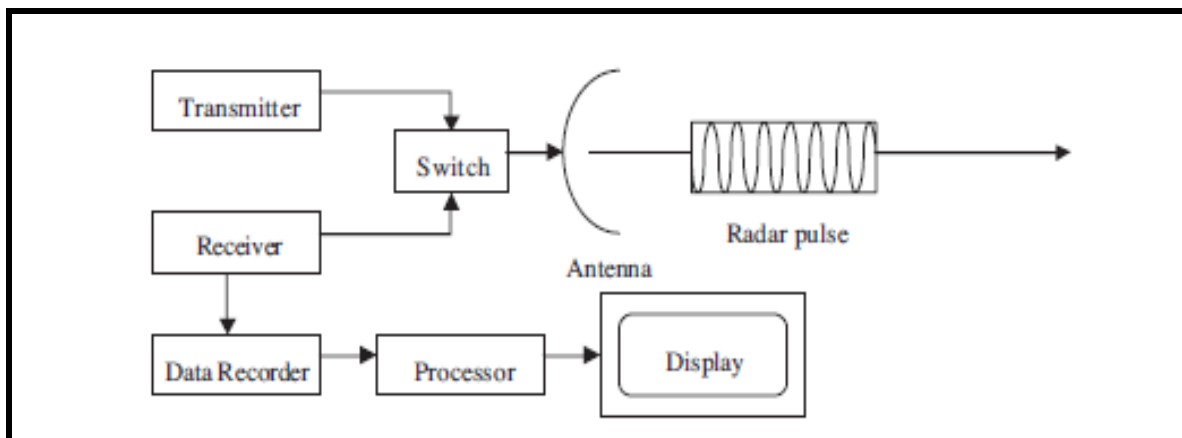
επιπλέον την ταχύτητα και την πορεία του. Η πορεία ενός ραντάρ οριοθετείται κατά μήκος της τροχιάς επιτήρησης με σταθερή ταχύτητα. Για πραγματικά ραντάρ συνθετικής απεικόνισης, η μεγάλη του κεραία έχει την ιδιότητα να δημιουργεί μια δέσμη φωτός που φωτίζει το έδαφος που βρίσκεται στην περιοχή από κάτω του. Ακόμη, η ανάλυση της κατά μήκος παρακολούθησης καθορίζεται από το πλάτος της δέσμης.

Η συσκευή ραντάρ αποτελείται από ένα πομπό που είναι συνδεδεμένος με μία κεραία εκπομπής με σκοπό την εκπομπή ηλεκτρομαγνητικών κυμάτων από τον πομπό και ένα δέκτη που συνδέεται με μία κεραία λήψης προκειμένου να λαμβάνονται τα ανακλώμενα σήματα από τους στόχους. Τα παραπάνω συνθέτουν το γνωστό σε όλους μας ραντάρ.

Η βασική μορφή και η αρχή λειτουργίας ενός συστήματος ραντάρ φαίνεται στα παρακάτω σχήματα.



**Εικόνα 2.7:** Αρχή Λειτουργίας Ραντάρ.



**Εικόνα 2.8:** Βασικό διάγραμμα ενός τυπικού συστήματος SAR.

### 2.3.1 Η ΕΞΙΣΩΣΗ ΤΟΥ ΡΑΝΤΑΡ

Για την ανίχνευση ενός αντικειμένου από σύστημα ραντάρ είναι απαραίτητο η ισχύς  $P_t$ , που επιστρέφει σαν ηχώ στον δέκτη, να υπερβαίνει ένα ελάχιστο κατώφλι ισχύος  $P_m$ . Το κατώφλι  $P_m$  καθορίζεται από τα χαρακτηριστικά του δέκτη του ραντάρ και πολλές φορές από ανεπιθύμητες ανακλάσεις που προέρχονται από αντικείμενα γύρω από τον στόχο.

Έστω μία κεραία ραντάρ, η οποία εκπέμπει σήμα ισχύος κορυφής  $P_\pi$  (peakpower), προς την κατεύθυνση του στόχου που απέχει απόσταση  $R$  και έχει ραδιοδιατομή  $\sigma$  (RCS). Οι υπολογισμοί που ακολουθούν έχουν σκοπό την εύρεση της τιμής ισχύος του σήματος που επιστρέφει στο δέκτη, μετά από την ανάκλαση πάνω στο στόχο.

Εάν θεωρήσουμε την κεραία ισοτροπική, τότε η συνολικά εκπεμπόμενη ισχύς  $P_\pi$  κατανέμεται ομοιόμορφα πάνω στην επιφάνεια σφαίρας ακτίνας  $R$ .

Επειδή, η επιφάνεια της σφαίρας ισούται με  $4\pi R^2$  η εκπεμπόμενη επιφανειακή πυκνότητα ισχύος  $W$  ( $Watt / m^2$ ) στη θέση του στόχου, ισούται με:

$$W = \frac{P_\pi}{4\pi R^2} \quad (\text{Σχέση 2.1})$$

Ωστόσο, στην περίπτωση κατευθυντικής κεραίας εκπομπής κέρδους  $G$ , η επιφανειακή πυκνότητα ισχύος  $W$  ( $Watt / m^2$ ) του ληφθέντος σήματος στη θέση του στόχου, είναι :

$$W = \frac{P_\pi}{4\pi R^2} G \quad (\text{Σχέση 2.2})$$

Το γινόμενο  $P_\pi * G$  είναι γνωστό και ως ενεργή εκπεμπόμενη ισχύς (effective radiated power – ERP).

Για κάθε αντικείμενο που φωτίζεται από την πυκνότητα ισχύος  $W$  έχουμε επιστροφή από την κεραία της ποσότητας ισχύος  $P_\sigma$  (Watt). Έτσι, ορίζουμε σαν ενεργό διατομή ραντάρ  $\sigma(m^2)$  τον λόγο:

$$\sigma = \frac{P_\sigma}{W} \quad (\text{Σχέση 2.3})$$

Αφού η ισχύς  $P_{\sigma}$  εκπέμπεται προς την κεραία η ηχώ από τον στόχο σε απόσταση  $R$  παρουσιάζει την πυκνότητα ισχύος  $W_{\lambda}$  (Watt/m<sup>2</sup>) δίδεται όπως παρακάτω.

Σύμφωνα με τον ορισμό της ραδιοδιατομής  $\sigma$  (RCS) του στόχου, η ένταση ακτινοβολίας (γωνιακή πυκνότητα ισχύος), δηλαδή η ισχύς του σήματος ανά μονάδα στερεάς γωνίας (W/sterad), η οποία μετά από την ανάκλαση επί του στόχου κατευθύνεται προς το ραντάρ, ισούται με:

$$W_{\lambda} = \frac{P_{\sigma}}{4\pi R^2} = \frac{P_{\pi}}{(4\pi R^2)^2} G\sigma \quad (\text{Σχέση 2.4})$$

Αν υποθέσουμε ότι η ενεργός επιφάνεια  $A_{\varepsilon}$  της κεραίας του ραντάρ είναι γνωστή, ισχύει η σχέση:

$$A_{\varepsilon} = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (\text{Σχέση 2.5})$$

(Όπου  $\lambda$  είναι το μήκος κύματος της ακτινοβολίας)

Η ισχύς λήψης  $P_{\lambda}$  για τον αριθμό των παλμών που επιστρέφουν από τους στόχους είναι:

$$P_{\lambda} = W_{\lambda} A_{\varepsilon} = \frac{P_{\pi} G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 R^4} \quad (\text{Σχέση 2.6})$$

Γνωρίζοντας ότι η μικρότερη ισχύς που μπορεί να ανιχνευθεί είναι  $P_{\lambda}=P_m$ , η μέγιστη εμβέλεια  $R_M$  του ραντάρ για ένα στόχο βρίσκεται επιλύοντας την τελευταία σχέση ως ακολούθως:

$$R_M = \left( \frac{P_{\pi} G^2 \sigma \lambda^2}{(4\pi)^3 P_m} \right)^{1/4} \quad (\text{Σχέση 2.7})$$

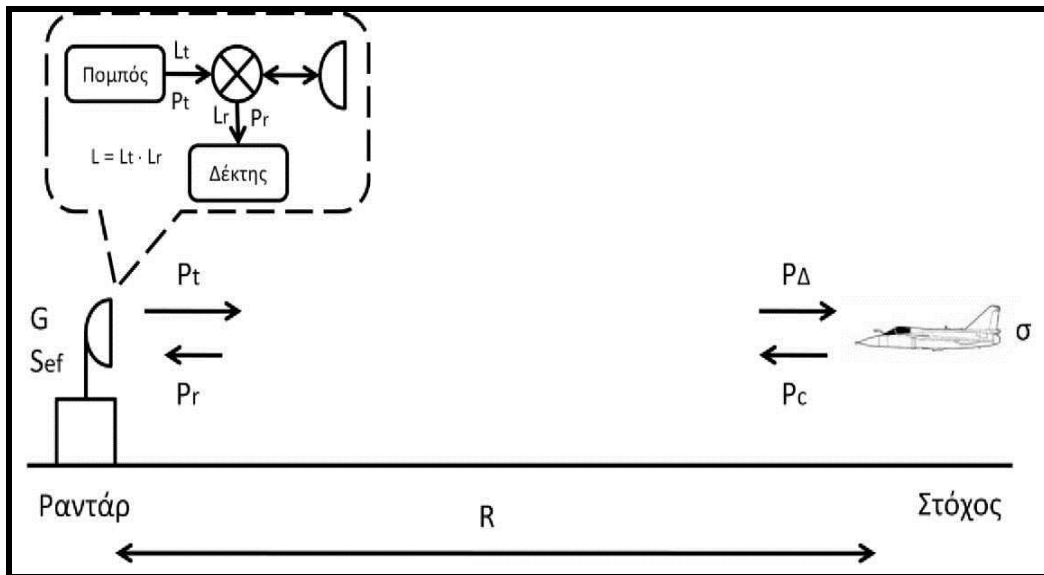
Η παραπάνω εξίσωση αποτελεί μια πρώτη προσέγγιση στην εμβέλεια του ραντάρ η οποία όμως μεταβάλλεται αν λάβουμε υπόψη και άλλους παράγοντες.

Στην περίπτωση κινουμένων στόχων, η φέρουσα συχνότητα του σήματος επιστροφής είναι διαφορετική από τη φέρουσα συχνότητα του σήματος εκπομπής του ραντάρ, λόγω του φαινομένου Doppler. Η αλλαγή αυτή μπορεί να χρησιμεύσει για τη μέτρηση της ακτινικής

(ως προς το ραντάρ) συνιστώσας της ταχύτητας του στόχου. Αν  $f_i$  η φέρουσα συχνότητα του σήματος εκπομπής του ραντάρ και  $v$  η ακτινική ταχύτητα του στόχου, η φέρουσα συχνότητα του σήματος επιστροφής δίνεται από τη σχέση

$$f_r = f_i(1 \mp 2v/c) \quad (\text{Σχέση 2.8})$$

Στην τελευταία σχέση, το αρνητικό πρόσημο αντιστοιχεί σε στόχο που απομακρύνεται από το ραντάρ, ενώ το θετικό πρόσημο σε στόχο που πλησιάζει προς αυτό. Στη συνέχεια, θα εξετασθεί ο τρόπος με τον οποίο το ελάχιστο ανιχνεύσιμο σήμα  $S_{\min}$  σχετίζεται με τη σηματοθορυβική σχέση  $S/N$ , σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά αυτοθορύβου (self noise) του δέκτη.



**Εικόνα 2.9:** Εξίσωση Ραντάρ και Μικροκυματικές Απώλειες.

### 2.3.2 ΤΟ ΦΑΙΝΟΜΕΝΟ DOPPLER

Το φαινόμενο Doppler που πήρε το όνομά του από τον Christian Doppler, είναι η παρατηρούμενη αλλαγή στη συχνότητα και το μήκος κύματος ενός κύματος από παρατηρητή που βρίσκεται σε σχετική κίνηση με την πηγή των κυμάτων. Για κύματα όπως τα ηχητικά κύματα, που διαδίδονται μέσα σε κάποιο υλικό μέσο, η ταχύτητα τόσο του παρατηρητή όσο και της πηγής, πρέπει να προσδιορίζεται σε σχέση με το μέσο διάδοσης. Το τελικό φαινόμενο Doppler μπορεί επομένως να προκύψει είτε από την κίνηση του παρατηρητή, είτε από την κίνηση της πηγής, είτε και των δύο, ως προς το μέσο διάδοσης.



Καθεμιά από αυτές τις δύο επιδράσεις αναλύεται ξεχωριστά. Για κύματα που δεν χρειάζονται ένα υλικό μέσο για τη διάδοσή τους, όπως τα ηλεκτρομαγνητικά (φως) ή τα βαρυτικά κύματα στην ειδική σχετικότητα, παίζει ρόλο μόνο η σχετική ταχύτητα του παρατηρητή ως προς την πηγή.

Προτού προχωρήσουμε στην περιγραφή του φαινομένου Doppler, αυτού καθ' εαυτού, θα κάνουμε μια παρένθεση στην αναφορά της αιτίας που το φαινόμενο αυτό είναι τόσο σημαντικό στη λειτουργία των SAR's.

Η τεχνική SAR διακρίνεται σε δύο βασικές κατηγορίες, που κοινό σκοπό έχουν τη βελτίωση της κατευθυντικότητας της κεραίας:

A) Συμβατική χαρτογράφηση (Conventional-real beam mapping), η οποία βασίζεται στη συνθετική αύξηση του μεγέθους της κεραίας, που επιτυγχάνεται μέσω της αποθήκευσης των σημάτων που επιστρέφουν από το στόχο (έδαφος). Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιεί σύμφωνα (coherent) παλμικά συστήματα ραντάρ. Η επιτυγχάνόμενη ανάλυση καθορίζεται από το γωνιακό εύρος του λοβού (bearing & cross range resolution) και τη διάρκεια παλμού (range resolution). Όσο μικρότερο είναι το γωνιακό εύρος του λοβού και όσο μικρότερη είναι η χρονική διάρκεια του παλμού, τόσο καλύτερες είναι οι αναλύσεις που θα προκύψουν.

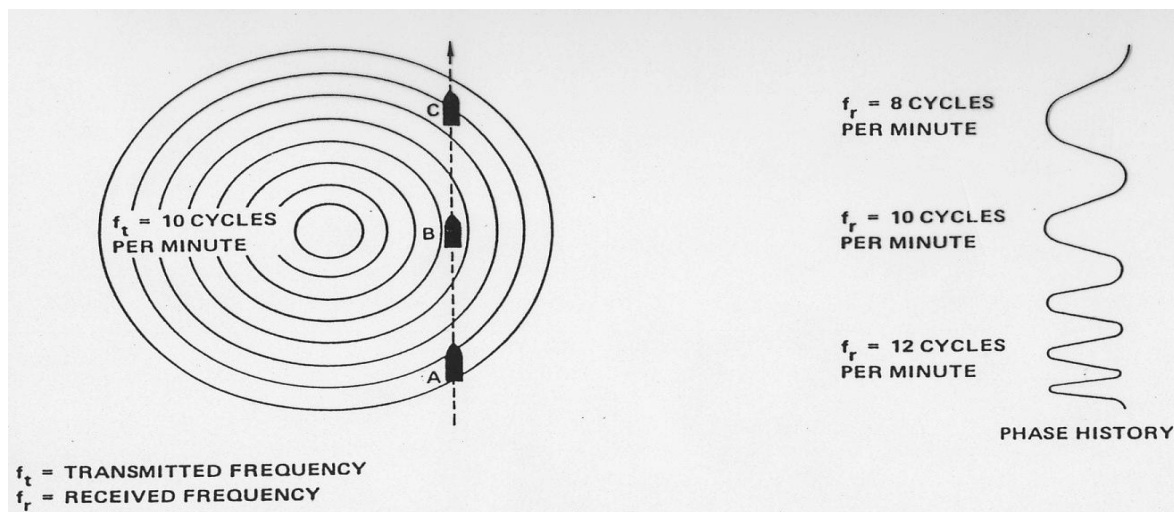
B) Χαρτογράφηση Doppler (Doppler mapping), η οποία βασίζεται στην αντίληψη της διαφοράς συχνότητας λόγω φαινομένου Doppler, των επιστροφών που λαμβάνονται ταυτόχρονα από τα διάφορα σημεία του εδάφους. Η τεχνική αυτή, χρησιμοποιεί παλμικό ραντάρ Doppler (coherent) και επιτυγχάνει μεγαλύτερη ανάλυση κατά διόπτρευση, συγκριτικά με την προηγούμενη συμβατική τεχνική.

Έτσι, θα ασχοληθούμε αναλυτικότερα με το φαινόμενο Doppler λόγω της μεγάλης σημασίας που έχει στα SAR.

Αναλυτικότερα, στην εικόνα 2.10 απεικονίζεται παραστατικά το φαινόμενο Doppler. Ένα έμβολο ταλαντώνεται στο νερό παράγοντας κύματα τα οποία ταξιδεύουν στο νερό κατά κύκλους με συχνότητα 10 κύκλους/λεπτό, ενώ η ταχύτητα των κυμάτων είναι γνωστή. Το έμβολο θεωρείται πηγή κυμάτων όμοια με το radar και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι ένα πλοίο κινείται κατά μήκος μιας γραμμής. Στη θέση B ένας επιβάτης θα μπορούσε να

μετρήσει 10 κύκλους/λεπτό αφού δεν κινείται χωρίς παράλληλα ούτε να πλησιάζει αλλά ούτε και να απομακρύνεται από την πηγή. Εντούτοις, στη θέση A το πλοίο κινείται προς την πηγή των κυμάτων, γι αυτόν τον λόγο ο επιβάτης θα μετρήσει περισσότερο αριθμό κυμάτων, ίσως 12 κύκλους/λεπτό. Η ταχύτητα αντίστοιχα με την οποία ταξιδεύουν τα κύματα παρουσιάζεται μεγαλύτερη, ως συνέπεια της ταχύτητας του πλοίου.

Αντίθετα, στη θέση C το πλοίο απομακρύνεται από την πηγή και η αντιληπτή συχνότητα των κυμάτων είναι ίσως 8 κύκλοι/λεπτό. Η συχνότητα Doppler είναι η διαφορά (ολίσθηση) της αντιληπτής (λαμβανόμενης) συχνότητας από την πραγματική (εκπεμπόμενη). Η διαφορά αυτή προκύπτει από την σχετική κίνηση μεταξύ πηγής και παρατηρητή. Αντίστοιχα, η μεταβολή της συχνότητας κατά μήκος της γραμμής AC μπορεί να παρουσιαστεί γραφικά σα να μην υπήρχε σχετική κίνηση στο πεδίο. Αυτό οδηγεί σε ένα μοντέλο φάσης των σημάτων το οποίο είναι ισοδύναμο με το μοντέλο Doppler.



**Εικόνα 2.10:** Σχηματική απεικόνιση φαινομένου Doppler.

Αντί για έμβολο μπορούμε να θεωρήσουμε ένα αεροπλάνο το οποίο φέρει radar που εκπέμπει σήματα. Το πλοίο αντιστοιχεί σε ένα στόχο ο οποίος φαίνεται να κινείται σε σχέση με την δέσμη της κεραίας. Τα σήματα τα οποία οπισθοσκεδάζονται από τον στόχο και λαμβάνονται στην κεραία, εάν καταγραφούν, έχουν παρόμοια καταγραφή με αυτή των κυμάτων από τον επιβάτη. Αυτή η καταγραφή ονομάζεται ιστορικό Doppler ή ιστορικό φάσης (phase history). Στο αρχικό στάδιο φωτισμού του στόχου, η συχνότητα Doppler είναι θετική διότι η απόσταση δέκτη – στόχου μειώνεται. Σε κάποιο σημείο αντίστοιχο του B μηδενίζεται, και στη συνέχεια λαμβάνει αρνητικές τιμές γιατί η απόσταση δέκτη –

στόχου αυξάνεται. Το ιστορικό φάσης είναι αυτό το οποίο τελικά χρησιμοποιείται στην επεξεργασία SAR.

### 2.3.2.1 ΜΕΤΑΤΟΠΙΣΗ DOPPLER

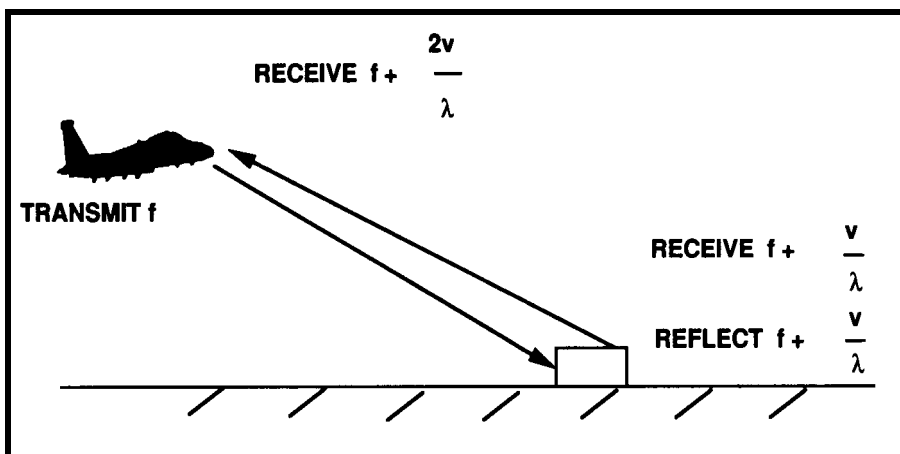
Μετατόπιση Doppler ονομάζεται η μετατόπιση στην συχνότητα ανάμεσα στο εκπεμπόμενο σήμα και στην ηχώ επιστροφής από τους κινούμενους στόχους. Είναι γνωστό από την κυματική φυσική πως όταν υπάρχει σχετική κίνηση μεταξύ παρατηρητή και πηγής κυμάτων (ακουστικών ή ηλεκτρομαγνητικών) σταθερής συχνότητας  $f$ , τότε η συχνότητα των κυμάτων που λαμβάνει ο παρατηρητής, στη γενική περίπτωση διαφέρει από αυτήν της πηγής. Όταν, η απόσταση παρατηρητή - πηγής μειώνεται τότε η συχνότητα που δέχεται ο παρατηρητής είναι μεγαλύτερη από την πηγής ενώ όταν η απόσταση αυξάνεται, τότε η λαμβανόμενη συχνότητα είναι μικρότερη.

Γνωρίζουμε από την θεωρία της σχετικότητας ότι εάν θεωρήσουμε  $f_1$  την συχνότητα που λαμβάνει ένας εξωτερικός παρατηρητής από την κίνηση ενός αεροπλάνου που βρίσκεται

στο έδαφος τότε αυτή θα είναι  $f_1 = f \frac{c + v}{\sqrt{c^2 - v^2}}$  όπου  $f$  η συχνότητα διάδοσης  $v$  η

ταχύτητα διάδοσης και  $c$  η ταχύτητα του φωτός. Η μιας φορές μετατόπιση Doppler θα είναι  $f_d = f_1 - f$  και χρησιμοποιώντας το γεγονός ότι η ταχύτητα του αεροπλάνου είναι πολύ

μικρότερη από εκείνη του φωτός τότε έχουμε  $f_d = \frac{f \cdot v}{c}$ .



**Εικόνα 2.10:** Μετατόπιση συχνότητας Doppler.

Όπως φαίνεται και από το παραπάνω σχήμα η συνολική μετατόπιση θα είναι το άθροισμα των επιμέρους μετατοπίσεων:

$$f_d = \frac{2 \cdot f \cdot v}{c} = \frac{2 \cdot v}{\lambda}$$

Ένας δεύτερος τρόπος για να αποδείξουμε την σχέση που μας δίνει την συχνότητα Doppler και περισσότερο προσφιλής στις εφαρμογές radar είναι ο εξής:

Έστω  $R$  η απόσταση ραντάρ - στόχου και  $\lambda$  το μήκος κύματος εκπομπής του ραντάρ. Τότε, η συνολική απόσταση που διανύει το κύμα μέχρι να επιστρέψει πίσω στο ραντάρ μετά από την ανάκλασή του πάνω στο στόχο, θα είναι  $2R$ , ενώ εκφρασμένη σε μήκη κύματος θα είναι  $2R/\lambda$ . Δεδομένου, ότι μία απόσταση ίση με  $\lambda$  αντιστοιχεί σε  $2\pi$  ακτίνια, η παραπάνω απόσταση αντιστοιχεί σε  $4\pi R/\lambda$  ακτίνια, τα οποία εκφράζουν τη φάση του κύματος, όταν αυτό επιστρέψει στο δέκτη του ραντάρ. Στην περίπτωση που ο στόχος κινείται, τόσο η απόσταση  $R$ , όσο και η φάση  $\phi$  του επιστρεφόμενου κύματος, μεταβάλλονται συνεχώς.

Η διαφορά φάσης μεταξύ εκπεμπόμενου και λαμβανόμενου σήματος θα είναι:

$$\phi = -\frac{2\pi(2R)}{\lambda}$$

(όπου το “-“ δηλώνει την καθυστέρηση φάσης)

Χρησιμοποιώντας τον ορισμό της συχνότητας έχουμε  $f = \frac{1}{2\pi} \left( \frac{d\phi}{dt} \right)$ . Πραγματοποιώντας

την παραγωγή προκύπτει η μετατόπιση Doppler η οποία θα είναι:

$$f_d = \frac{-2}{\lambda} \left( \frac{dR}{dt} \right) = \frac{2 \cdot v}{\lambda}$$

## 2.4 ΡΑΝΤΑΡ ΣΥΝΘΕΤΙΚΗΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (SAR)

### 2.4.1 ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ SAR

Το ραντάρ συνθετικής απεικόνισης (SAR) είναι μια μορφή ραντάρ της οποίας το κυριότερο χαρακτηριστικό είναι η χρήση της σχετικής κίνησης, μεταξύ μιας κεραίας και της περιοχής στόχου, για να παρέχει διακριτικές μακροπρόθεσμες μεταβολές συμφασικού σήματος. Πολύ σημαντικό στοιχείο είναι η λειτουργία τους ανεξάρτητα των καιρικών

συνθηκών καθώς είναι σε θέση να λειτουργούν υπό οποιεσδήποτε μετεωρολογικές συνθήκες. Οι μεταβολές αυτές αξιοποιούνται για να λάβουν το λεπτότερο χωρικό ψήφισμα το οποίο πραγματοποιείται με τα συμβατικά μέσα ακτινών-ανίχνευσης. Η αρχική ιδέα που οδήγησε στη δημιουργία τους ήταν να αποτελέσει μια προηγμένη μορφή side-looking αερομεταφερόμενου ραντάρ (SLAR). Από τη στιγμή της τοποθέτησής του το SAR ενεργεί εκπέμποντας ραδιοκύματα, όντας σε μια κινούμενη πλατφόρμα όπως ένα αεροσκάφος (air borne) ή ένα διαστημόπλοιο (space borne), εξ' ου και παίρνει αντίστοιχα κάθε φορά την ονομασία του. Τα ραδιοκύματα εκπέμπονται από μια ενιαία κεραία ακτινικής διαμόρφωσης, από την οποία μια σκηνή στόχων είναι επανειλημμένα φωτισμένη με τους παλμούς των ραδιοκυμάτων να κυμαίνονται σε μήκη κύματος από ένα μέτρο έως μερικά χιλιοστά. Τα πολλά κυματοειδή ηχούς που παραλαμβάνονται διαδοχικά στις διαφορετικές θέσεις κεραιών ανιχνεύονται με συνοχή, αποθηκεύονται και έπειτα υποβάλλονται όλα μαζί σε επεξεργασία για να αναγνωρίσουν τα στοιχεία σε μια εικόνα της περιοχής στόχων. Τα τρέχοντα αερομεταφερόμενα συστήματα παρέχουν τα ψηφίσματα σε περίπου 10 εκατοστά τα εξαιρετικά-ευρείας ζώνης συστήματα παρέχουν τα ψηφίσματα μερικών χιλιοστών (millimeter), και το πειραματικό terrahertz SAR έχει παράσχει το υπό του χιλιοστού (sub-millimeter) ψήφισμα στο εργαστήριο. Οι εικόνες SAR έχουν ευρείες εφαρμογές στην τηλεπισκόπηση και τη χαρτογράφηση των επιφανειών και της γης και άλλων πλανητών. Το SAR μπορεί επίσης να εφαρμοστεί ως «αντίστροφο SAR» με την παρατήρηση ενός κινούμενου στόχου κατά τη διάρκεια ενός χρονικού διαστήματος με μια στάσιμη κεραία.

#### **2.4.2 ΑΡΧΗ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ ΤΩΝ SAR**

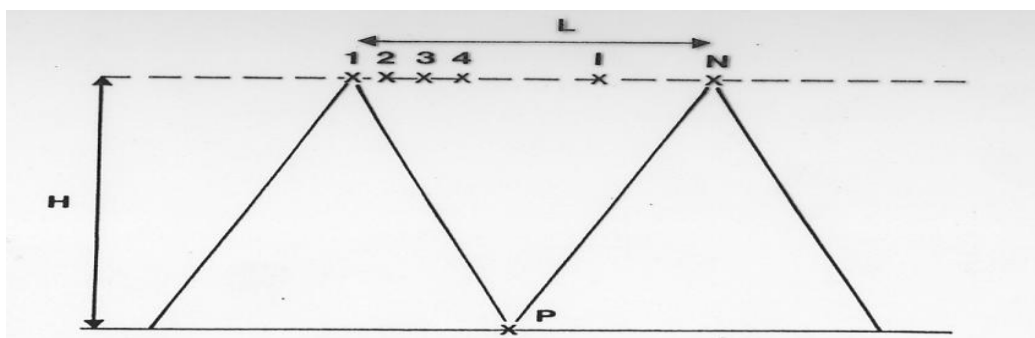
Η αρχή λειτουργίας των SAR είναι κοινή με εκείνη των ραντάρ με την ιδιαιτερότητα ότι στην SAR, η προς τα εμπρός κίνηση της πραγματικής κεραίας χρησιμοποιείται για να «συνδεθεί» μια πολύ μεγάλη μακριά κεραία. Σε κάθε θέση ένας παλμός μεταδίδεται, η επιστρεφόμενη ηχώ περνάει μέσα από το δέκτη και καταγράφεται σε μία «βάση δεδομένων ηχώ». Η διακύμανση της συχνότητας Doppler για κάθε σημείο στο έδαφος αποτελεί ξεχωριστή ‘‘υπογραφή’’. Η επεξεργασία SAR περιλαμβάνει την εναρμόνιση και τη διακύμανση της συχνότητας Doppler καθώς και την αναδιαμόρφωση μέσω της ρύθμισης της διακύμανσης της συχνότητας στην επιστρεφόμενη ηχώ από κάθε σημείο στο έδαφος. Αποτέλεσμα αυτού του φίλτρου προσαρμογής είναι μια απεικόνιση υψηλής ανάλυσης.

### 2.4.3 ΓΕΩΜΕΤΡΙΑ ΤΩΝ SAR

Σύμφωνα με τη γεωμετρία λήψης των Radar πραγματικού ανοίγματος (SLAR) απεικονίσεων, για την αύξηση της διακριτικής τους ικανότητας ( $\Delta I$ ) κατά την διεύθυνση της πτήσεως (ή διεύθυνση των αζιμουθίων) απαιτείται μεγάλο ανοίγματος κεραία ( $\Delta I = R \cdot \lambda / D$ ). Για Radar παρατήρησης αεροδρομίων όπου η πλευρική απόσταση  $R$  των 50 χιλιομέτρων είναι ικανοποιητική και για ένα σύνθετες  $D/\lambda$  της τάξης των 100, προκύπτει διακριτική ικανότητα των αζιμουθίων ίση με 500μ. η οποία κρίνεται ικανοποιητική.

Αντίθετα για διαστημικές πλατφόρμες οι οποίες συνήθως έχουν πλευρική απόσταση  $R = 800\chi\lambda\mu.$  για να επιτύχουμε διακριτική ικανότητα ίση με 1χλμ. απαιτείται  $D/\lambda$  ίσο με 800 το οποίο πρακτικά είναι αδύνατον. Ακόμη και εάν το χρησιμοποιούμενο μήκος κύματος είναι μικρό, της τάξης των 20 εκ. ( $L$  κανάλι), το αντίστοιχο απαιτούμενο μήκος κεραίας είναι 160 μ. Η κεραία του Seasat με  $D/\lambda = 45$ , για πλευρική απόσταση 800χλμ. έχει SLAR διακριτική ικανότητα ίση με 18χλμ. Γι αυτόν τον λόγο αναπτύχθηκαν τα Radars Συνθετικού Ανοίγματος (SAR). Αυτοί οι τύποι των radars πετυχαίνουν υψηλή  $\Delta I$  στην διεύθυνση των αζιμουθίων η οποία είναι ανεξάρτητη από την πλευρική απόσταση χρησιμοποιώντας κεραία μικρού μήκους και σχετικά μεγάλο μήκος κύματος.

Μια συνθετική κεραία παράγεται από την κίνηση του φορέα του δέκτη. Ο ίδιος στόχος πάνω στη γήινη επιφάνεια εμπίπτει στο εύρος δέσμης του radar και επομένως δέχεται και σκεδάζει ακτινοβολία, για πολλές γειτονικές, διαδοχικές κατά τον άξονα πτήσης, θέσεις του radar. Επομένως για τον ίδιο στόχο έχουμε καταγεγραμμένα πολλά σήματα. Συνδυάζοντας αυτά τα διαφορετικά σήματα, παράγεται μια «συνθετική κεραία» στον υπολογιστή η οποία μας παρέχει μια πολύ υψηλότερη διακριτική ικανότητα κατά την διεύθυνση της πτήσης. Στο σχήμα 1 παρουσιάζονται οι διαφορετικές θέσεις 1,2, N του radar για τις οποίες δέχεται επιστρεφόμενο σήμα από τον στόχο P.



**Εικόνα 2.11:** Διαφορετικές θέσεις επιστρεφόμενου σήματος Radar.

Βασικό ρόλο στον υπολογισμό της συνθετικής κεραίας παίζει το γεγονός ότι η συχνότητα των σημάτων τα οποία λαμβάνονται μεταβάλλεται λόγω της μεταβολής της σχετικής θέσης του radar ως προς τον στόχο. Αυτή η μεταβολή (ολίσθηση) της συχνότητας οφείλεται στο φαινόμενο Doppler.

#### 2.4.4 ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗ ΤΩΝ ΕΙΚΟΝΩΝ SAR

Μια SAR εικόνα είναι ένας αριθμός εικονοστοιχείων που χαρακτηρίζονται από τιμές έντασης και φάσης ταυτόχρονα. Ουσιαστικά τα SAR μέσω των μετρήσεων που εκτελούν δημιουργούν απεικονίσεις 2Δ, όπου ενυπάρχουν σε αρμονία οι μετρήσεις έντασης και φάσης μαζί, με τις εικόνες έντασης να αποτελούν τις κλασικές οπτικές εικόνες που παράγονται κατά τις αεροφωτογραφίσεις. Έτσι, εξαιτίας της πολυπλοκότητας των εικόνων αυτών, η αναπαράσταση του σήματός τους (φάση + ένταση) γίνεται μόνο με μιγαδικό τρόπο απεικόνισης. Αν μπορούσαμε να διαχωρίσουμε για την ίδια εικόνα τις τιμές αυτές σε δύο (2) ξεχωριστές εικόνες τότε το αποτέλεσμα που θα προέκυπτε ξεχωριστά είναι:



**Εικόνα 2.12 : Εικόνα έντασης  
(amplitude image)**



**Εικόνα 2.13 : Εικόνα φάσης  
(phase image)**

Επιπροσθέτως, εν αντιθέσει με τις οπτικές, οι SAR εικόνες απαιτούν επιπλέον επεξεργασία καθώς όπως αντιλαμβάνεται κανείς όλη αυτή η πληροφορία τιμών (values) φάσης και έντασης προκαλεί παραμορφώσεις στις εικόνες, η οποία και πρέπει να γίνει με μεγάλη προσοχή πριν την παραγωγή της τελικής εικόνας.

Εύκολα συνάγεται από τα παραπάνω η ραδιομετρική και γεωμετρική διαφορετικότητα μεταξύ οπτικών και SAR εικόνων.

#### 2.4.5 ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΩΝ SAR

Τα SAR μετρούν τα εξής:

- γεωμετρικά χαρακτηριστικά

- ταχύτητα
- μεταβολή στο χρόνο
- διάφορες άλλες ιδιότητες

Ως εκ τούτου, μια σημαντική δυνατότητα που παρέχει η αξιοποίηση των SAR είναι η δημιουργία Ψηφιακών Μοντέλων Εδάφους (ΨΜΕ) στους εξής τομείς:

- Γεωργία (ταξινόμηση καλλιεργειών – υγρασία εδάφους)
- Ωκεανογραφία (ρεύματα, κύματα)
- Γεωλογία (κατηγοριοποίηση εδαφών)
- Δασολογία (ύψος κάλυψης, όγκος ξυλείας)
- Παρακολούθηση μικρομετακινήσεων (ηφαίστεια – σεισμοί – τεκτονικές πλάκες)
- Περιβαλλοντολογικές εφαρμογές (πετρελαιοκηλίδες, πλημμύρες)

Ειδικότερα, οι μετρητικές εφαρμογές στον κλάδο της Τοπογραφίας αποτυπώνονται ως εξής:

#### **Τοπογραφική/Γεωδαιτική Αποτύπωση (2Δ-3Δ):**

- εξαγωγή οριζοντιογραφικών χαρακτηριστικών (2Δ)
- παραγωγή Ψ.Μ.Ε. (3Δ)

#### **Χαρτογράφηση Ταχυτήτων (4Δ):**

- εντοπισμός κινούμενων στόχων
- κινήσεις πάγων
- έλεγχος κυκλοφορίας οχημάτων

#### **Εντοπισμός Διαχρονικών Μεταβολών (3Δ-4Δ):**

- μικρομετακινήσεις
- καταστροφές από σεισμούς
- παρακολούθηση κτισμάτων/κατασκευών
- παρακολούθηση χρήσεων γης
- χαρτογράφηση πλημμυρών
- παρακολούθηση παράκτιων περιοχών



## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 : ΠΕΡΙΓΡΑΦΗ ΔΟΡΥΦΟΡΙΚΩΝ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

### TERRA SAR-X ΚΑΙ RADAR SAT-2

#### 3.1 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ TERRA SAR-X

##### 3.1.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Οι περισσότερες από τις πληροφορίες για το δορυφορικό σύστημα TerraSAR-X που παρουσιάζονται στη συνέχεια, αφορούν τα βασικότερα από τα στοιχεία που διατίθενται στο έγγραφο προδιαγραφών των βασικών προϊόντων του συστήματος, όπως διατέθηκε για το κοινό και εγκρίθηκε το 2009 και στο οποίο ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για περισσότερες λεπτομέρειες (Eineder, Fritz, Mittermayer, Roth, Börner, & Breit, 2009).

##### 3.1.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ

Το δορυφορικό σύστημα TerraSAR-X (TSX-1), αποτελεί ένα εμπορικό ραντάρ συνθετικού ανοίγματος γερμανικής προελεύσεως, το οποίο εκτοξεύτηκε τον Ιούνιο 2007 και με προγραμματισμένη διάρκεια ζωής 5 ετών. Το σύστημα φέρει αισθητήρα στην X-band υψηλής συχνότητας και δύναται να λειτουργήσει με πολλαπλές τεχνικές απεικόνισης. Η αποστολή TerraSAR-X βασίζεται σε σύμβαση δημοσίου και ιδιωτικού δικαίου μεταξύ του γερμανικού υπουργείου εκπαίδευσης και επιστημών, το οποίο αντιπροσωπεύεται από το γερμανικό κέντρο αεροδιαστημικής βιομηχανίας DLR και της Ευρωπαϊκής Διαστημικής Εταιρίας EADS Astrium GmbH. Τα βασικά χαρακτηριστικά του συστήματος αναλύονται στους πίνακες που ακολουθούν (Εικόνες 3.1 και 3.2) :

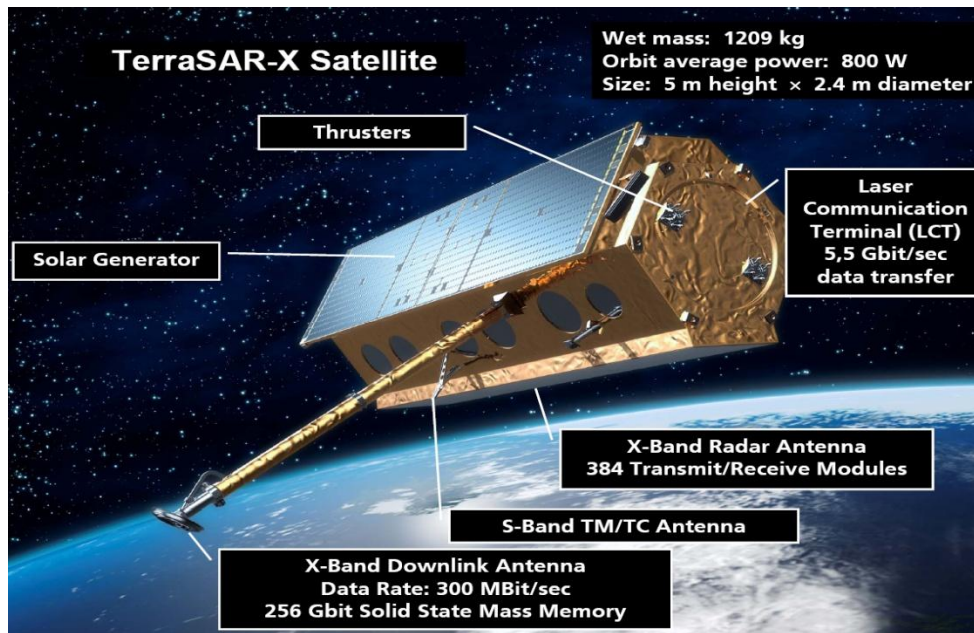
Orbit and Attitude Parameters	
Nominal orbit height at the equator	514 km
Orbits / day	15 <sup>2</sup> / <sub>11</sub>
Revisit time (orbit repeat cycle)	11 days
Inclination	97.44°
Ascending node equatorial crossing time	18:00 ± 0.25 h (local time)
Attitude steering	"Total Zero Doppler Steering"

**Εικόνα 3.1:** Γενικά χαρακτηριστικά συστήματος TerraSAR-X.

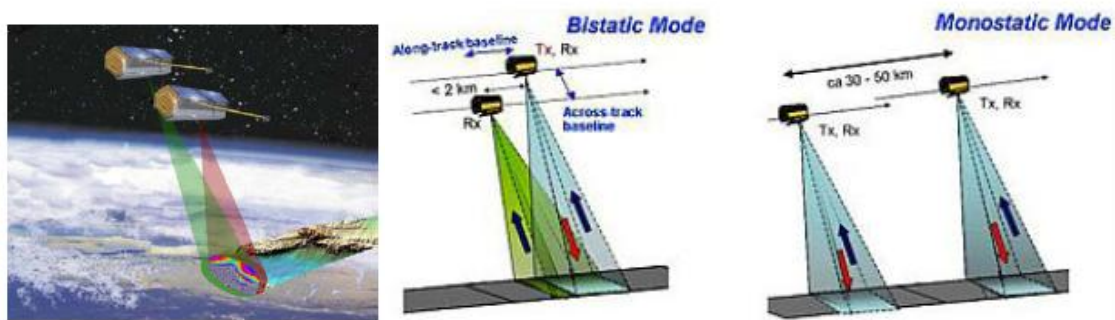
System Parameters	
Radar carrier frequency	9.65 GHz
Radiated RF Peak Power	2 kW
Incidence angle range for stripmap / ScanSAR	20° – 45° full performance (15°-60° accessible)
Polarizations	HH, VH, HV, VV
Antenna length	4.8 m
Nominal look direction	right
Antenna width	0.7 m
Number of stripmap / ScanSAR elevation beams	12 (full performance range) 27 (access range)
Number of spotlight elevation beams	91 (full performance range) 122 (access range)
Number spotlight azimuth beams	229
Incidence angle range for spotlight modes	20° – 55° full performance (15°-60° accessible)
Pulse Repetition Frequency (PRF)	2.0 kHz – 6.5 kHz
Range Bandwidth	max. 150 MHz (300 MHz experimental)

**Εικόνα 3.2:** Τεχνικά χαρακτηριστικά συστήματος TerraSAR-X.

Από το 2010, ο TSX-1 υποστηρίζεται στη πτήση του από το σχεδόν πανομοιότυπο όργανο το **TANDEM-X** (TerraSAR-X add-on for Digital Elevation Measurement, TDX-1), με το οποίο περιστρέφονται γύρω από τη Γη ως ένα μοναδικός σχηματισμός δορυφόρων. Πετώντας σε απόσταση μόνο μερικών εκατοντάδων μέτρων, τα δορυφορικά «δίδυμα» θα αποκτήσουν μια παγκόσμια υψομετρική βάση δεδομένων (DEM), που χαρακτηρίζεται από μια άνευ προηγουμένου ποιότητα, ακρίβεια, και κάλυψη. Βασικό χαρακτηριστικό αυτού του DEM θα είναι η σχετική υψομετρική του ακρίβεια ίσως ακόμα καλύτερα από 2m, καλύπτοντας ολόκληρη την επιφάνεια της Γης, δηλαδή 150 εκατ. Km<sup>2</sup>, έχοντας περιφερειακά διαθέσιμα δεδομένα από το 2013 και πλήρη κάλυψη το 2014.

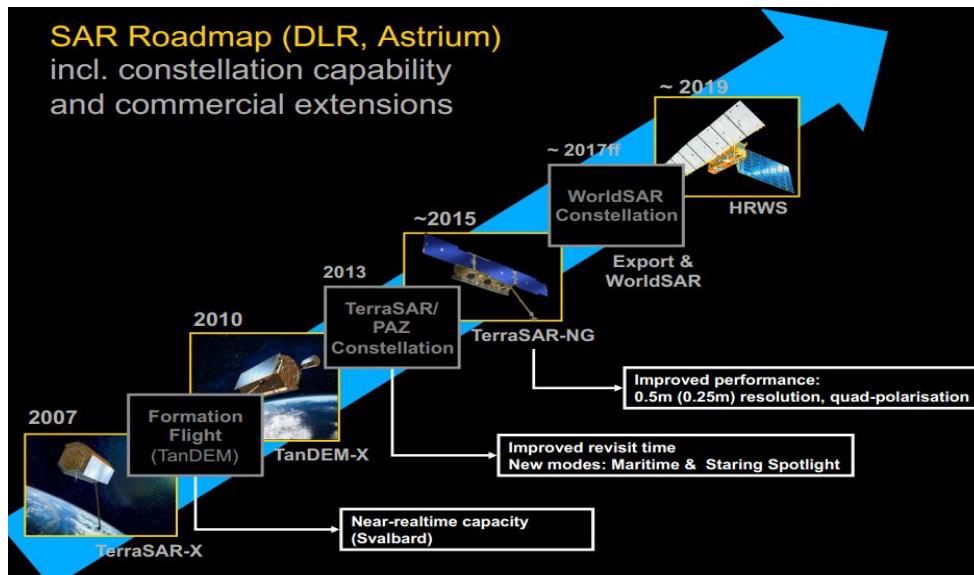


**Εικόνα 3.3:** Εικόνα του Δορυφόρου TerraSAR-X.



**Εικόνα 3.4:** Εικόνα του TanDEM-X.

Η Γερμανία στην κατεύθυνση της παρακολούθησης της γης με SAR συστήματα, σχεδιάζει το 2015 την εκτόξευση της επόμενης γενιάς του TSX (TerraSAR-X Next Generation), τον TSX-2. Ένα ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, που ουσιαστικά παρακολουθεί ένα στόχο από πολλαπλά «παράθυρα», σε συνδυασμό με κατάλληλη επεξεργασία της συνάφειας των μεμονωμένων παραθύρων, ενεργοποιεί την λήψη μιας υψηλής ανάλυσης, με πιο ευρύ πλάτος λαμβανομένης λωρίδας (**high resolution wide swath - HRWS**), που αποτελεί την μελλοντική τάση αυτών των συστημάτων. Τα συστήματα αυτά, υλοποιούνται με την υιοθέτηση μιας νέας τεχνολογίας κεραίας, που διαφοροποιείται από την «κλασική» κεραία των SAR και βασίζεται στην τεχνολογία **DBF (Digital Beam Forming)** (Astrium, 2011).



**Εικόνα 3.5:** Εξέλιξη του συστήματος TSX.

### 3.1.3 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (Imaging Modes)

Η γενική ιδέα των τεχνικών απεικόνισης, που περιγράφονται αναλυτικά εδώ, αφορά το σύνολο των συστημάτων SAR, που παρουσιάζονται στη συνέχεια. **Ειδικά για τον TerraSAR-X, ισχύουν και με τα αναγραφόμενα τεχνικά χαρακτηριστικά.**

Ο TSX-1 χρησιμοποιεί μια «ενεργή» κεραία (active phased antenna). Αυτή αποτελείται από στοιχειώδη σωματίδια, τα οποία μεταφέρουν την ακτινοβολία από την πηγή στο χώρο. Μια τέτοιου τύπου κεραία είναι ικανή να αλλάζει τη φάση του εκπεμπόμενου σήματος, έτσι ώστε η δέσμη της ακτινοβολίας να μεταδίδεται στο χώρο υπό γωνία και όχι κάθετα στην πλατφόρμα, με ηλεκτρονικό τρόπο, χωρίς δηλαδή να στρέφεται στο χώρο. Με την ιδιότητα αυτή της κεραίας και τον πολύ ακριβή προσδιορισμό του χρόνου από το σύστημα του ραντάρ, δίνεται η δυνατότητα συλλογής στοιχείων από την επιφάνεια του εδάφους με διάφορες τεχνικές, παρέχοντας η κάθε μια διαφορετικά προϊόντα.

Συνολικά σχεδιάστηκαν **τέσσερις τεχνικές απεικόνισης** προκειμένου να υποστηρίξουν μία ποικιλία εφαρμογών από εικόνες μεσαίας έως υψηλής ανάλυσης. Εξαιτίας της μικρής κεραίας, το σύστημα δύναται να επιτύχει υψηλή αξιμουθιακή ανάλυση. Ως εκ τούτου η συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF) πρέπει να είναι υψηλή, κάτι όμως που περιορίζει το μέγιστο πλάτος της λωρίδας λήψης.

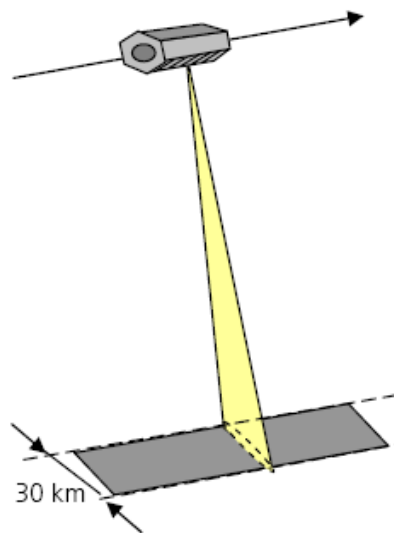
Οι ακόλουθες **τεχνικές απεικόνισης** χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των βασικών προϊόντων:

- **Stripmap mode (SM)**, σε μονή ή διπλή πόλωση
- **High Resolution Spotlight mode (HS)**, σε μονή ή διπλή πόλωση
- **Spotlight mode (SL)**, σε μονή ή διπλή πόλωση
- **ScanSAR mode (SC)**, σε μονή πόλωση

Η διπλή πόλωση ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του ραντάρ μπορεί να είναι HH (Horizontal-Horizontal), VH (Vertical-Horizontal), HV (Horizontal-Vertical), VV (Vertical- Vertical) .

➤ **StripMap Mode (SM)**

Αποτελεί τη βασικότερη τεχνική απεικόνισης των ραντάρ συνθετικού ανοίγματος, όπως π.χ. στον ERS-1 και σε άλλα δορυφορικά ραντάρ. Η λωρίδα εδάφους φωτίζεται με συνεχή ακολουθία παλμών, ενώ η κεραία της δέσμης είναι σταθερή σε υψόμετρο και αζιμούθιο. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα την επίτευξη μίας συνεχούς ποιότητας στην λωρίδα των απεικονίσεων (στην κατεύθυνση πτήσης). Τα προϊόντα StripMap διπλής πόλωσης έχουν ελαφρώς μικρότερη χωρική ανάλυση και μικρότερο πλάτος από τα αντίστοιχα μονής πόλωσης. Επίσης στη συγκεκριμένη τεχνική απεικόνισης δύναται να επιτευχθεί χωρική ανάλυση έως 3m. Το τυπικό μέγεθος σκηνής είναι 30 km x 50 km (πλάτος x μήκος), ωστόσο είναι δυνατή η επέκταση του μήκους έως τα 1650 km.



Parameter	Value
Swath width (ground range)	30 km single pol. 15 km dual pol.
Nom. L1b product length	50 km
Full performance incidence angle range	20° - 45°
Data access incidence angle range	15° - 60°
Number of elevation beams	27 (12 full perf.)
Azimuth resolution	3.3 m (6.6 m dual pol.)
Ground range resolution	1.70 m - 3.49 m (@ 45°.. 20° incidence angle)
Polarizations	HH or VV (single) HH/VV, HH/HV, VV/VH (dual)

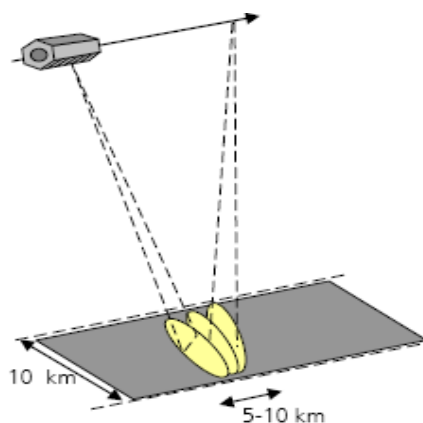
**Εικόνα 3.6:** Γεωμετρία λήψης StripMap mode. **Εικόνα 3.7:** Παράμετροι StripMap mode.

Σημειώνεται πως η συχνότητα παραγωγής παλμών μπορεί να διαφέρει κατά τη διάρκεια της παρατήρησης, λόγω των πολύ αυστηρών χρονικών διαστημάτων ανάμεσα στα οποία πρέπει το ραντάρ να παράγει ή όχι παλμούς, έτσι ώστε να μην αλλοιωθεί το ονομαστικό

πλάτος της λωρίδας εδάφους ακόμη και σε έδαφος με έντονη εναλλαγή υψομέτρων. Το γεγονός αυτό λαμβάνεται υπόψη από τον επεξεργαστή, ο οποίος αποθηκεύει τα πρωτογενή δεδομένα στα οποία γίνεται δειγματοληψία του επιστρεφόμενου σήματος (sampling) με την υψηλότερη συχνότητα που προκύπτει (sampling frequency). Λόγω κατασκευαστικών χαρακτηριστικών του συστήματος, δεν είναι δυνατή η εκπομπή παλμών στην ονομαστική συχνότητα των 150MHz για όλες τις γωνίες πρόσπτωσης, ανάλογα πάντα με την συχνότητα επανάληψης παλμών (PRF), στα προϊόντα Stripmap. Γι' αυτό το λόγο ενδέχεται να υπάρξει μείωση στα 100 MHz για μεγάλες γωνίες πρόσπτωσης μεταβάλλοντας την ανάλυση στην διεύθυνση των αποστάσεων.

### ➤ **SpotLight Modes**

Σε αυτόν τον τρόπο απεικόνισης η κεραία του δέκτη στρίβει διαδοχικά με το χρόνο στην διεύθυνση των αζιμουθίων κατά μια γωνία (azimuth steering angle), έτσι ώστε τα σημεία στο έδαφος να δέχονται τους παλμούς της μικροκυματικής ακτινοβολίας για περισσότερο χρόνο.



**Εικόνα 3.8: Γεωμετρία λήψης Spotlight mode.**

Έχουν αναπτυχθεί δύο παραλλαγές του Sliding Spotlight Mode, με διαφορετικές τιμές ακρίβειας στην αζιμουθιακή διεύθυνση και διαφορετικά μεγέθη απεικόνισης. Αυτές οι διαφορές προκύπτουν από την ταχύτητα εναλλαγής της γωνίας της δέσμης στην αζιμουθιακή διεύθυνση και από τα εύρη διακύμανσης της γωνίας και είναι οι:

- A. High Resolution Spotlight Mode (HS)
- B. Spotlight Mode (SL)

Αυτές οι λειτουργίες λήψης (Spotlight Modes) εκτελούνται σε πολύ μικρό χρόνο, με παράλληλη στροφή της κεραίας με πολύ μεγάλη ακρίβεια και για προκαθορισμένες εκ των προτέρων περιοχές. Συνεπώς, απαιτείται ένας πολύ ακριβής προγραμματισμός λήψεως και πολύ ακριβή στοιχεία προσδιορισμού της θέσης του δορυφόρου και της χρονικής στιγμής

όπου θα αρχίσει η λήψη των δεδομένων, στοιχεία τα οποία προκύπτουν από τον υπολογισμό των εφημερίδων του δορυφόρου και ελέγχονται από δέκτες GPS. Σφάλματα προσδιορισμού των παραμέτρων αυτών επηρεάζουν σε πολύ μεγάλο βαθμό την τελική απεικόνιση στην απαιτούμενη από τον χρήστη περιοχή. Για τον λόγο αυτό υπάρχουν **122 προκαθορισμένα εύρη τιμών** της γωνίας ανύψωσης της δέσμης (elevation beam patterns), έτσι ώστε ανάλογα με το γεωγραφικό πλάτος της προς απεικόνιση περιοχής να προσαρμόζεται όσο το δυνατόν καλύτερα το κέντρο της δέσμης στο κέντρο αυτής. Αντίστοιχα, υπάρχουν **229 προκαθορισμένες γωνίες περιστροφής** της δέσμης ως προς την αζιμουθιακή διεύθυνση (squint angle), από τις οποίες χρησιμοποιούνται μέχρι 125 από αυτές για να μεγιστοποιήσουν το συνθετικό άνοιγμα της κεραίας.

### A. High Resolution Spotlight Mode (HS)

Πρόκειται για το προϊόν με τη μεγαλύτερη δυνατή διακριτική ικανότητα κατά την διεύθυνση των αζιμουθίων. Αυτός ο τρόπος απεικόνισης είναι σχεδιασμένος να λειτουργεί με τέτοια γεωμετρία, έτσι ώστε το τελικό απεικονιστικό προϊόν να έχει ονομαστική διακριτική ικανότητα κατά την διεύθυνση των αζιμουθίων (azimuth resolution) γύρω στα 1.1m και οι διαστάσεις της απεικόνισης να είναι 5 km x 10 km. Τα χαρακτηριστικά της απεικόνισης παρουσιάζονται στη συνέχεια (Εικόνα 3.9).

Parameter	Value
Scene extension	5 km (azimuth) x 10 km (ground range)
Full performance incidence angle range	20° - 55°
Data access incidence angle range	15° - 60°
Number of elevation beams	91 (full performance) 122 (data access)
Number of azimuth beams	up to 125 out of 229
Azimuth steering angle	up to $\pm 0.75^\circ$
Azimuth resolution	1.1 m (single polarization) 2.2 m (dual polarization)
Ground range resolution	1.48 m - 3.49 m (@ 55°..20° incidence angle) 0.74 m - 1.77 m (with 300 MHz bandwidth option and reduced swath extent in range)
Polarizations	HH or VV (single) HH/VV (dual)

### **Εικόνα 3.9: Παράμετροι high resolution spotlight mode.**

Το ονομαστικό εύρος συχνοτήτων (bandwidth) το οποίο χρησιμοποιεί αυτή η απεικόνιση είναι 150 MHz, ωστόσο υπάρχει η δυνατότητα να χρησιμοποιηθεί εύρος συχνοτήτων της τάξης των 300 MHz. Το προϊόν αυτό βρίσκεται σε πειραματικό ακόμα στάδιο χωρίς ακόμα να έχουν ολοκληρωθεί οι εργασίες τεκμηρίωσης των παραγόμενων προϊόντων. Ωστόσο

κάποιες δοκιμές που έχουν γίνει οδηγούν σε πολύ καλά αποτελέσματα αναφορικά με την ποιότητα της εστίασης, της σταθερότητας της φάσης και της ραδιομετρίας της τελικής απεικόνισης, περιορίζοντας όμως παράλληλα τη διάσταση της απεικόνισης κατά τη διεύθυνση των αποστάσεων (swath width).

## **B. Spotlight Mode (SL)**

Με αυτόν τον τρόπο απεικόνισης, η ταχύτητα αλλαγής της γωνίας στην διεύθυνση των αζιμουθίων είναι μικρότερη από την HS, με αποτέλεσμα την μείωση της διακριτικής ικανότητας στην διεύθυνση των αζιμουθίων και την αύξηση του μήκους της απεικόνισης στην ίδια διεύθυνση (αναφορικά με την Spotlight HS). Μέσω της μείωσης της ταχύτητας αλλαγής της γωνίας αυτής, ο χρόνος φωτισμού του κάθε στόχου μειώνεται, με αποτέλεσμα τη μείωση του συνθετικού μήκους της κεραίας. Οι χαρακτηριστικές παράμετροι της απεικόνισης αυτής είναι (Εικόνα 3.10):

Parameter	Value
Scene extension	10 km (azimuth) x 10 km (ground range)
Full performance Incidence angle range	20° - 55°
Data access incidence angle range	15° - 60°
Number of elevation beams	91 (full performance) 122 (data access)
Number of azimuth beams	up to 125 out of 229
Azimuth steering angle	up to $\pm 0.75^\circ$
Azimuth resolution	1.7 m (single polarization) 3.4 m (dual polarization)
Ground range resolution	1.48 m - 3.49 m (@ 55°.20° incidence angle)
Polarizations	HH or VV (single) HH/VV (dual)

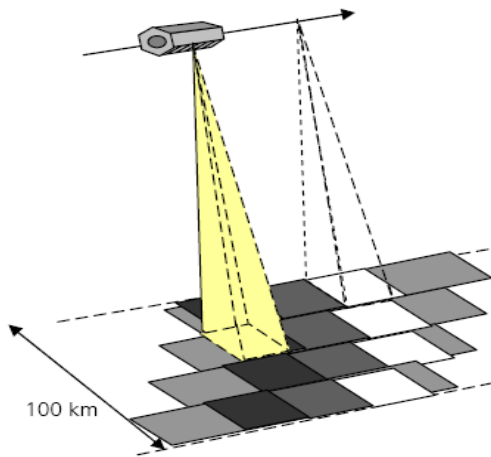
**Εικόνα 3.10: Παράμετροι spotlight mode.**

### ➤ **ScanSAR Mode (SC)**

Στη συγκεκριμένη τεχνική απεικόνισης το σύστημα της ηλεκτρονικής κεραίας χρησιμοποιείται για την απόκτηση γειτονικών και ελαφρώς επικαλυπτόμενων λήψεων με διαφορετικές γωνίες λήψης, οι οποίες επεξεργάζονται σε μία ενιαία τελική λήψη. Υπάρχει δυνατότητα απόκτησης λωρίδας πλάτους 100 km (και ακόμη περισσότερο), με τη σάρωση τεσσάρων γειτονικών επίγειων υπο-περιοχών με χρήση ημι-ανεξάρτητων δεσμών ακτίνας



και με διαφορετική γωνία λήψης. Εξαιτίας των εναλλαγών των ακτινών, λαμβάνονται μόνο ριπές της ηχούς του ραντάρ, με αποτέλεσμα την μείωση του εύρους δέσμης, το οποίο συνεπάγεται μείωση στην ανάλυση του αζιμουθίου. Τέλος, στη συγκεκριμένη τεχνική δύναται να επιτευχθεί χωρική ανάλυση έως 18 m. Το τυπικό μέγεθος σκηνης είναι 100 km x 150 km (πλάτος x μήκος), προκειμένου τα αρχεία απεικόνισης να είναι εύκολα διαχειρίσιμα, αλλά και πάλι το μήκος δύναται να επεκταθεί έως τα 1650 km.

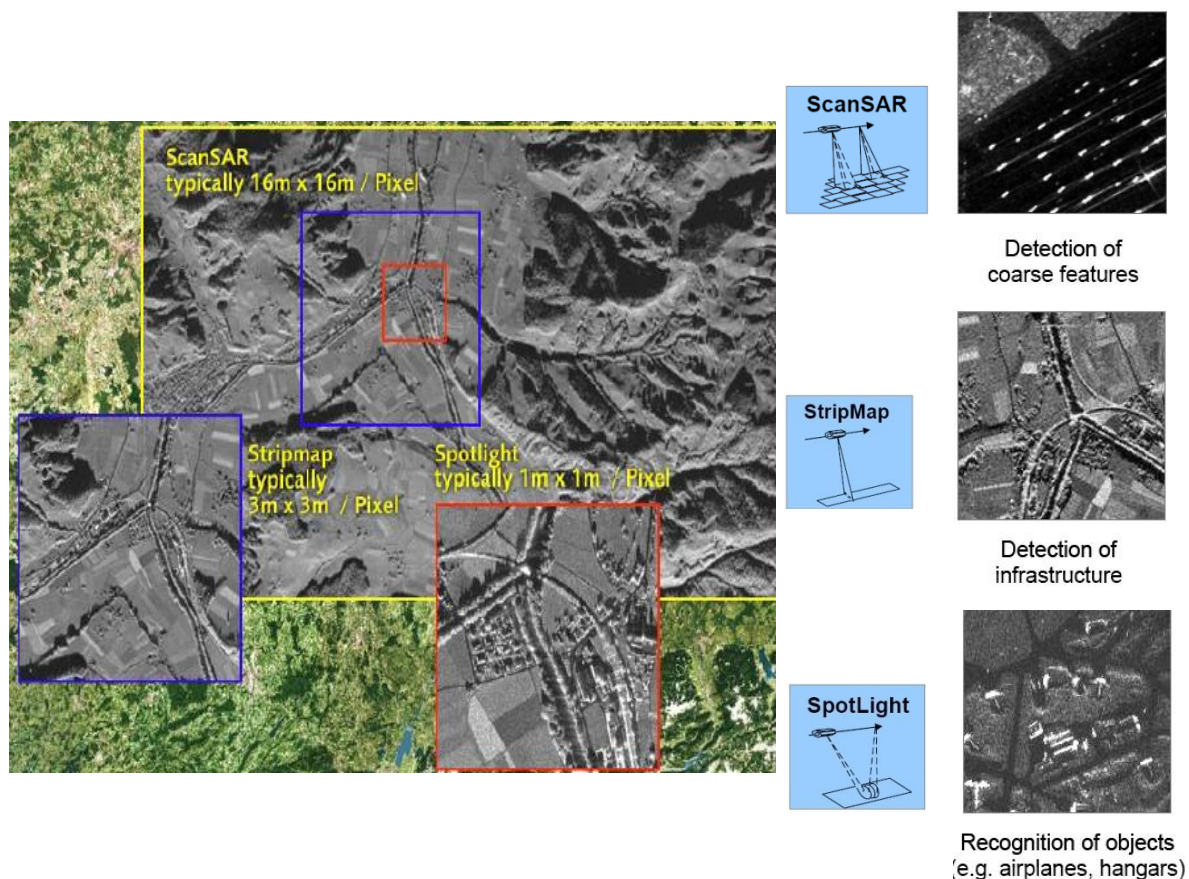


**Εικόνα 3.11:** Γεωμετρία λήψης ScanSAR mode.

Parameter	Value
Number of sub-swaths	4
Swath width (ground range)	100 km
Nominal L1b product length	150 km
Full performance incidence angle range	20° - 45°
Data access incidence angle range	15° - 60°
Number of elevation beams	27 (9 x 4-beam combinations in full perf. range)
Azimuth resolution	18.5 m
Ground range resolution	1.70 m - 3.49 m (@ 45°..20° incidence angle)

**Εικόνα 3.12:** Παράμετροι ScanSAR mode.

Ο διαφορετικός τρόπος λειτουργίας λήψεων επιδρά κυρίως στην ανάλυση και κάλυψη των λαμβανομένων προϊόντων, αλλά και στον σκοπό χρήσης αυτών, όπως ενδεικτικά παρουσιάζεται στην Εικόνα 3.13:



**Εικόνα 3.13:** Σύγκριση προϊόντων διαφορετικών τρόπων λειτουργίας.

### 3.1.4 ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΚΟΤΗΤΑ ΚΑΙ ΕΥΡΟΣ ΠΡΟΣΒΑΣΗΣ ΔΕΔΟΜΕΝΩΝ

Η πλήρης και ορθή λειτουργικότητα του συστήματος TerraSAR – X ορίζεται βάσει κατασκευαστή για γωνίες λήψης εντός του επονομαζόμενου «Εύρους Πλήρους Λειτουργικότητας», για τη τεχνική απεικονίσεων της δεξιάς λήψης.

Η πλατφόρμα βέβαια **δύναται να λειτουργήσει και για αριστερές λήψεις** ή ακόμη και για ένα μεγαλύτερο εύρος γωνιών λήψης, προσδιορίζοντας με αυτόν τον τρόπο το επονομαζόμενο «Εύρος Πρόσβασης Δεδομένων». Οι συγκεκριμένες λειτουργίες βελτιώνουν το χρόνο πρόσβασης σε μία σκηνή, όμως εξαιτίας μειωμένης απόδοσης τα συγκεκριμένα προϊόντα δεν διατίθενται.

Η λειτουργία **αριστερών λήψεων δεν έχει εγγυημένη απόδοση**, ενώ παράλληλα έχει και συνέπειες στη λειτουργικότητα της αποστολής, καθώς η συστοιχία των ηλιακών πάνελ στρέφεται μακριά από τον ήλιο και η κεραία του συστήματος προς αυτόν.

Imaging Mode	Polarization Mode	Full Performance Beam Configurations	Incidence Angle (Look Angle) Range
Stripmap	single	strip_003- strip_014	19.7° - 45.5° (18.2° - 41.3°)
Stripmap	dual	stripNear_003 - stripFar_014	19.9° - 45.4° (18.3° - 41.3°)
Spotlight & High-Resolution Spotlight	single & dual	spot_010 – spot_100	19.7° - 55.2° (18.2° - 49.5°)
ScanSAR	single	scan_003 – scan_011	19.7° - 45.5° (18.2° - 41.3°)

**Εικόνα 3.14:** Πλήρης λειτουργικότητα ρυθμίσεων δέσμης και εύρους γωνίας πρόσπτωσης.

### 3.1.5 ΠΡΟΤΕΙΝΟΜΕΝΟ ΕΥΡΟΣ ΛΕΙΤΟΥΡΓΙΑΣ

Γενικά ο προσδιορισμός στοιχείων όπως ο έλεγχος της ασάφειας και η αξιολόγηση του TerraSAR – X αποτελούν πρόκληση λόγω του μικρού μεγέθους της κεραίας του. Συνέπεια του μεγέθους της κεραίας αποτελεί ο αρκετά υψηλός PRF με ελάχιστες τιμές της τάξης των 3000 Hz. Γενικά τηρούνται οι δείκτες ασάφειας αλλά σε ορισμένες γεωμετρίες απεικονίσεων, οι ασάφειες ενδέχεται να επικρατούν σε απεικονίσεις υψηλής αντίθεσης (π.χ. λιμάνια). Για αυτόν τον λόγο ορίστηκε ένας δείκτης για τον χρήστη, ο οποίος καθορίζει την ποιότητα της ασάφειας σε σχέση με την υφή της απεικόνισης. Ο δείκτης αυτός ονομάστηκε «Προτεινόμενο Εύρος Λειτουργίας», ο οποίος καθορίζει ένα εύρος γωνιών κλίσης που θεωρούνται προτιμητέες για σκηνές με πολύ υψηλή αντίθεση.

Mode	Pol Mode	High Contrast Recommended Performance Beams (Criteria Rg -25 dB Az -20 dB)	Incidence Angle (Look Angle) Ranges
Stripmap	Single	strip_003 - strip_014	19.7° - 45.5° (18.2° - 41.3°)
Stripmap	Dual	stripNear_003 - stripFar_011	19.9° - 40.3° (18.3° - 36.8°)
SL & HS	Single	spot_010 - spot_079	19.7° - 49.7° (18.2° - 44.9°)
SL & HS	Dual	spot_010 - spot_059	19.7° - 43.3° (18.2° - 39.4°)
ScanSAR	Single	scan_003 - scan_011	19.7° - 45.5° (18.2° - 41.3°)

**Εικόνα 3.15:** Προτεινόμενες δέσμες υψηλής απόδοσης και εύρη γωνιών πρόσπτωσης, για υψηλής αντίθεσης σκηνές.

### 3.1.6 ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΙΩΝ

Η ακρίβεια προσδιορισμού της τροχιάς του δορυφόρου, επηρεάζει την ακρίβεια θέσης των εικονοστοιχείων στο προϊόν της απεικόνισης και διακρίνεται σε τρεις κατηγορίες:

- Προβλεπόμενη τροχιά (**predicted orbit**), που προκύπτει με υπολογισμό 24ωρης πρόβλεψης της και είναι διαθέσιμη πριν την λήψη των δεδομένων. Η ακρίβειά της εκτιμάται στα 700m κατά μήκος της τροχιάς και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία παράγωγων προϊόντων, που είναι πολύ κοντά χρονικά στη λήψη των δεδομένων.

- Ταχέως υπολογιζόμενη τροχιά (**rapid orbit**), που είναι διαθέσιμη 15 ώρες μετά την τελευταία επαφή του δορυφόρου και χρησιμοποιείται για την επεξεργασία των βασικών εικονιστικών προϊόντων. Η εκτιμώμενη ακρίβειά της είναι περίπου στα 2m (σε τρεις διαστάσεις και με τυπική απόκλιση 1σ).

- Επιστημονική τροχιά (**science orbit**), που είναι διαθέσιμη τρεις εβδομάδες μετά το κατέβασμα των δεδομένων και χρησιμοποιείται γενικά για την επεξεργασία δεδομένων αρχείου. Η ακρίβειά της είναι 20cm (σε τρεις διαστάσεις και με 1σ τυπική απόκλιση στοχεύει στην επίτευξη ακρίβειας 10cm) (Fritz, Breit, & Eineder, 2008)

### 3.1.7 ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΙΟΝΤΑ

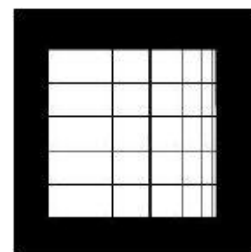
Με εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του δορυφόρου παράγονται κατάλληλα προϊόντα επεξεργασμένα ως προς:

- Τη γεωμετρική και ραδιομετρική ανάλυση
- Τη γεωμετρική προβολή καθώς και
- Βοηθητικά αρχεία πληροφοριών

Τα βασικά προϊόντα του TerraSAR διαφοροποιούνται σε τέσσερα είδη, τα οποία διατίθενται ανεξάρτητα αλλά και σε συνδυασμό με βασικά χαρακτηριστικά:

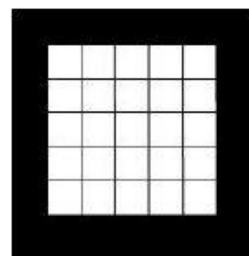
#### A. Single Look Slant Range Complex (SSC):

Η γεωμετρική προβολή ορίζεται από το αζιμούθιο και την κεκλιμένη απόσταση.



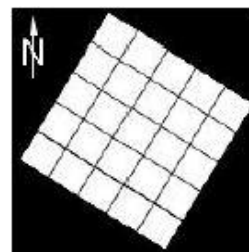
#### B. Multi Look Ground Range Detected (MGD):

Η γεωμετρική προβολή ορίζεται από το αζιμούθιο και την απόσταση επί του εδάφους - χωρίς διορθώσεις αναγλύφου.



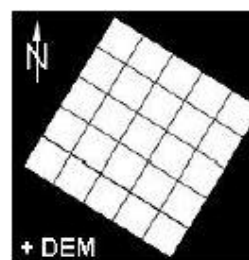
#### C. Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC):

Η γεωμετρική προβολή ορίζεται από χαρτογραφική προβολή με διορθώσεις λόγω ελλειψοειδούς - χωρίς διορθώσεις αναγλύφου.



#### D. Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC):

Η γεωμετρική προβολή ορίζεται από χαρτογραφική προβολή με διορθώσεις λόγω αναγλύφου, χρησιμοποιώντας ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου – DEM.



#### A. Single Look Slant Range Complex (SSC)

Στο συγκεκριμένο προϊόν η γεωμετρική προβολή ορίζεται από το αζιμούθιο και την κεκλιμένη απόσταση. Αποτελεί το βασικό μονοεικονικό προϊόν, το οποίο προέρχεται από την εστίαση της δέσμης ακτινών του ραντάρ. Τα εικονοστοιχεία τοποθετούνται σε **ίσες αποστάσεις** στην διεύθυνση του αζιμουθίου (σύμφωνα με το χρονικό διάστημα επανάληψης παλμού  $PRI = 1/PRF$ ) και στην κεκλιμένη απόσταση (σύμφωνα με το εύρος δείγματος της συχνότητας), ενώ τα δεδομένα παρουσιάζονται υπό τη μορφή μιγαδικών αριθμών. Κάθε εικονοστοιχείο επεξεργάζεται στην αρχή του συστήματος συντεταγμένων Doppler. Η συγκεκριμένη μετατροπή είναι συμβατή με τα τυπικά προϊόντα κεκλιμένης απόστασης, τα οποία διατίθενται από τους ERS-1/2, ENVISAT/ASAR, RADARSAT και X-SAR/SIRC.

Τα προϊόντα spotlight επεξεργάζονται σύμφωνα με την αρχή του συστήματος συντεταγμένων Doppler, όπως ακριβώς και τα προϊόντα stripmap με την επιλογή μιας τεχνητής PRF αρκετά μεγάλης, έτσι ώστε να τηρήσει ολόκληρο το επεξεργασμένο φάσμα Doppler. Ωστόσο πρέπει να ληφθεί υπόψη, ότι το κεντροειδές Doppler διαφέρει σημαντικά σε σχέση με το αζιμούθιο. Το προϊόν SSC διατίθεται για επιστημονικές εφαρμογές, οι οποίες απαιτούν ολόκληρο το εύρος δέσμης και την πληροφορία φάσης.

## **B. Multi Look Ground Range Detected (MGD)**

Στο συγκεκριμένο προϊόν η γεωμετρική προβολή ορίζεται από το αζιμουθιο και την απόσταση επί του εδάφους (χωρίς διορθώσεις αναγλύφου).

Το προϊόν προέρχεται από πολλές λήψεις με μείωση του θορύβου και περίπου τετραγωνική μορφή των εδαφοψηφίδων. Οι εικονοσυντεταγμένες ορίζονται από την κατεύθυνση της πτήσης και την απόσταση επί του εδάφους. Η ισοδιάσταση των εικονοστοιχείων είναι ίδια τόσο κατά τη διεύθυνση του αζιμουθίου, όσο και επί της επίγειας απόστασης. Με τη βοήθεια ενός πολυωνυμικού μετασχηματισμού υλοποιείται μετατροπή της κεκλιμένης απόστασης σε προβολή επί του εδάφους, ενώ γίνεται και χρήση του ελλειψοειδούς WGS84 και ενός μέσου και σταθερού υψομέτρου.

Το πλεονέκτημα του συγκεκριμένου προϊόντος είναι ότι δεν έχει εφαρμοστεί κάποιος γεωδαιτικός μετασχηματισμός, με αποτέλεσμα να μην παρατηρούνται προβλήματα παραμορφώσεων επί της απεικόνισης. Βέβαια αυτό συνεπάγεται μικρότερη ακρίβεια προσδιορισμού των εικονοστοιχείων εν συγκρίσει με τα γεωκωδικοποιημένα προϊόντα. Για τα προϊόντα TSX L1b ο κানাβος συντεταγμένων υπολογίζεται με ένα γενικευμένο DEM, ενώ η προβολή της απεικόνισης υλοποιείται με ένα υψόμετρο για όλη τη σκηνή ενδιαφέροντος.

Τέλος, το προϊόν είναι χρήσιμο στις περιπτώσεις που η γεωκωδικοποίηση ή η ορθοαναγωγή πρόκειται να υλοποιηθεί από τον ενδιαφερόμενο χρήστη και όταν δεν απαιτείται να γίνει γεωκωδικοποίηση.

## **C. Geocoded Ellipsoid Corrected (GEC)**

Στο συγκεκριμένο προϊόν η γεωμετρική προβολή ορίζεται από μια χαρτογραφική προβολή με διορθώσεις λόγω ελλειψοειδούς (χωρίς διορθώσεις αναγλύφου).

Το προϊόν GEC προέρχεται επίσης από πολλές λήψεις. Η προβολή και αναδόμηση της απεικόνισης γίνεται στο WGS84, θεωρώντας ένα μέσο υψόμετρο για όλη την περιοχή. Διαθέσιμοι κানাβοι συντεταγμένων είναι οι UTM (Universal Transversal Mercator) και UPS (Universal Polar Stereographic). Επίσης, επειδή δεν λαμβάνονται υπόψη οι διορθώσεις λόγω αναγλύφου, η ακρίβεια προσδιορισμού των εικονοστοιχείων ποικίλει αναλόγως του αναγλύφου.

Οι ακρίβειες που διατίθενται για το συγκεκριμένο προϊόν απευθύνονται σε επίπεδα εδάφη, επειδή το υποτιθέμενο υψόμετρο πλησιάζει και στην πραγματική τιμή. Τέλος, στις περιπτώσεις έντονων μεταβολών αναγλύφου, τα σφάλματα είναι μεγάλα και ειδικά για τις μικρές γωνίες πρόσπτωσης.

#### D. Enhanced Ellipsoid Corrected (EEC)

Στο συγκεκριμένο προϊόν η γεωμετρική προβολή ορίζεται από μια χαρτογραφική προβολή με διορθώσεις λόγω αναγλύφου, χρησιμοποιώντας ψηφιακό μοντέλο αναγλύφου (DEM).

Το προϊόν EEC, όπως και το προϊόν GEC, προέρχεται από πολλές λήψεις. Έχει υλοποιηθεί προβολή και αναδόμηση αυτού στο ελλειψοειδές WGS84, ενώ οι διαστροφές λόγω αναγλύφου έχουν διορθωθεί με χρήση ψηφιακού μοντέλου εδάφους. Διαθέσιμοι κάρταβοι συντεταγμένων είναι οι UTM και UPS.

Εξαιτίας της διόρθωσης λόγω αναγλύφου, η ακρίβεια προσδιορισμού των εικονοστοιχείων θεωρείται αρκετά υψηλή. Βέβαια η ακρίβεια αυτή εξαρτάται τόσο από το είδος του αναγλύφου, όσο και από την ποιότητα και ανάλυση του DEM, αλλά και τη γωνία πρόσπτωσης.

Τα προϊόντα EEC παράγονται με χρήση των καλύτερων διαθέσιμων ψηφιακών μοντέλων εδάφους. Τα συγκεκριμένα DEM έχουν συντεθεί από διαφορετικές πηγές όπως: SRTM/X-SAR, SRTM/C-band, ERS-tandem, DTED-1 και DTED-2. Εναπομείναντα κενά συμπληρώνονται από τα δεδομένα GLOBE.

#### 3.1.8 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΙΟΝΤΩΝ

Η τιμολόγηση των βασικών προϊόντων SSC, MGD, GEC και EEC, παρουσιάζεται βάσει της διεθνούς τιμολογιακής πολιτικής του παρόχου στη συνέχεια (Εικόνα 3.16). Για κάθε ένα επιπλέον επίπεδο επεξεργασίας, προστίθεται η τιμή των 300 €.

Image Product	Scene Size (Width x Length)	Resolution	Price New Acquisition	Price Archive Data**
Staring SpotLight (ST)	4 x 3.7 km <sup>2</sup> ***	up to 0.25 m	€ 6,950	€ 3,475
High Resolution SpotLight (HS)	10 x 5 km <sup>2</sup>	up to 1 m	€ 5,950	€ 2,975
SpotLight (SL)	10 x 10 km <sup>2</sup>	up to 2 m	€ 4,250	€ 2,125
StripMap (SM)*	30 x 50 km <sup>2</sup>	up to 3 m	€ 2,950	€ 1,475
ScanSAR (SC)*	100 x 150 km <sup>2</sup>	up to 18 m	€ 1,750	€ 875
Wide ScanSAR (WS)*	up to 270 x 200 km <sup>2</sup>	up to 40 m	€ 1,750	€ 875

#### **Εικόνα 3.16:** Τιμολόγηση βασικών προϊόντων TerraSAR-X (Ιούλιος 2013)

Ειδικά για προϊόντα που προορίζονται για εφαρμογή στη συμβολομετρική διαδικασία, προσφέρεται η δυνατότητα ελάχιστης παραγγελίας πέντε σκηνών εντός 6 μηνών από την πρώτη ημερομηνία παραγγελίας, με τις ακόλουθες τιμές:

InSAR Data Stack Package	Price per scene
SpotLight InSAR	€ 2,500
StripMap InSAR	€ 1,250
InSAR "Programming only" (standard programming level)	€ 200

**Εικόνα 3.17:** Τιμολόγηση προϊόντων TerraSAR-X, για εφαρμογές συμβολομετρίας.

Η εταιρεία έχει τιμολογήσει και την προσφορά λοιπών υπηρεσιών, όπως ενδεικτικά: Υπηρεσία Ανίχνευσης Πλοίων, Παρακολούθησης και Απεικόνισης Μετακινήσεων Εδάφους, Παραγωγής Τοπογραφικών Χαρτών κτλ, με χρήση δεδομένων TerraSAR-X.

## **3.2 Ο ΔΟΡΥΦΟΡΟΣ RADARSAT-2**

### **3.2.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ**

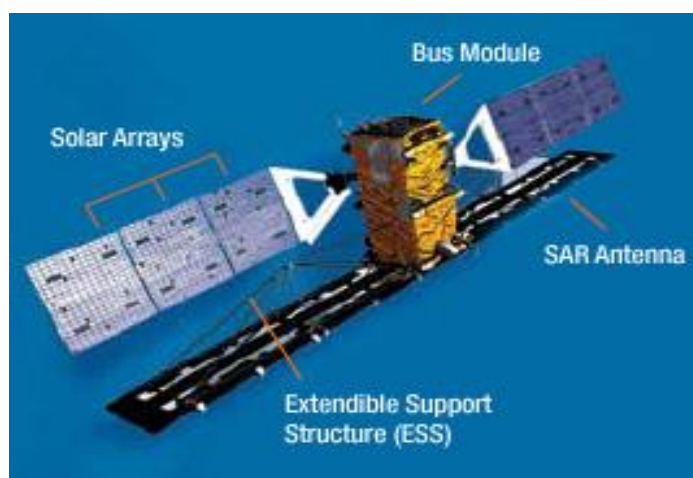
Οι περισσότερες από τις πληροφορίες για το δορυφορικό σύστημα Radar Sat-2 που παρουσιάζονται στη συνέχεια, αφορούν τα βασικότερα από την πληθώρα των στοιχείων που διατίθενται στο έγγραφο προδιαγραφών των βασικών προϊόντων του συστήματος, όπως διατέθηκε για το κοινό και εγκρίθηκε το 2009 και στο οποίο ο αναγνώστης μπορεί να ανατρέξει για περισσότερες λεπτομέρειες (MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd, 2009).

### **3.2.2 ΤΕΧΝΙΚΑ ΧΑΡΑΚΤΗΡΙΣΤΙΚΑ**

Το δορυφορικό σύστημα RADARSAT-2 είναι η επόμενη γενιά του δορυφόρου RADARSAT-1. Ο συγκεκριμένος δορυφόρος αποτελεί ένα εμπορικό ραντάρ συνθετικού ανοίγματος καναδικής προελεύσεως, ο οποίος εκτοξεύτηκε στις 14 Δεκεμβρίου 2007 από το ρωσικό Κοσμοδρόμιο Μπαϊκονούρ του Καζακστάν και με προγραμματισμένη διάρκεια ζωής 7 ετών. Ο RADARSAT-2 παρέχει βελτιωμένες δυνατότητες σε σχέση με τον προκάτοχό του που περιλαμβάνουν: εικόνες υψηλότερης ανάλυσης, ευελιξία στην επιλογή της πόλωσης, τη δυνατότητα απεικονίσεων αριστερά και δεξιά του ανοίγματός του δορυφόρου, περιορισμένης έκτασης προγραμματισμό, επεξεργασία και παράδοση απεικονίσεων βάσει οριοθετημένων χρονοδιαγραμμάτων, υψηλότερη χωρητικότητα



αποθήκευσης δεδομένων και πιο ακριβείς μετρήσεις της θέσης και της στάσης του διαστημικού σκάφους.



**Εικόνα 3.18:** Το δορυφορικό σύστημα RADARSAT-2.

Η αποστολή των δορυφορικών συστημάτων RADARSAT πραγματοποιήθηκε στα πλαίσια μιας ευρύτερης συνεργασίας που ονομάζεται SOAR (Science and Operational Applications Research). Τα μέλη της συνεργασίας αυτή είναι η καναδική κυβέρνηση μέσω της καναδικής υπηρεσίας διαστήματος (Canadian Space Agency) και του Κέντρου Φυσικών Πόρων Καναδά σε Θέματα Τηλεπισκόπησης (Natural Resources Canada's Centre for Remote Sensing) και οι MacDonaldd Dettwiler and Associates Ltd. της εταιρίας Geospatial Services Inc. (MDA GSI). Για την εμπορική εκμετάλλευση των δορυφορικών προϊόντων από τρίτους έχουν διατεθεί τα παγκόσμια δικαιώματα διανομής σε RADARSAT προϊόντα στην Εταιρία MDA Geospatial Services με έδρα, κυρίως, τον Καναδά και τις ΗΠΑ. Τα βασικά τεχνικά χαρακτηριστικά του συστήματος αναλύονται στον πίνακα που ακολουθεί (Εικόνα 3.19) :

	<b>RADARSAT-1</b>	<b>RADARSAT-2</b>	<b>RADARSAT Constellation</b>
<b>High Resolution</b>	8 m X 8 m (stripmap mode)	1 m X 3 m (spotlight mode)	1 m X 3 m (spotlight mode)
<b>Total mass at launch</b>	2,750 kg	2,200 kg	1,300 kg
<b>Mission life</b>	5 years	7 years	7 years (each satellite)
<b>SAR antenna dimensions</b>	15 m x 1.5 m	15 m x 1.5 m	6.75 m x 1.38 m
<b>Solar arrays (each)</b>	2.21 m x 1.32 m	3.73 m x 1.8 m	2.2 m x 1.7 m main power (one panel vs two for RS1 and

	<b>RADARSAT-1</b>	<b>RADARSAT-2</b>	<b>RADARSAT Constellation</b>
			2) 0.5 m x 1.6 m (keep-alive power)
<b>Bus</b>	3.55 m x 2.46 m	3.7 m x 1.36 m	Canadian SmallSat Bus
<b>Look Direction</b>	-Right looking	-Routine left- and right-looking operation  -Increased re-visit time for improved monitoring efficiencies	-Right looking  -Multiple satellites will eliminate need for left and right looking to increase revisit efficiencies

**Εικόνα 3.19: Γενικά χαρακτηριστικά της αποστολής των RADARSAT.**

Η καναδική υπηρεσία διαστήματος επιδιώκει την ολοκλήρωση της αποστολής (Mission) στο διάστημα όλων των δορυφορικών συστημάτων τύπου RADARSAT (την αποκαλούμενη RADARSAT Constellation Mission). Με αυτό τον τρόπο επιδιώκει την ειρηνική χρήση του διαστήματος και την περαιτέρω ανάπτυξη της επιστήμης σε συγγενή αντικείμενα. Επιπλέον, επιδιώκει την εξέλιξη και την παροχή επιπλέον γνώσης σε θέματα που άπτονται του διαστήματος. Ταυτόχρονα, θέλει να συνδυάσει τόσο την προαγωγή της διαστημικής επιστήμης και τεχνολογίας όσο και την παροχή κοινωνικών και οικονομικών οφελών για τους καναδούς πολίτες. Σε συνεννόηση και συνεργασία με διάφορα άλλα τμήματα της χώρας, η καναδική υπηρεσία διαστήματος ηγείται του σχεδιασμού, της ανάπτυξης και της λειτουργίας του RADARSAT Constellation Mission για να βοηθήσει την κυβέρνηση να εκπληρώσει τις βασικές προτεραιότητές που έχει καθορίσει. Η παρατήρηση της Γης έχει βελτιωθεί σε μεγάλο βαθμό όλα αυτά τα χρόνια τόσο ποιοτικά, με υψηλότερης ανάλυσης εικόνες, όσο και χωρικά, με μεγαλύτερη εδαφική κάλυψη. Οι καναδικοί δορυφόροι RADARSAT-1 και RADARSAT-2 αποτελούν αντιπροσωπευτικό παράδειγμα δορυφόρων προηγμένης τεχνολογίας και είναι ενδεικτικά της τεχνολογίας αιχμής που διαθέτει, πλέον, η χώρα της Βόρειας Αμερικής. Τέλος, στα πλαίσια ολοκλήρωσης της τελευταίας φάσης αυτής της αποστολής, ο Καναδάς έχει ως στόχο την αποστολή τριών (3) (μικρότερων σε σχέση με τους RADARSAT-1 και 2) επιπρόσθετων δορυφόρων το 2018 προκειμένου να μεγιστοποιήσει σε ακόμη μεγαλύτερο βαθμό την ικανότητά επιτήρησης της γης σε εικοσιτετράωρη, πλέον, βάση.

	<b>RADARSAT-1</b>	<b>RADARSAT-2</b>	<b>RADARSAT Constellation</b>
<b>Active Antenna</b>	C-Band	C-Band	C-Band
<b>Centre Frequency</b>	5.3 GHz	5.405 GHz	5.405 GHz
<b>Bandwidth</b>	30 MHz	100 MHz	100 MHz
<b>Polarization</b>	HH	HH, VV, HV, VH	HH, VV, HV, VH, Compact Polarimetry
<b>Polarization Isolation</b>	> 20 dB	> 25 dB	> 28 dB (as of latest specs)
<b>Aperture Length</b>	15 m	15 m	6.75 m
<b>Aperture width</b>	1.5 m	1.37 m	1.38 m
<b>Mass</b>	679 kg	750 kg	400 kg approximate
<b>Deployment Mechanism</b>	Extendable support structure (ESS)	Extendable support structure (ESS)	Simple strut deployment with a kinematically decoupled internal support structure

**Εικόνα 3.20: Τεχνικά χαρακτηριστικά του ραντάρ των Δορυφόρων RADARSAT.**

### 3.2.3 ΕΙΔΗ ΤΡΟΧΙΩΝ

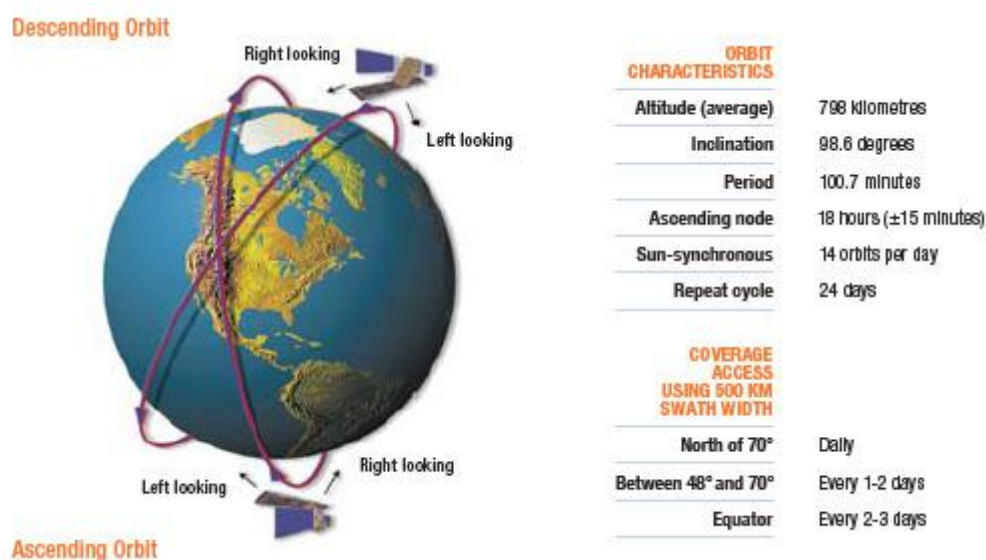
Τα χαρακτηριστικά της τροχιάς του Δορυφόρου RADARSAT-2 καθορίζουν την εδαφική κάλυψη που είναι σε θέση να μας παρέχει ως πληροφορία στη περιοχή ενδιαφέροντός μας. Η περιοχή που απεικονίζεται είναι γενικά μια ταινία (ή λωρίδα) που βρίσκεται πάντοτε στη μία πλευρά της διαδρομής πτήσης του δορυφόρου. Η λωρίδα αυτή μπορεί να ποικίλει σε μήκος, πλάτος και θέση ανάλογα με το πόσο χρονικό διάστημα λειτουργεί ο αισθητήρας. Επιπλέον, η λωρίδα εξαρτάται από τον τρόπο απεικόνισης και την εκάστοτε λειτουργία δέσμης που ενεργοποιείται.

	<b>RADARSAT-1</b>	<b>RADARSAT-2</b>	<b>RADARSAT Constellation</b>
<b>Altitude</b>	793-821 km	798 km	592.7 km
<b>Inclination</b>	98,6 degrees	98,6 degrees	97.74 degrees
<b>Duration of one orbit</b>	100.7 min	100.7 min	96.4 min
<b>Descending node</b>	6 hrs.	6 hrs.	6 hrs. +/- 15 min
<b>Ascending node</b>	18 hrs.	18 hrs.	18 hrs.
<b>Sun-synchronous</b>	14 orbits per day	14 orbits per day	14.92 per day

**Εικόνα 3.21: Χρονικά δεδομένα των τροχιών της αποστολής RADARSAT.**

Ο RADARSAT-2 έχει μια κυκλική, ήλιο-σύγχρονη τροχιά κινούμενη κοντά στους πόλους της γης. Αυτό φέρνει το δορυφόρο κοντά στο Βόρειο και το Νότιο Πόλο και τον κρατά στην ίδια σχετική θέση με τον ήλιο, διατηρώντας παρόμοια χαρακτηριστικά φωτισμού καθ' όλη τη διάρκεια της κυκλικής του τροχιάς. Η τροχιά του πραγματοποιείται σε ύψος 797 χιλιομέτρων πάνω από τη Γη, διασχίζοντας τον Ισημερινό σε γωνία 98 μοιρών με μια «δυτικοστρεφή» μορφής κλίση. Η τροχιά επιλέχθηκε έτσι ώστε ο Δορυφόρος να μπορεί να παρατηρεί τα περισσότερα σημεία της Γης σε τακτά χρονικά διαστήματα.

Ο SAR αισθητήρας του RADARSAT-2 έχει κατεύθυνση δεξιάς παρατήρησης κατά την φορά κίνησής του Δορυφόρου, πράγμα που σημαίνει ότι για ένα ανερχόμενο (ascending) πέρασμα βλέπει ανατολικά. Καθώς ο δορυφόρος περνά πάνω από το Βόρειο Πόλο και κατευθύνεται προς τον Ισημερινό, ξεκινά την κατερχόμενη (descending) πορεία του, και ως εκ τούτου βλέπει δυτικά. Ο Δορυφόρος περνά πάνω από μια συγκεκριμένη γεωγραφική θέση σε δύο διαφορετικές χρονικές στιγμές κατά τη διάρκεια της ίδιας ημέρας (πρωινή διέλευση και βραδινή διέλευση). Έτσι, διασχίζει τον Ισημερινό με μια νότια κατεύθυνση κατά την αυγή (06:00 πμ) και με μια βόρεια κατεύθυνση κατά το σούρουπο (18.00 μμ).

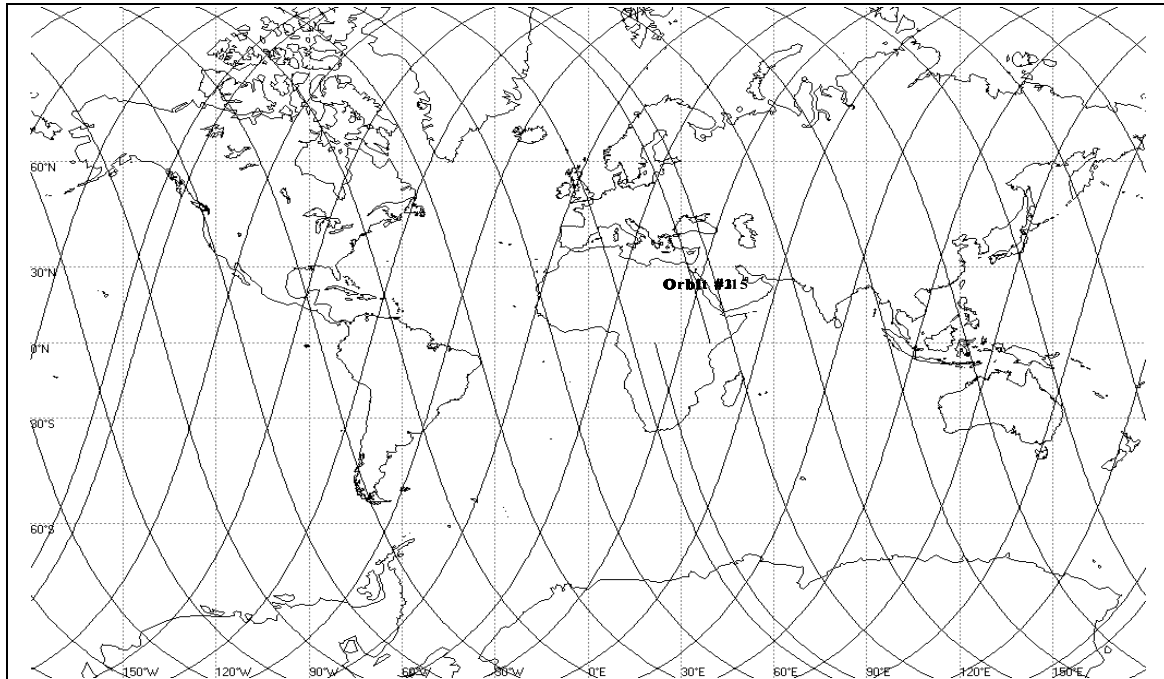


**Εικόνα 3.22:** Διελεύσεις (ανερχόμενη και κατερχόμενη) του RADARSAT-2.

Κατά τη διάρκεια μιας ημέρας (24 ωρών) ο Δορυφόρος μέσω των δύο κινήσεών του εκτελεί 14 τροχιές. Με την ολοκλήρωση κάθε κύκλου (circle) οι επόμενες τροχιές που ακολουθούν λειτουργούν επικαλυπτικά προς τις προηγούμενες προκειμένου να

επιτελεσθεί στο μέγιστο βαθμό η προσδοκώμενη εδαφική κάλυψη. Αξίζει να σημειωθεί ότι ένας πλήρης κύκλος ολοκληρώνεται σε διάστημα 24 ημερών, εξ' ου και οι 14 και  $7/24=14,29\approx 14$  τροχιές που προκύπτουν για μια ημέρα.

Η εικόνα που ακολουθεί απεικονίζει τη «δυτικοστρεφή» κίνηση του Δορυφόρου μας.



**Εικόνα 3.23:** Πανοραμική άποψη των διελεύσεων του RADARSAT-2 μετά από 14 τροχιές στη διάρκεια μιας ημέρας (Μερκατορική Προβολή).

### 3.2.4 ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΑΠΕΙΚΟΝΙΣΗΣ (Imaging Modes)

#### 3.2.4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο RADARSAT-2 έχει επτά (7) διαφορετικές λειτουργίες δέσμης (beam modes) και τριάντα-έξι (36) διαφορετικές θέσεις (beam positions). Κάθε λειτουργία δέσμης διαφέρει στη λεπτομέρεια απεικόνισης και στην κάλυψη από αέρος, ενώ κάθε λειτουργία δέσμης έχει μία ή περισσότερες θέσεις. Τέλος, κάθε θέση (beam position) καλύπτει μια λωρίδα Γης σε μια συγκεκριμένη θέση σε σχέση με το κομμάτι του εδάφους και έχει ελαφρώς διαφορετικά χαρακτηριστικά απεικόνισης.

Το Φεβρουάριο του 1997 προστέθηκαν 10 νέες θέσεις δέσμης. Η προσθήκη των νέων αυτών θέσεων αυξάνει σημαντικά την αποτελεσματικότητα της κάλυψης RADARSAT και εξαλείφει τα κενά δεδομένων στον Ισημερινό. Οι πρόσθετες θέσεις δέσμης έχουν τα ίδια

χαρακτηριστικά εικόνας (ανάλυση και μέγεθος εικόνας), αλλά διαφέρουν ως προς την γωνία πρόσπτωσης και τη θέση τους σε σχέση με την κίνηση επί του εδάφους.

Ο παρακάτω πίνακας απεικονίζει τις διαθέσιμες λειτουργίες δέσμης (beam modes) και τις θέσεις (positions) αυτών, όπως και τα χαρακτηριστικά της καθεμιάς:

	<b>Beam Position</b>	<b>Incidence Angle in degrees (Near - Far)</b>	<b>Nominal Resolution (m)</b>	<b>Nominal Area (km)</b>	<b>Number of Processing Looks</b>
<b>Fine</b>	F1 near F1 F1 far F2 near F2 F2 far F3 near F3 F3 far F4 near F4 F4 far F5 near F5 F5 far	36.4 - 39.6 36.8 - 39.9 37.2 - 40.3 38.8 - 41.8 39.2 - 42.1 39.6 - 42.5 41.1 - 43.7 41.5 - 44.0 41.8 - 44.3 43.1 - 45.5 43.5 - 45.8 43.8 - 46.1 45.0 - 47.2 45.3 - 47.5 45.6 - 47.8	8	50 x 50	1 x 1
<b>Standard</b>	S1 S2 S3 S4 S5 S6 S7	20-27 24-31 30-37 34-40 36-42 41-46 45-49	22	100 X 100	1 x 4
<b>Wide</b>	W1 W2 W3	20-31 31-39 39-45	30	165 x 165 150 x 150 130 x 130	1 x 4
<b>ScanSAR Narrow</b>	SNA SNB	20-40 31-46	50	300 x 300	2 x 2
<b>ScanSAR Wide</b>	SWA SWB	19-49 19-46	100	500 x 500 450 x 450	2 x 2
<b>Extended High</b>	H1 H2 H3 H4 H5 H6	49-52 50-53 52-55 54-57 56-58 57-59	25	75 x 75	1 x 4
<b>Extended Low</b>	L1	10-23	35	170 x 170	1 x 4

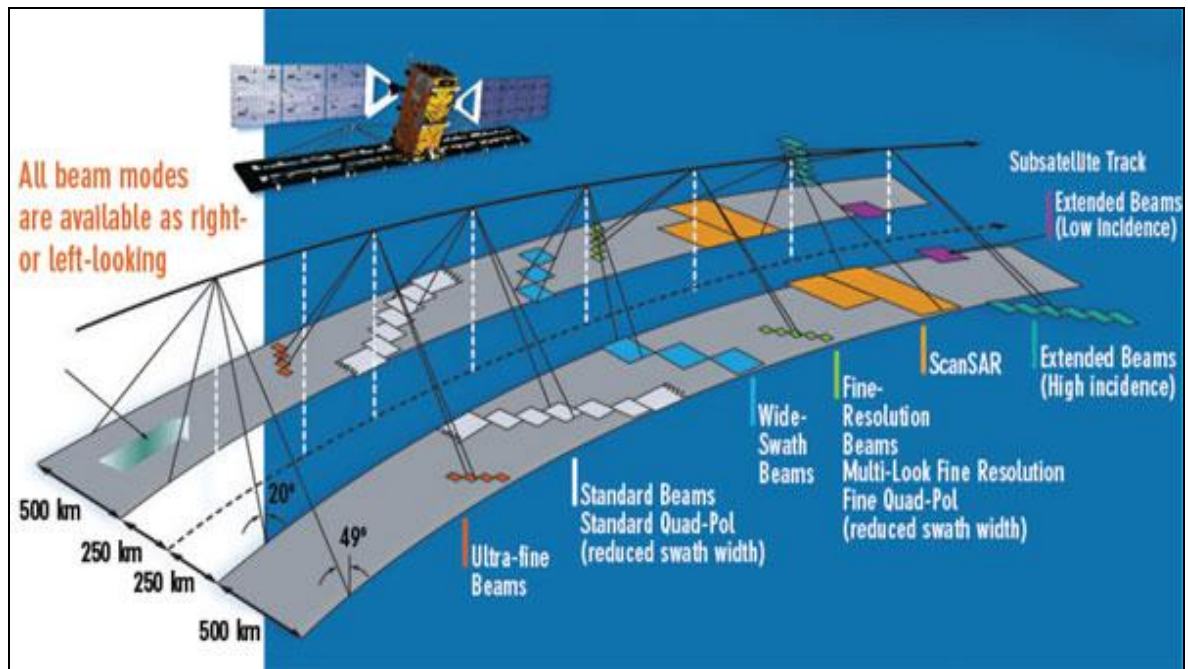
**Εικόνα 3.24:** Χαρακτηριστικά και θέσεις των τεχνικών απεικόνισης (beam modes).

<b>Beam Modes</b>	<b>Nominal Swath Width (km)</b>	<b>Approximate Resolution (m)</b>
<b>Selective Polarization Transmit H or V receive H and/or V</b>		
Fine	50	10 x 9
Standard	100	25 x 28
Low incidence	170	40 x 28
High incidence	75	20 x 28
Wide	150	25 x 28
ScanSAR narrow	300	50 x 50
ScanSAR wide	500	100 x 100
<b>Polarimetric Transmit H and V on alternate pulses / receive H and V on any pulse</b>		
Fine Quad-pol	25	11 x 9
Standard Quad-pol	25	25 x 28
<b>Selective Single Polarization Transmit H or V receive H or V</b>		
Ultra-Fine	20	3 x 3
Spotlight	18	3 x 1
Multi-Look Fine	50	11 x 9

**Εικόνα 3.25: Χαρακτηριστικά (Πόλωσης και Ανάλυσης) των τεχνικών απεικόνισης (beam modes) του RADARSAT-2.**

Το διαστημικό τμήμα του συστήματος SAR του RADARSAT-2 αποτελείται από ένα πομπό ραντάρ, ένα δέκτη του επιστρεφόμενου σήματος του ραντάρ και ένα πομπό μεταφόρτωσης δεδομένων (downlink transmitter). Ο πομπός και ο δέκτης ραντάρ λειτουργούν μέσω μιας ηλεκτρικά κατευθυνόμενης κεραίας που κατευθύνει την μεταδιδόμενη ενέργεια που εκπέμπεται σε μια στενή δέσμη, η οποία είναι κανονικοποιημένη και προσαρμοσμένη στη πορεία δορυφόρου.

Η γωνία ανύψωσης και το προφίλ ανύψωσης της δέσμης μπορούν να ρυθμιστούν έτσι ώστε η δέσμη να διαπερνά την επιφάνεια της γης πάνω από την επιθυμητή περιοχή με διαφορετικές κάθε φορά γωνίες πρόσπτωσης. Οι διάφορες λειτουργίες δέσμης (beam modes) χαρακτηρίζονται κάθε φορά από τη συγκεκριμένη γωνία ανύψωσης δέσμης και το πλάτος που διαθέτουν, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.26 που ακολουθεί.



**Εικόνα 3.26:** Τεχνικές απεικόνισης του RADARSAT-2.

### 3.2.4.2 ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ (IMAGING MODES)

Για οποιαδήποτε λειτουργία δέσμης, η ίδια γωνία ανύψωσης δέσμης και το ίδιο πλάτος χρησιμοποιείται τόσο για τη μετάδοση όσο και για τη λήψη. Έτσι, ο δέκτης ανιχνεύει την ηχώ που προκύπτει από την αντανάκλαση ή τη σκέδαση του μεταδιδόμενου σήματος από την επιφάνεια της γης. Το ανιχνευθέν σήμα ψηφιοποιείται, καταγράφεται και κωδικοποιείται πριν από την τελική του μετάδοση στην επίγεια εγκατάσταση λήψης δεδομένων. Η μετάδοση δεδομένων μπορεί να συμβεί σε σχεδόν πραγματικό χρόνο (Near Real Time-NRT) κατά τη διάρκεια συλλογής των στοιχείων, ή τα δεδομένα μπορούν να αποθηκεύονται σε συσκευές εγγραφής που βρίσκονται εγκατεστημένες επί της δορυφορικής πλατφόρμας (Solid State Records-SSR) για μετέπειτα μετάδοση.

Μετέπειτα επεξεργασία του σήματος επιτρέπει τη δημιουργία εικόνων ραντάρ υψηλής ανάλυσης της επιφάνειας της γης. Αυτά τα προϊόντα εικόνας χρησιμοποιούνται για τη δημιουργία υψηλότερου επιπέδου (και προστιθέμενης αξίας) προϊόντων για την κάλυψη πιο εξειδικευμένων αναγκών εφαρμογής. Αυτή η διαδικασία μπορεί να περιλαμβάνει ειδική επεξεργασία ή περαιτέρω επεξεργασία μαζί με άλλα δεδομένα τηλεπισκόπησης.

Οι ακόλουθες **τεχνικές απεικόνισης** που χρησιμοποιούνται για την παραγωγή των βασικών προϊόντων είναι οι κάτωθι:



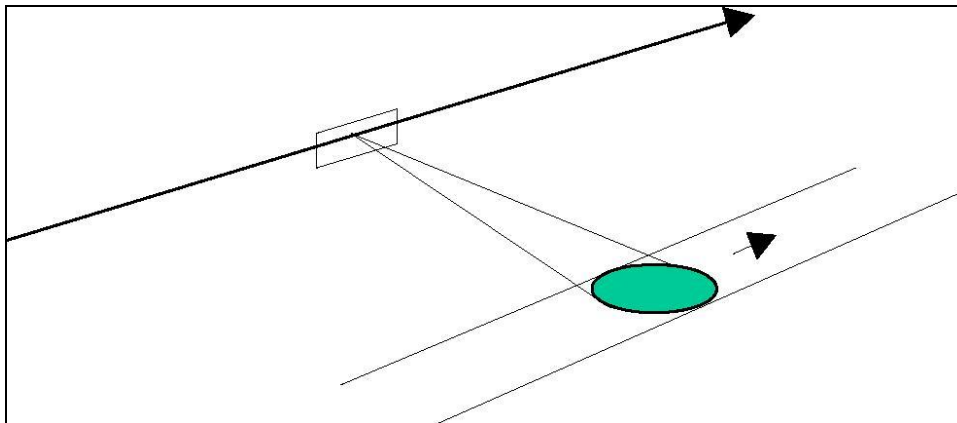
- **Single beam mode**
- **ScanSAR mode**
- **Spotlight mode**

Η διπλή πόλωση ανάλογα με τον τρόπο λειτουργίας του ραντάρ μπορεί να είναι HH (Horizontal-Horizontal), VH (Vertical-Horizontal), HV (Horizontal-Vertical), VV (Vertical- Vertical) .

Αναλύοντας ξεχωριστά καθεμία από τις τεχνικές αυτές, έχουμε:

- **Single beam mode**

Η λειτουργία μονής δέσμης είναι μια λειτουργία SAR τύπου stripmap. Στη λειτουργία μονής δέσμης, η ανύψωση της δέσμης και το προφίλ διατηρούνται σταθερά καθ 'όλη τη διάρκεια της περιόδου συλλογής των δεδομένων.



**Εικόνα 3.27: Γεωμετρία λήψης Single beam mode.**

Οι δέκα (10) διαθέσιμες μορφές λειτουργίας τύπου μονής δέσμης (single beam mode) είναι οι ακόλουθες:

**A. Standard**

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την απεικόνιση σε ένα ευρύ φάσμα γωνιών πρόσπτωσης με μια σειρά χαρακτηριστικών ποιότητας της εικόνας που παρέχει μια ισορροπία μεταξύ υψηλής ανάλυσης και ευρείας κάλυψης, και μεταξύ χωρικής και ραδιομετρικής ανάλυσης. Όσον αφορά τη λειτουργία της, χρησιμοποιεί καθεμία από τις επτά ακτίνες, που αποκαλούνται S1 έως S7. Το ονομαστικό εύρος γωνίας πρόσπτωσης που καλύπτονται από το πλήρες σύνολο των δεσμών (beams) είναι 20 μοίρες (στην εσωτερική άκρη του S1) έως

49 μοίρες (στην εξωτερική άκρη του S7). Κάθε ατομική ακτίνα καλύπτει ένα ονομαστικό λόγο λωρίδας 100 χιλιομέτρων στα πλαίσια της συνολικής λωρίδας ακτίνας άνω των 500 χιλιομέτρων. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν είτε με μονή γραμμική πόλωση (HH ή VV), ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH), ή με διπλή και διασταυρούμενη πόλωση (HH + HV ή VV + VH).

#### **B. Wide**

Η λειτουργία αυτή επιτρέπει την απεικόνιση μεγαλύτερου εύρους από την προηγούμενη, αλλά σε βάρος ελαφρώς της τελικής χωρικής ανάλυσης. Οι τρεις ακτίνες (W1, W2, W3) παρέχουν κάλυψη πλάτους περίπου 170 χιλιομέτρων, 150 χιλιόμετρα και 120 χιλιόμετρα, αντίστοιχα, που εκτείνονται σε ένα συνολικό εύρος γωνίας πρόσπτωσης από 20 έως 45 μοίρες. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν είτε με απλή γραμμική πόλωση (HH ή VV), ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH), ή με διπλή και διασταυρούμενη πόλωση (HH + HV ή VV + VH).

#### **C. Fine**

Η λειτουργία αυτή προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν καλύτερη χωρική ανάλυση. Εικόνες από αυτή την κατηγορία έχουν ένα ονομαστικό εύρος λωρίδας της τάξης των 50 χιλιομέτρων. Οι εννέα (9) ακτίνες της συγκεκριμένης χωρικής ανάλυσης είναι οι εξής: F23 έως F21 και F1 έως F6 που είναι διαθέσιμες για να καλύψουν το εύρος των γωνιών πρόσπτωσης 30 έως 50 μοιρών. Αξίζει να σημειωθεί ότι οι προκύπτουσες απεικονίσεις παρέχουν επικαλύψεις πάνω από 50% μεταξύ των διαδοχικών ευρών απεικόνισης. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν είτε με απλή γραμμική πόλωση (HH ή VV), ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH), ή με διπλή και διασταυρούμενη πόλωση (HH + HV ή VV + VH).

#### **D. Multi-Look Fine**

Η λειτουργία αυτή καλύπτει ακριβώς τα ίδια εύρη με τη λειτουργία Fine. Τα προϊόντα με πολλαπλές εμφανίσεις στο εύρος και το αζιμούθιο παράγουν περίπου την ίδια χωρική ανάλυση όπως τα προϊόντα λειτουργίας Fine, με τη μόνη διαφορά ότι οι πολλαπλές εμφανίσεις εν προκειμένω δίνουν βελτιωμένη ραδιομετρική ανάλυση. Επιπλέον, τα συγκεκριμένα προϊόντα παρέχουν καλύτερη χωρική ανάλυση από εκείνα της Fine λειτουργίας. Η υψηλότερος ρυθμός αποθήκευσης δεδομένων από τις συσκευές εγγραφής

επιτρέπει την καταγραφή πολλαπλών λήψεων χωρίς μείωση του πλάτους λωρίδα. Όπως και με τη Fine λειτουργία, οι ίδιες εννέα (9) ακτίνες καλύπτουν το εύρος γωνίας πρόσπτωσης από 30 έως 50 μοίρες. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν αποκλειστικά σε μονή πόλωση, η οποία μπορεί να είναι είτε με απλή γραμμική πόλωση (HH ή VV), ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH).

#### **E. Ultra Fine**

Η συγκεκριμένη λειτουργία προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν πολύ υψηλή χωρική ανάλυση. Σε αυτή τη λειτουργία το ραντάρ λειτουργεί με το υψηλότερο ποσοστό δειγματοληψίας, και έτσι η κάλυψη λωρίδας εδάφους περιορίζεται στο να κρατήσει το ρυθμό δεδομένων εντός των ορίων εγγραφής. Το σύνολο των ακτινών καλύπτουν οποιαδήποτε περιοχή εντός του εύρους γωνίας πρόσπτωσης από 20 έως 49 μοίρες. Κάθε ακτίνα εντός των καθορισμένων εικόνων έχει πλάτος λωρίδας τουλάχιστον 20 χιλιομέτρων. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν αποκλειστικά σε μονή πόλωση, η οποία μπορεί να είναι είτε με απλή γραμμική πόλωση (HH ή VV), ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH).

#### **F. Extended High (High Incidence)**

Οι έξι (6) ακτίνες που είναι διαθέσιμες για την απεικόνιση της συγκεκριμένης χωρικής ανάλυσης στην περιοχή γωνίας πρόσπτωσης από 49 έως 60 μοίρες είναι οι EH1 έως EH6. Δεδομένου ότι αυτές οι ακτίνες λειτουργούν έξω από τη βέλτιστη σάρωση εύρους γωνίας της κεραίας SAR, μπορεί να αναμένεται κάποια μικρή υποβάθμιση της ποιότητας της εικόνας, σε σύγκριση με το Standard Beam Mode. Τα πλάτη περιορίζονται στην ονομαστική τιμή των 80 χιλιομέτρων για τις τρεις (3) εσωτερικές ακτίνες, και στα 70 χιλιόμετρα για τις τρεις (3) εξωτερικές ακτίνες. Τέλος, οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν αποκλειστικά σε HH πόλωση.

#### **G. Extended Low (Low Incidence)**

Μια μόνο ακτίνα, η EL1, παρέχεται για την απεικόνιση της συγκεκριμένης χωρικής ανάλυσης στην περιοχή γωνίας πρόσπτωσης 10 έως 23 μοίρες με ονομαστική κάλυψη εδάφους λωρίδας 170 χιλιομέτρων. Ενώ όπως συμβαίνει και με την προηγούμενη κατηγορία, αναμένονται κάποιες μικρές υποβαθμίσεις της ποιότητας της εικόνας λόγω της λειτουργίας της κεραίας πέρα από τη περιοχή βέλτιστης σάρωσης. Τέλος, οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν αποκλειστικά σε HH πόλωση.

## **H. Standard Quad Polarization**

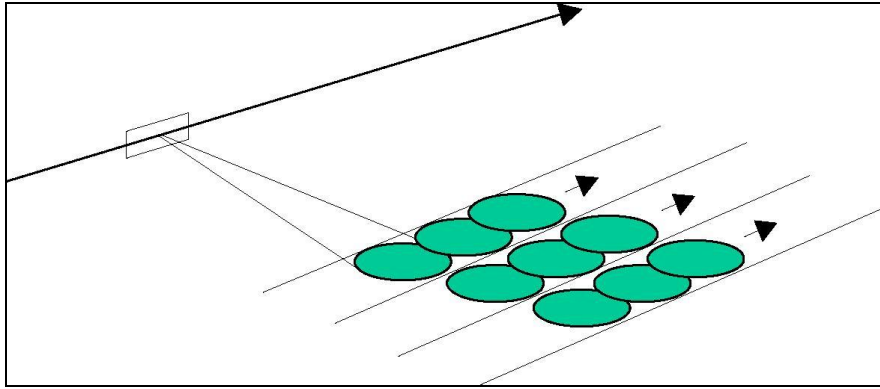
Στη συγκεκριμένη λειτουργία το ραντάρ εκπέμπει παλμούς εναλλάξ σε οριζόντιες (H) και κατακόρυφες (V) πολώσεις, και λαμβάνει τα σήματα επιστροφής από κάθε παλμό σε δύο (H και V) πολώσεις ξεχωριστά. Συνεπώς, αυτές οι λειτουργίες επιτρέπουν την παραγωγή πλήρως πολωσιμετρικών (HH + VV + HV + VH) προϊόντων-εικόνων. Ακόμη, η λειτουργία Standard Quad Polarization λειτουργεί με το ίδιο εύρος ακτινών όπως η λειτουργία Standard. Τέλος, μπορούν να προκύψουν εικόνες με πλάτη λωρίδας περίπου 25 χιλιομέτρων για γωνίες πρόσπτωσης από 18 έως 49 μοίρες.

## **I. Fine Quad Polarization**

Η λειτουργία Fine Quad παρέχει πλήρη πολωσιμετρική απεικόνιση με την ίδια χωρική ανάλυση, όπως η λειτουργία Fine. Τέλος, όπως και στη προηγούμενη κατηγορία μπορούν να προκύψουν εικόνες με πλάτη λωρίδας περίπου 25 χιλιομέτρων για γωνίες πρόσπτωσης από 18 έως 49 μοίρες.

### **➤ ScanSAR mode**

Η λειτουργία ScanSAR παρέχει εικόνες από πολύ μεγάλα εύρη σε ένα μόνο πέρασμα του δορυφόρου, και προορίζεται για χρήση σε εφαρμογές που απαιτούν μεγάλης κλίμακας περιοχή κάλυψης, όπως εφαρμογές παρακολούθησης. Οι ScanSAR εικόνες μπορούν να παραχθούν είτε με μια απλή γραμμική συν-πόλωση, ή με μια απλή γραμμική διασταυρούμενη πόλωση, ή με διπλή συν-πόλωση ή με διπλή διασταυρούμενη πόλωση. Στις διάφορες λειτουργίες ScanSAR χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό δύο, τρεις ή τέσσερις μονές ακτίνες (single beams) που καλύπτουν παρακείμενες ζώνες περιοχών. Οι δέσμες ακτινών λειτουργούν διαδοχικά, καθεμία για μια σειρά μεταδόσεων παλμού, έτσι ώστε να συλλέγονται δεδομένα ευρύτερης λωρίδας και εύρους, γεγονός που είναι αδύνατον στη περίπτωση μονής (single) δέσμης. Οι διαφορετικές δέσμες ακτινών επιλέχθηκαν κατ' αυτόν τον τρόπο για να εξασφαλιστεί ότι τα τμήματα της εικόνας που παράγονται από διαδοχικές σειρές παρέχουν αδιάσπαστη περιμετρική κάλυψη. Για τη λειτουργία ScanSAR στον RADARSAT-2, το ενσωματωμένο ραντάρ έχει προγραμματιστεί ώστε να παρέχει δύο τιμές αζιμουθίου ανά δέσμη για όλα τα σημεία.



**Εικόνα 3.28: Γεωμετρία λήψης ScanSAR mode.**

Οι δύο (2) διαθέσιμες μορφές λειτουργίας τύπου ScanSAR είναι οι ακόλουθες:

#### **A. ScanSAR Narrow (SCN)**

Η ScanSAR Narrow λειτουργία παρέχει κάλυψη λωρίδας εδάφους περίπου διπλάσιου εύρους από το πλάτος στη περίπτωση Wide Beam. Δύο συνδυασμοί ακτινών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

- SCNA:  $W1 + W2$
- SCNB:  $W2 + S5 + S6$

Και οι δύο επιλογές παρέχουν κάλυψη πλάτους λωρίδα περίπου 300 χιλιομέτρων. Ο συνδυασμός SCNA παρέχει κάλυψη εδάφους για γωνίες πρόσπτωσης από 20 έως 39 μοίρες, ενώ ο συνδυασμός SCNB παρέχει κάλυψη εδάφους για γωνίες πρόσπτωσης από 31 έως 47 μοίρες.

#### **B. ScanSAR Wide (SCW)**

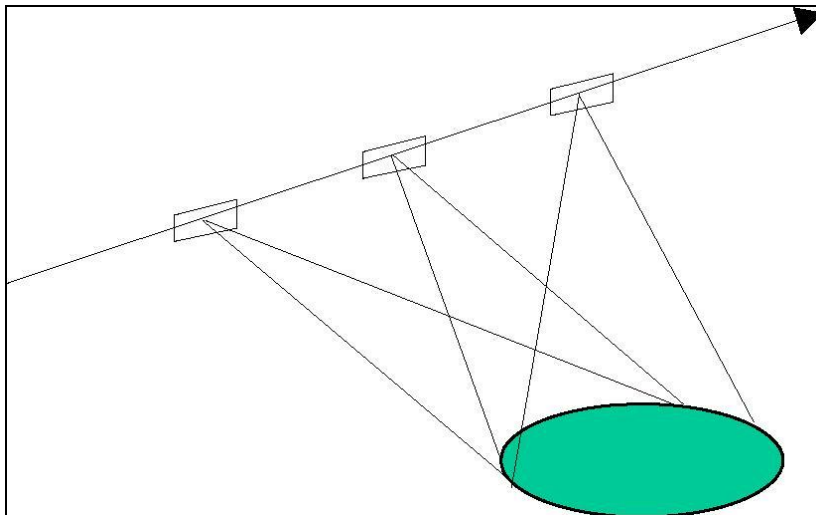
Η λειτουργία ScanSAR Wide παρέχει κάλυψη εδαφολωρίδας περίπου διπλάσιου εύρους από το πλάτος στη περίπτωση Wide Beam. Δύο συνδυασμοί ακτινών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν είναι οι εξής:

- SCWA:  $W1 + W2 + W3 + S7$
- SCWB:  $W1 + W2 + S5 + S6$

Ο συνδυασμός SCWA επιτρέπει την απεικόνιση λωρίδας εδάφους άνω των 500 χιλιομέτρων και καλύπτει το πλήρες φάσμα γωνιών πρόσπτωσης της ζώνης 20 έως 49 μοιρών που καταλαμβάνεται από τη λειτουργία της δέσμης ακτινών Standard. Από την άλλη πλευρά, ο συνδυασμός SCWB επιτρέπει την απεικόνιση λωρίδας εδάφους άνω των 450 χιλιομέτρων και καλύπτει το εύρος γωνίας πρόσπτωσης 20 έως 46 μοίρες.

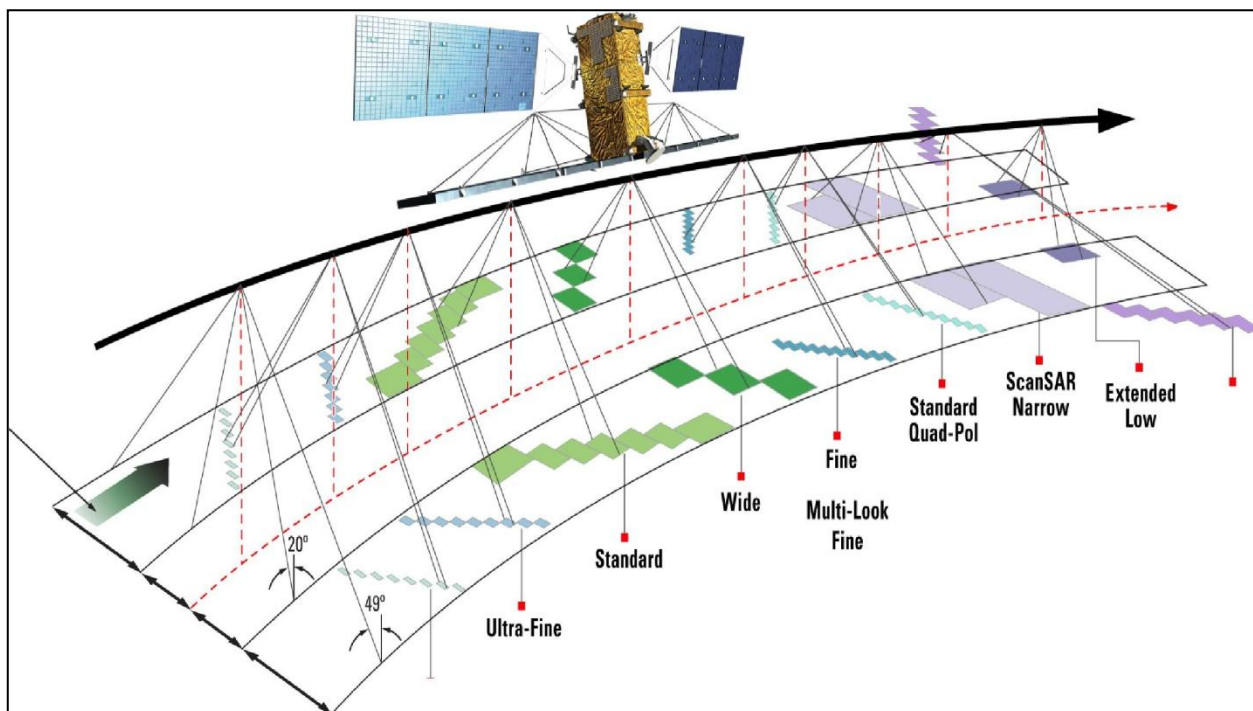
➤ **Spotlight mode**

Η λειτουργία Spotlight mode προορίζεται για εφαρμογές που απαιτούν την βέλτιστη χωρική ανάλυση που είναι διαθέσιμη από το σύστημα SAR του RADARSAT-2. Σε αυτή τη λειτουργία το ραντάρ λειτουργεί με το υψηλότερο ποσοστό δειγματοληψίας, και έτσι η κάλυψη λωρίδας εδάφους περιορίζεται προκειμένου να είναι σε θέση να κρατήσει ρυθμό δεδομένων εντός των ορίων εγγραφής. Σε αντίθεση με τις άλλες λειτουργίες, οι εικόνες Spotlight είναι σταθερού μεγέθους κι εναρμονισμένες με το μήκος της διαδρομής λήψης. Το σύνολο των δεσμών ακτινών τύπου Spotlight καλύπτουν οποιαδήποτε γωνία πρόσπτωσης από 20 έως 49 μοίρες, ενώ κάθε ακτίνα εντός των καθορισμένων ζωνών απεικόνισης είναι πλάτους λωρίδας τουλάχιστον 18 χιλιομέτρων. Οι συγκεκριμένες εικόνες μπορούν να παραχθούν σε μονή πόλωση, η οποία μπορεί να είναι είτε μια γραμμική συν-πόλωση (HH ή VV) ή μια γραμμική διασταυρούμενη πόλωση (HV ή VH).



**Εικόνα 3.29:** Γεωμετρία λήψης Spotlight mode.

Ως εκ τούτου, έχοντας αναλύσει με λεπτομέρεια όλες τις τεχνικές απεικόνισης του δορυφορικού συστήματος RADARSAT-2 μπορούμε να τις απεικονίσουμε σχηματικά με την παρακάτω εικόνα:



**Εικόνα 3.30: Τεχνικές απεικόνισης του RADARSAT-2.**

### 3.2.5 ΒΑΣΙΚΑ ΠΡΟΪΟΝΤΑ

Με εκμετάλλευση των δυνατοτήτων του δορυφόρου παράγονται κατάλληλα προϊόντα επεξεργασμένα ως προς:

- Τη γεωμετρική και ραδιομετρική ανάλυση
- Τη γεωμετρική προβολή και διόρθωση
- Βοηθητικά αρχεία πληροφοριών

Τα βασικά προϊόντα του RADARSAT-2 διαφοροποιούνται σε πέντε (5) είδη, τα οποία διατίθενται ανεξάρτητα αλλά και σε συνδυασμό με άλλα προϊόντα:

- A. Single Look Complex (SLC)
- B. Path Image (SGF)
- C. Path Image Plus (SGX)
- D. Map Image (SSG)
- E. Precision Map Image (SPG)

### 3.2.6 ΤΙΜΟΛΟΓΗΣΗ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η τιμολόγηση των βασικών προϊόντων SLC, SGF, SGX και SSG, παρουσιάζεται βάσει της διεθνούς τιμολογιακής πολιτικής του παρόχου στη συνέχεια (Εικόνα 3.31). Για κάθε ένα επιπλέον επίπεδο επεξεργασίας, προστίθεται η τιμή των 1.200 \$ (Καναδά).

Beam Mode	Single Look Complex (SLC)	Path Image (SGF)	Path Image Plus (SGX)	Map Image (SSG)
Spotlight A (1 m)	\$8,400	\$8,400	\$8,400	\$8,400
Ultra-Fine (3 m)	\$5,400	\$5,400	\$5,400	\$5,400
Wide Ultra-Fine (3 m)	\$7,800	\$7,800	\$7,800	\$7,800
Extra-Fine (5 m)	\$7,500	\$7,500	\$7,500	\$7,500
Multi-Look Fine (8 m)	\$4,200	\$4,200	\$4,200	\$4,200
Wide Multi-Look Fine (8 m)	\$7,500	\$7,500	\$7,500	\$7,500
Fine (8 m)	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol
Wide Fine (8 m)	\$7,500 - single pol \$7,800 - dual pol	\$7,500 - single pol \$7,800 - dual pol	\$7,500 - single pol \$7,800 - dual pol	\$7,500 - single pol \$7,800 - dual pol
Standard (25 m)	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol
Wide (30 m)	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol
ScanSAR Narrow (50 m)	N/A	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	N/A	N/A
ScanSAR Wide (100 m)	N/A	\$3,600 - single pol \$3,800 - dual pol	N/A	N/A
Extended High (25 m)	\$3,600	\$3,600	\$3,600	\$3,600
Extended Low (25 m)	\$3,600	\$3,600	\$3,600	\$3,600
Fine Quad-Pol (8 m)	\$5,400	N/A	\$5,400	\$5,400
Wide Fine Quad-Pol (8 m)	\$7,800	N/A	\$7,800	\$7,800
Standard Quad-Pol (25 m)	\$5,400	N/A	\$5,400	\$5,400
Wide Standard Quad-Pol (25 m)	\$7,800	N/A	\$7,800	\$7,800

**Εικόνα 3.31:** Τιμολόγηση προϊόντων Radar SAT-2 (Ιούλιος 2013).

#### Επεξηγηματικά στοιχεία:

- *Single pol* = (HH) or (HV) or (VV) or (VH).

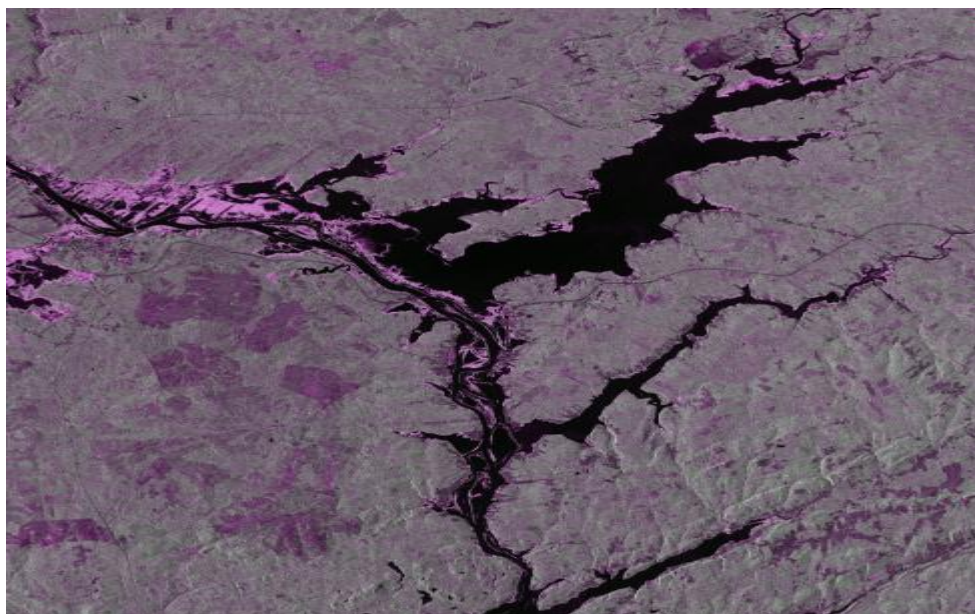


$Dual\ pol = (HH + HV) \text{ or } (VV + VH).$

$Quad\ pol = (HH + HV + VV + VH).$

- Προϊόντα (εικόνες) ακρίβειας επιπέδου χάρτη είναι διαθέσιμα με επιπλέον κόστος της τάξης των \$900 (Καναδά).  
[Precision Map Image (SPG) products cost \$900 (i.e. standard pricing + \$900).]
- Οι πελάτες μπορούν να παραγγείλουν δεδομένα με περισσότερα από ένα επίπεδο επεξεργασίας. Η επιπλέον επιβάρυνση κοστολογείται με ένα ποσό της τάξης των 1.200\$ (Καναδά) για κάθε επιπλέον επίπεδο επεξεργασίας, όταν εκείνο παραγγέλλεται ταυτόχρονα με την αρχική εικόνα.
- Τα προϊόντα SLC περιλαμβάνουν πληροφορία φάσης και έντασης. Ενώ, τα προϊόντα SGF, SGX and SSG περιλαμβάνουν μόνο πληροφορία έντασης.

Ενδεικτικά, για εποπτικούς λόγους αξιολόγησης παρατίθενται δύο εικόνες δορυφορικής λήψης του συστήματος RADARSAT-2 που αποτελούν προϊόν εμπορικής χρήσης της εταιρίας MDA Corporation. Η εταιρία MDA κατόπιν συμβολαίου που έχει συνάψει με την Καναδική Υπηρεσία Διαστήματος (Canadian Space Agency) ήταν υπεύθυνη τόσο για την σχεδίαση και κατασκευή του Δορυφόρου όσο και για τα μετέπειτα πνευματικά δικαιώματά για την εμπορική χρήση των προϊόντων αυτού.



**Εικόνα 3.29:** Εικόνα του RADARSAT-2 περιοχής New Brunswick, Καναδάς  
(Πηγή: MDA Corporation)



**Εικόνα 3.30: Εικόνα του RADARSAT-2 περιοχής Gulf of Mexico, ΗΠΑ  
(Πηγή: MDA Corporation)**

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 : ΠΡΑΚΤΙΚΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

### 4.1 ΕΙΣΑΓΩΓΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Στο παρόν κεφάλαιο θα επιχειρήσουμε την ταξινόμηση των διάφορων εδαφικών περιοχών (αστική, ημιαστική, αγροτική, θαλάσσια και ορεινή) χρήσει της θεωρίας των fractals και της διαφορετικότητας στις τιμές που καθεμία από αυτές τις περιοχές εμφανίζει ως προς τα  $F_d$  (Fractal Dimension) και  $F_a$  (Fractal Area).

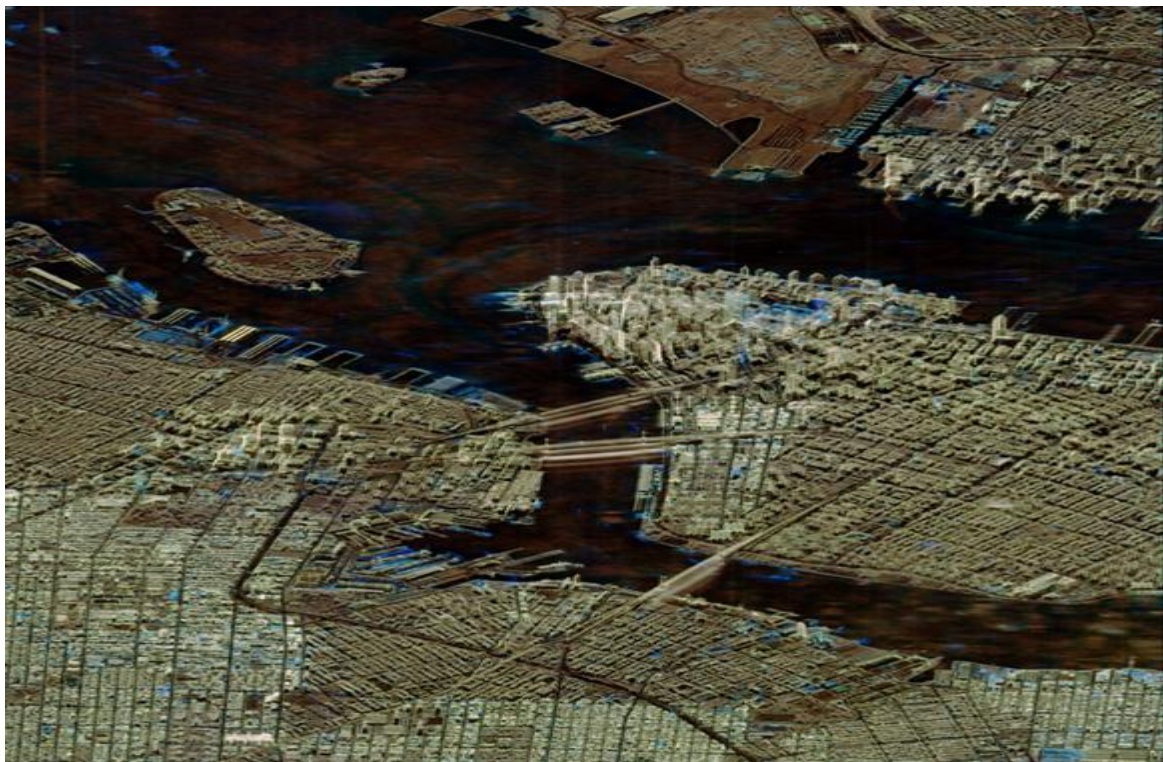
Βασιζόμενοι στη δημοσίευση [Malamou A., Pandis C., Frangos P., Stefaneas P., Karakasiliotis A., Kodokostas D., 2013, Application of the Modified Fractal Signature Method for Terrain Classification from Synthetic Aperture Radar Images] όπου αναπτύσσονται αναλυτικά οι ορισμοί των  $F_d$  και  $F_a$  (όπως και η μεθοδολογία εκτέλεσης του πειράματος), θα ταξινομήσουμε τις περιοχές μελέτης που εμφανίζονται στις παρακάτω τέσσερις (4) SAR εικόνες. Αξίζει να σημειωθεί ότι, οι συγκεκριμένες εικόνες προμηθεύτηκαν από την Διεθνή Ομάδα Εργασίας σε τεχνικές SAR εικόνων που ονομάζεται SET 163 Working Group. [Οι εικόνες αυτές προέρχονται από τον γερμανικό δορυφόρο TerraSAR-X.]



**Εικόνα 4.1:** Δορυφορική εικόνα SAR της περιοχής Colorado,USA.



**Εικόνα 4.2:** Δορυφορική εικόνα SAR της περιοχής Las Vegas,USA.



**Εικόνα 4.3:** Δορυφορική εικόνα SAR της περιοχής New York,USA.



**Εικόνα 4.4:** Δορυφορική εικόνα SAR της περιοχής Washington,USA.

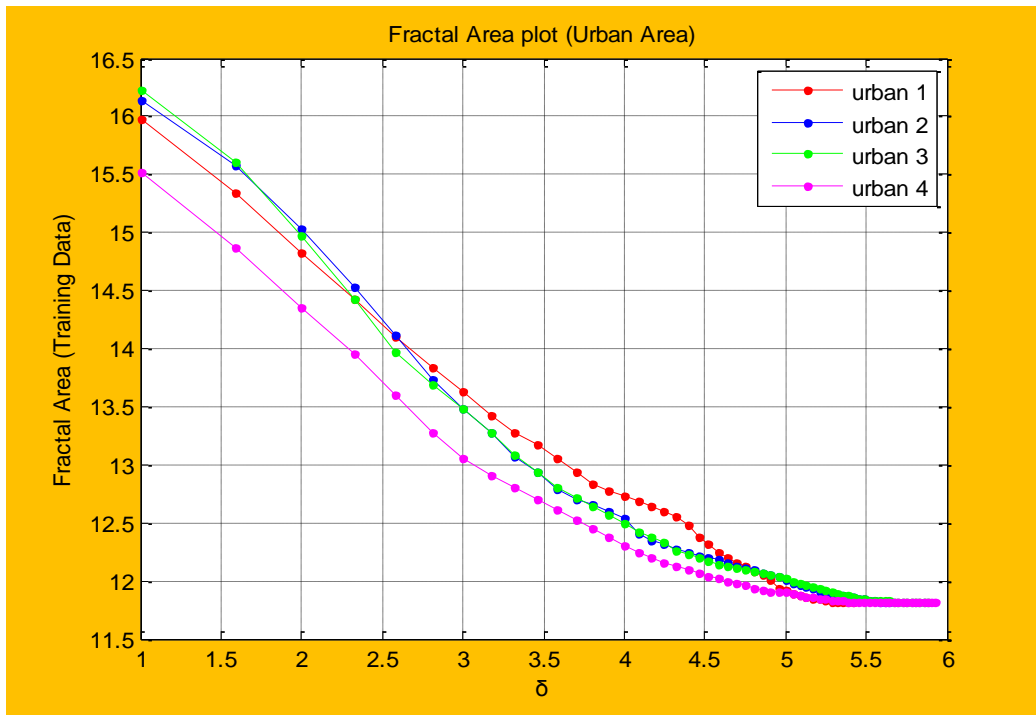
## 4.2 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΕΠΙΛΥΣΗΣ

### 4.2.1 ΣΤΑΔΙΟ ‘TRAINING DATA’

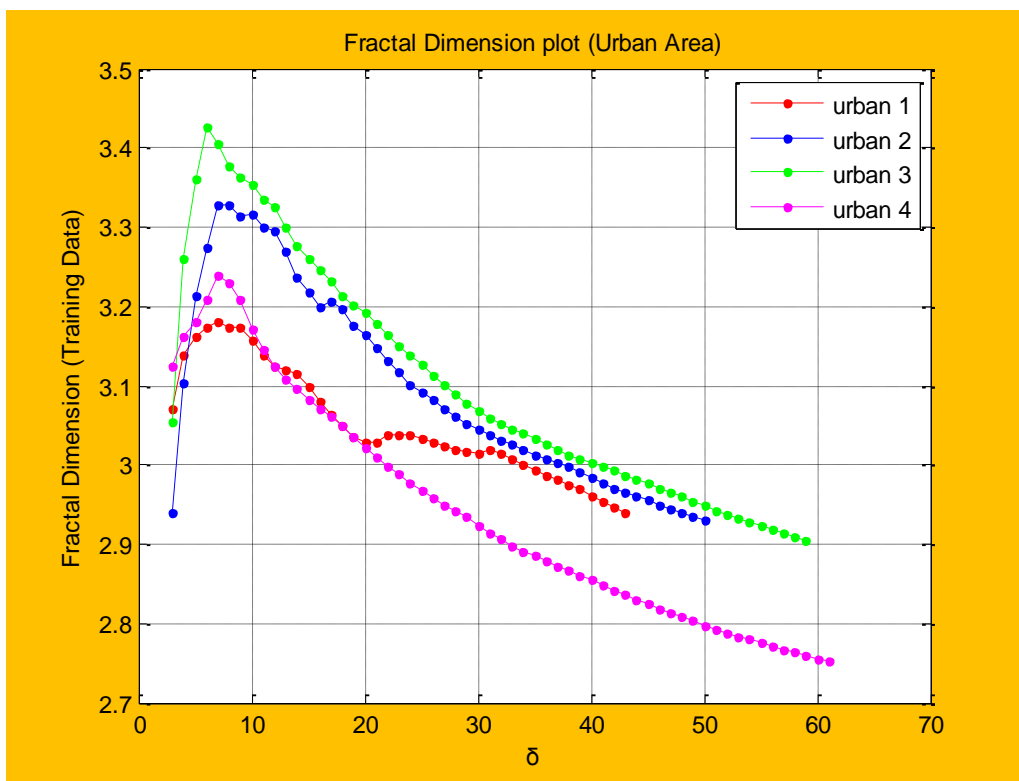
Χρήσει του περιβάλλοντος Matlab και του αντίστοιχου κώδικα επίλυσης δημιουργούμε υποομάδες εικόνων (4 sub-images από καθεμία από τις αρχικές μας εικόνες για κάθε κατηγορία εδάφους πχ ορεινή, αστική κλπ). Τα αρχικά δεδομένα μας αποκαλούνται Training Data και υφίστανται ξεχωριστά για καθεμία κατηγορία εδάφους, δηλαδή μια για την ορεινή περιοχή, μια για την αστική, μια για την ημιαστική, μια για την θαλάσσια και μια για την αγροτική περιοχή. Έτσι προκύπτουν τα παρακάτω διαγράμματα που θα μας βοηθήσουν να συγκρίνουμε τις υπογραφές (signatures) των περιοχών τόσο μεταξύ τους όσο και με τα Testing Data μας που θα αποτελέσουν το δεύτερο στάδιο ελέγχου των προκυπτουσών υπογραφών. Στα Testing Data θα επιλέξουμε αυτή τη φορά ένα (1) αντιπροσωπευτικό sub-image για κάθε περιοχή από όλες τις εικόνες συνολικά και επομένως θα προκύψει ένα συνδυαστικό διάγραμμα σύγκρισης των πέντε (5) διαφορετικών περιοχών μεταξύ τους.

Εφαρμόζοντας τα προαναφερθέντα έχουμε:

- Για την Αστική περιοχή

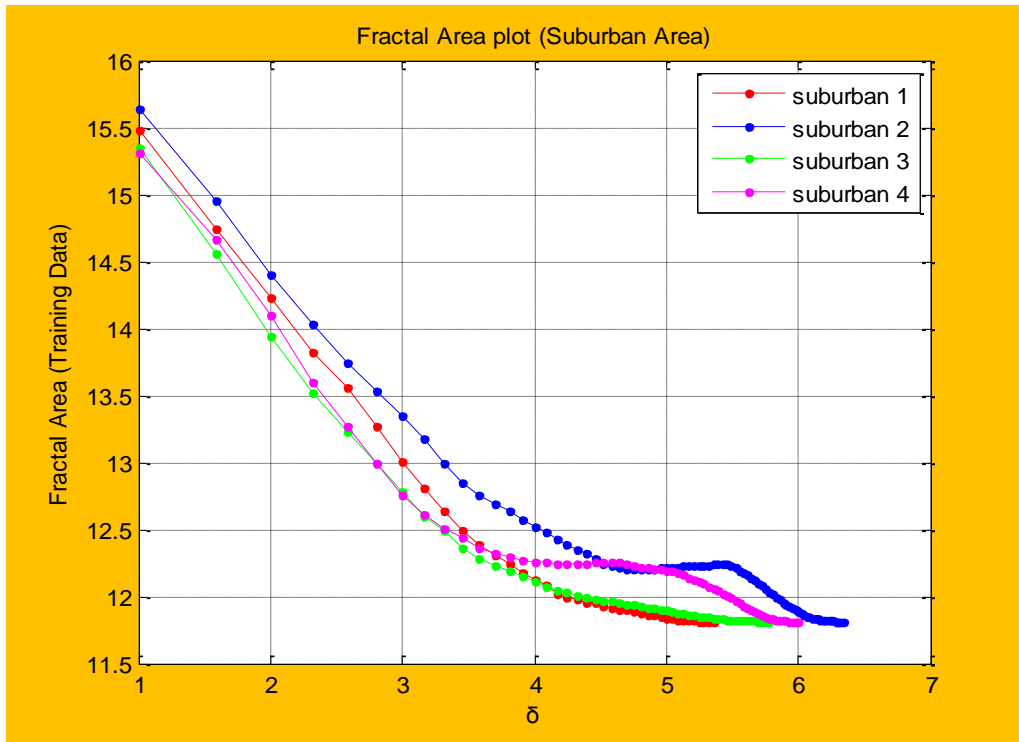


**Εικόνα 4.5:** Διάγραμμα Fractal Area plot για Αστική Περιοχή (Urban Area)

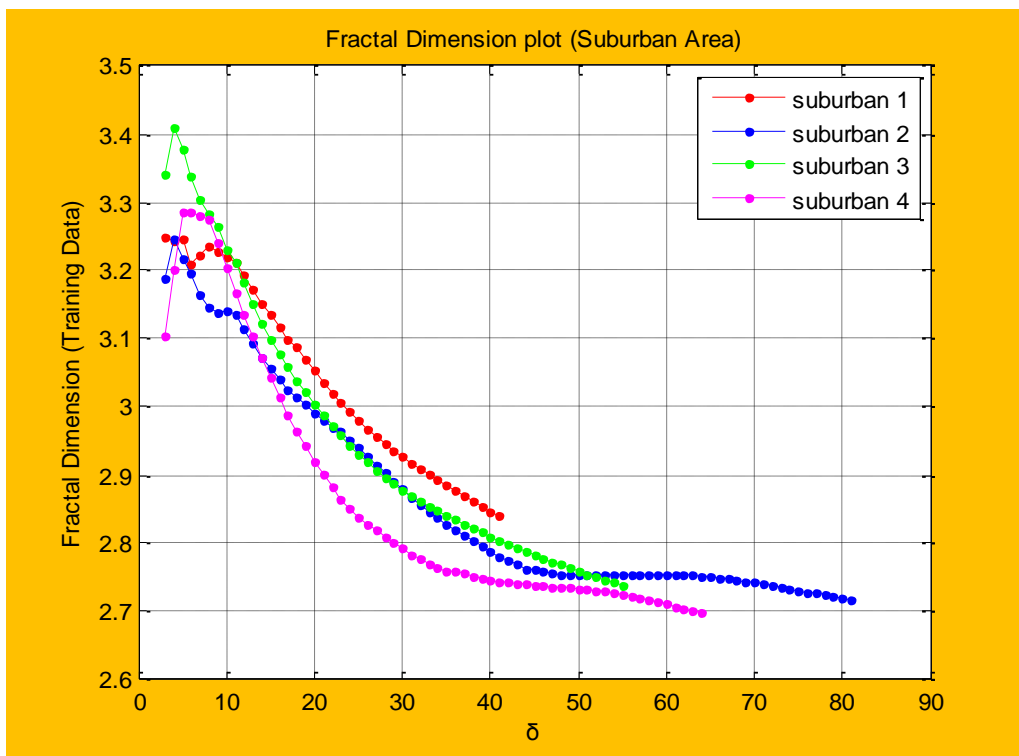


**Εικόνα 4.6:** Διάγραμμα Fractal Dimension plot για Αστική Περιοχή (Urban Area)

- Για την Ημιαστική περιοχή

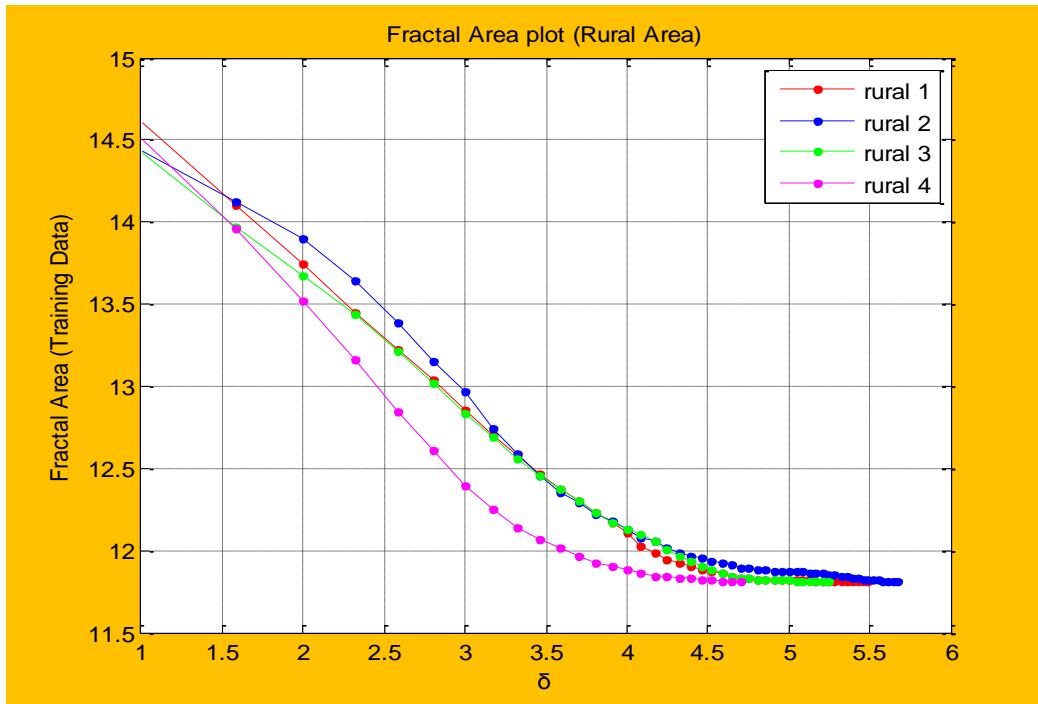


**Εικόνα 4.7:** Διάγραμμα Fractal Area plot για Αστική Περιοχή (Suburban Area)

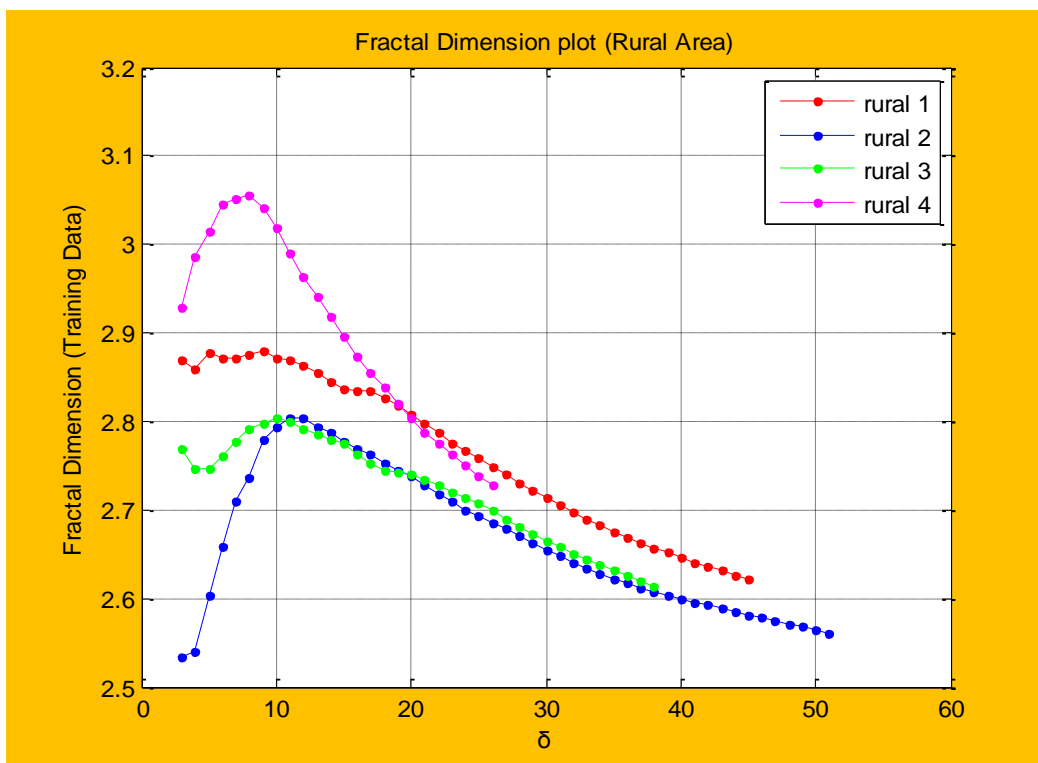


**Εικόνα 4.8:** Διάγραμμα Fractal Dimension plot για Αστική Περιοχή (Suburban Area)

- Για την Αγροτική περιοχή



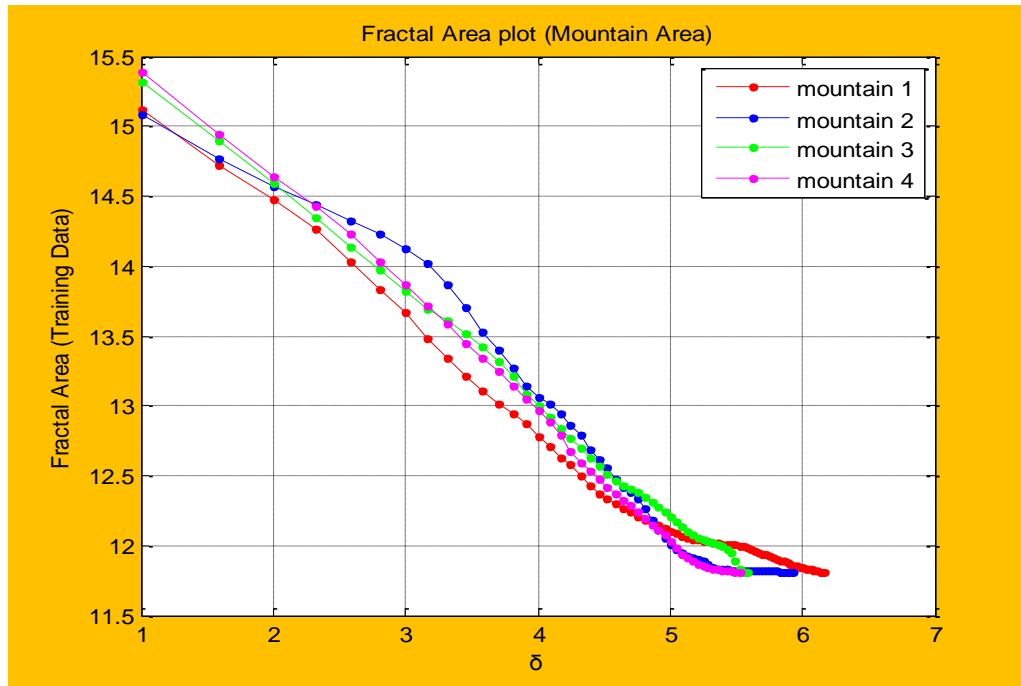
**Εικόνα 4.9:** Διάγραμμα Fractal Area plot για Αγροτική Περιοχή (Rural Area)



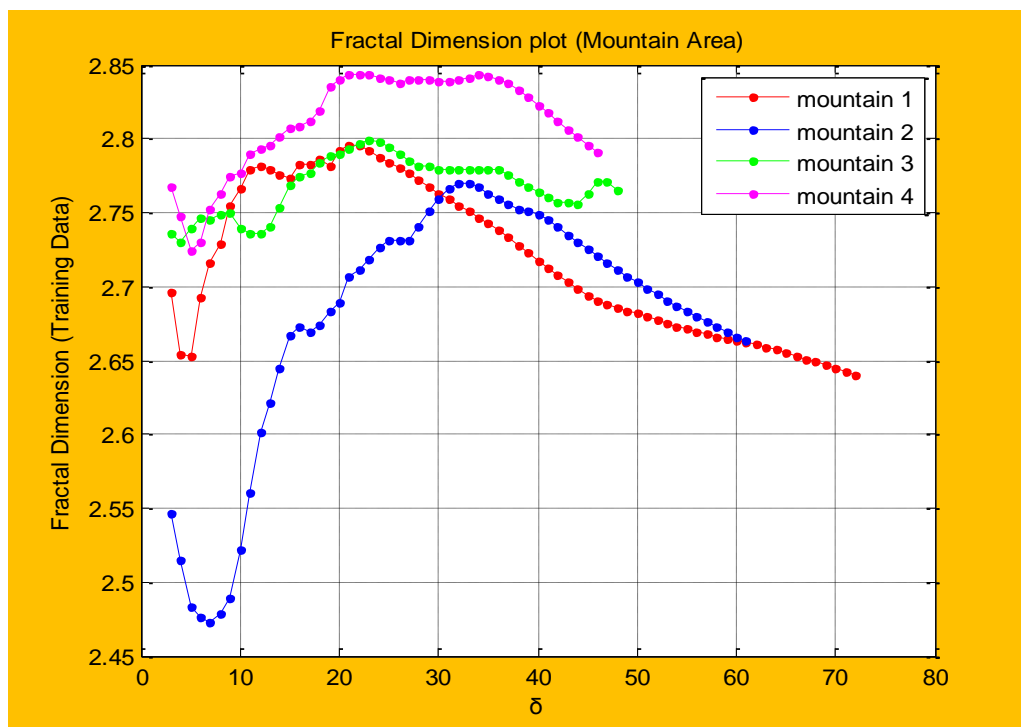
**Εικόνα 4.10:** Διάγραμμα Fractal Dimension plot για Αγροτική Περιοχή (Rural Area)



- Για την Ορεινή περιοχή

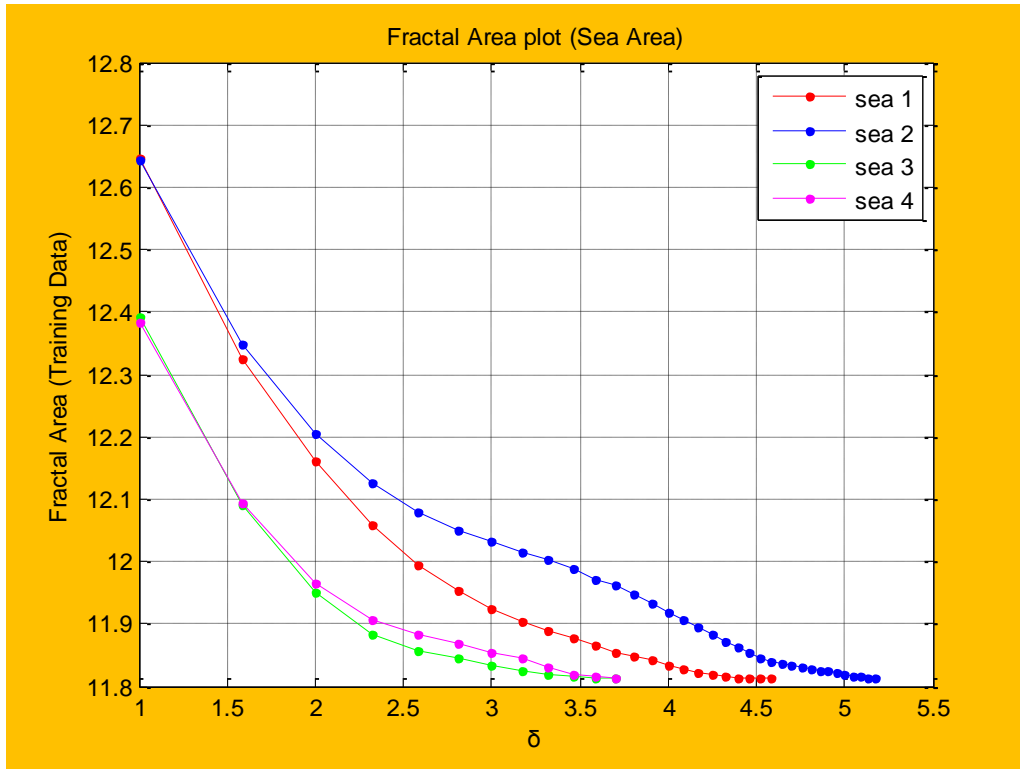


**Εικόνα 4.11:** Διάγραμμα Fractal Area plot για Ορεινή Περιοχή (Mountain Area)

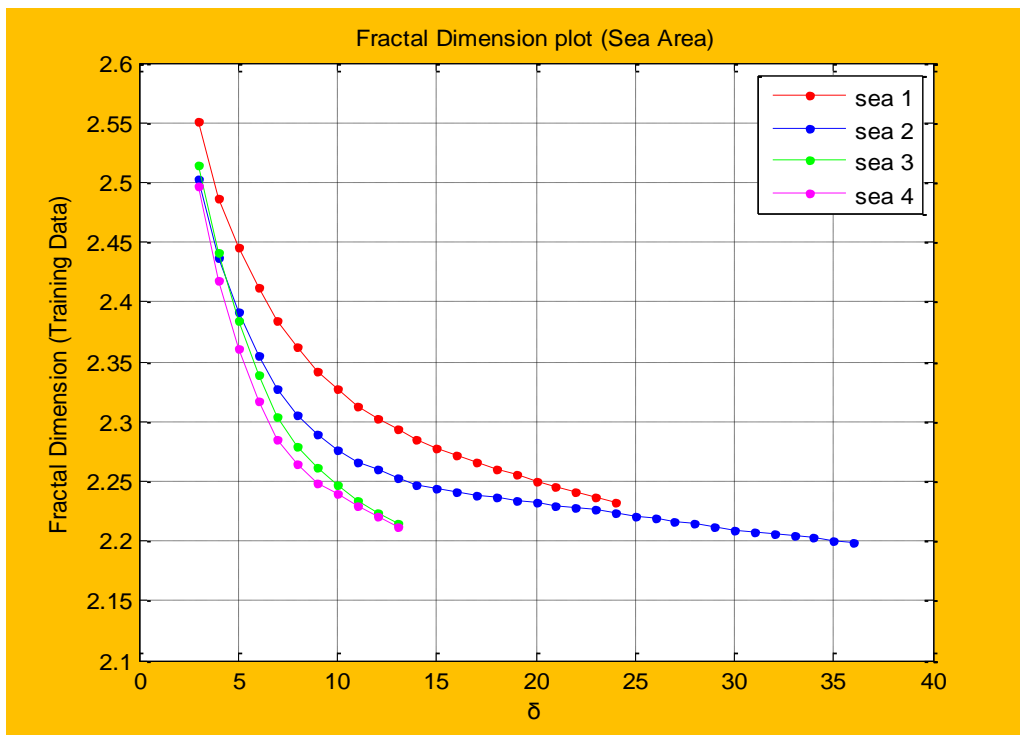


**Εικόνα 4.12:** Διάγραμμα Fractal Dimension plot για Ορεινή Περιοχή (Mountain Area)

- Για την Θαλάσσια περιοχή



**Εικόνα 4.13:** Διάγραμμα Fractal Area plot για Θαλάσσια Περιοχή (Sea Area)



**Εικόνα 4.14:** Διάγραμμα Fractal Dimension plot για Θαλάσσια Περιοχή (Sea Area)

#### 4.2.2 ΣΤΑΔΙΟ ‘TESTING DATA’

Έχοντας ολοκληρώσει το στάδιο για τα Training Data μας απομένει η επιλογή αντιπροσωπευτικών εικόνων από τις υπάρχουσες έτσι ώστε να γενικεύσουμε τα συμπεράσματά μας για όλες τις κατηγορίες περιοχών ενδιαφέροντος.

Όπως αναφέρθηκε και παραπάνω, στα Testing Data θα επιλέξουμε αυτή τη φορά ένα (1) αντιπροσωπευτικό sub-image για κάθε περιοχή από όλες τις εικόνες συνολικά και επομένως θα προκύψει ένα συνδυαστικό διάγραμμα σύγκρισης των πέντε (5) διαφορετικών περιοχών μεταξύ τους.

Ως μέτρο σύγκρισης των αποστάσεων D που τοποθετούνται στον Classification Matrix που προκύπτει (Εικόνα 4.16) θα παραθέσουμε τον αντίστοιχο Classification Matrix (Fragos P. et al, Lithuania 2013, Application of the Modified Fractal Signature Method for Terrain Classification from Synthetic Aperture Radar Images) όπως εκείνος προέκυψε για τις αντίστοιχες δορυφορικές εικόνες (Εικόνα 4.15).

	<b>urban (test data)</b>	<b>suburban (test data)</b>	<b>rural (test data)</b>	<b>mountain (test data)</b>	<b>sea (test data)</b>
<b>urban (training data)</b>	0.0164	0.0666	0.4318	0.7412	2.5293
<b>suburban (training data)</b>	0.1122	0.0149	0.4681	0.8797	2.6879
<b>rural (training data)</b>	0.6305	0.5277	0.0157	0.0297	0.8359
<b>mountain (training data)</b>	1.0736	0.9252	0.1304	0.0076	0.4991
<b>sea (training data)</b>	2.0747	2.0585	0.7091	0.3443	0.0016

**Εικόνα 4.15: Classification Matrix των data δημοσίευσης Lithuania 2013.**

Ακολουθώντας την ίδια μεθοδολογία εκτέλεσης του πειράματος, χρήση του περιβάλλοντος Matlab, προκύπτει ο νέος Classification Matrix όπως εμφανίζεται παρακάτω:

	urban (test data)	suburban (test data)	rural (test data)	mountain (test data)	sea (test data)
urban (training data)	0.0258	0.0662	0.2822	0.4974	2.2606
suburban (training data)	0.0271	0.0663	0.3021	0.6109	2.4695
rural (training data)	0.546	0.2914	0.0753	0.0099	0.7216
mountain (training data)	0.9441	0.5992	0.2743	0.0584	0.3881
sea (training data)	1.9648	1.5612	1.007	0.5307	0.0011

**Εικόνα 4.16: Classification Matrix των νέων data.**

Συγκρίνοντας και τους δύο πίνακες έχουμε να παρατηρήσουμε ότι :

- Οι ελάχιστες αποστάσεις  $D$  κάθε κατηγορίας εδάφους εμφανίζονται στη κύρια διαγώνιο του συνολικού πίνακα τιμών.
- Οι ελάχιστες αποστάσεις  $D$ , τόσο στα Training Data όσο και στα Testing Data, εμφανίζονται στην ίδια κατηγορία εδάφους, γεγονός που επιβεβαιώνει ότι τα δείγματα (sub-images) που πήραμε από τις κυρίως εικόνες είναι αξιόπιστα και αντιπροσωπευτικά. Σε διαφορετική περίπτωση θα έπρεπε η ελάχιστη τιμή  $D$  πχ στον τύπο Urban για τα Training Data να μην συμπίπτει με εκείνο των Testing Data, το οποίο θα σήμαινε ότι δεν θα είχαμε διαλέξει (και χαρακτηρίσει) σωστά την αντίστοιχη κατηγορία εδάφους (terrain type).
- Η τάξη μεγέθους των αποστάσεων  $D$  για την ίδια κατηγορία εδάφους είναι η ίδια τόσο στον Classification Matrix των data δημοσίευσης Lithuania 2013 όσο και στον Classification Matrix των νέων data. Πχ  $D_{\text{urban\_Lithuania}}=0.0164$  και  $D_{\text{urban\_νέων\_data}}=0.0258$ .

## ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 : ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την ολοκλήρωση της παρούσας διπλωματικής εργασίας αξίζει να συνοψιστούν μια σειρά σκέψεων και συμπερασμάτων που προκύπτουν κατόπιν της ερευνητικής επεξεργασίας που επιτελέσθη. Όπως αναφέραμε και παραπάνω τα δύο πρώτα Κεφάλαια επικεντρώθηκαν σε εισαγωγικές έννοιες και πληροφορίες τόσο σε θέματα Τηλεπισκόπησης όσο σε θέματα λειτουργίας των συστημάτων ραντάρ. Με αυτό τον τρόπο ο αναγνώστης αποκτά μια πρώτη γεύση σε θεωρητική βάση ώστε να εμβαθύνει στα επόμενα Κεφάλαια που είναι πιο στοχευμένα σε γνωστικό επίπεδο.

Ειδικότερα, γίνεται αναφορά σε βασικές έννοιες της επιστήμης της Τηλεπισκόπησης (Remote Sensing) όπως η φωτοερμηνεία, η φασματική υπογραφή και η ψηφιακή ταξινόμηση, ενώ στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο αναπτύσσονται με εκτενή τρόπο η αρχή λειτουργίας των ραντάρ και οι βασικές κατηγορίες αυτών. Επιπροσθέτως, στο 2<sup>ο</sup> Κεφάλαιο γίνεται και ειδική ανάλυση της τεχνολογίας των SAR ώστε στο 3<sup>ο</sup> Κεφάλαιο που πραγματοποιείται η σύγκριση των Δορυφορικών Συστημάτων TERRASAR-X και RADARSAT-2 να γίνει περιγραφή πιο τεχνικών ζητημάτων επί της λειτουργίας αυτών.

Το 4<sup>ο</sup> Κεφάλαιο, που είναι και το πρακτικό κομμάτι της εργασίας, μας βάζει με τη σειρά του σε μια νέα μορφή πληροφορίας που δεν είχε αναφερθεί προηγουμένως. Η νέα αυτή έννοια είναι τα fractals που συνακόλουθα με τη σειρά του μας εισάγει στις έννοιες των fractal dimension και fractal area. Η επιστήμη που σχετίζεται με τα fractals δεν είναι και τόσο διαδεδομένη στο ευρύ κοινό, γι' αυτό και είναι ιδιαίτερα επιβοηθητική η μελέτη της εργασίας {Malamou A., Pandis C., Frangos P., Stefaneas P., Karakasiliotis A., Kodokostas D., 2013, Application of the Modified Fractal Signature Method for Terrain Classification from Synthetic Aperture Radar Images} που ασχολείται εκτενώς με τα προαναφερθέντα τόσο σε θεωρητικό όσο και σε πρακτικό επίπεδο. Έτσι, ακολουθεί στο Κεφάλαιο αυτό η ταξινόμηση του εδάφους χρήσει fractals (terrain classification with fractals) που βασίζεται σε μεγάλο βαθμό στα πεπραγμένα της παραπάνω ομάδας εργασίας. Στα αναλυτικά διαγράμματα που παρήχθησαν για κάθε κατηγορία εδάφους (βάσει της μεθοδολογίας που τηρήθηκε για αγροτική, αστική περιοχή κλπ) γίνεται οπτικά η μαθηματική διαφοροποίηση των τιμών  $F_a$  και  $F_d$  που παρουσιάζει κάθε εδαφική περιοχή κι ως εκ τούτου κατασκευάζονται και οι Classification Matrix που κάνουν τη σύγκρισή τους πιο εύκολα αντιληπτή.

Αναμφίβολα, κατόπιν όλων των αποτελεσμάτων που παρήχθησαν είναι επιβεβλημένη η μελλοντική έρευνα της ομάδας εργασίας κι απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία επί του χρησιμοποιηθέντος αλγορίθμου. Άλλωστε, μόνο με αυτό τον τρόπο θα προκύψουν περισσότερα και πιο ασφαλή συμπεράσματα καθώς η συνολική μελέτη τόσο της παρούσας διπλωματικής εργασίας όσο και εκείνη της ομάδας εργασίας πραγματοποιήθηκαν σε δείγμα μόλις τεσσάρων (4) SAR εικόνων που δεν αποτελεί έναν αντιπροσωπευτικό αριθμό εικόνων για τη γενίκευση των συμπερασμάτων που εξήχθησαν.

Εν κατακλείδι, προκειμένου το προϊόν αυτό να αποτελέσει ένα μελλοντικό και αξιόπιστο εμπορικό προϊόν απαιτείται η επεξεργασία περισσότερων εικόνων που η υψηλή τιμή και η περιορισμένη διαθεσιμότητά τους αποτελεί τροχοπέδη στη περαιτέρω εξέλιξη της έρευνάς μας.

[Οι χρησιμοποιηθείσες εικόνες προμηθεύτηκαν από την Διεθνή Ομάδα Εργασίας σε τεχνικές SAR εικόνων που ονομάζεται ‘SET 163 Working Group’].

## ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- Αργιαλάς Π. Δημήτριος, Αθήνα 1998, Ψηφιακή Τηλεπισκόπηση
- Αργιαλάς Π. Δημήτριος, Αθήνα 1999, Φωτοερμηνεία-Τηλεπισκόπηση  
(1. Θεμελιώδεις έννοιες τηλεπισκόπησης  
2. Βασικά στοιχεία φωτογραφικών συστημάτων)
- Καραθανάση Β., Αθήνα 2011, Σημειώσεις Μαθήματος Ραδιομετρία - Μικροκυματική Τηλεπισκόπηση (ΣΑΤΜ/ΕΜΠ)
- Τσιγγενόπουλος Γεώργιος, Αθήνα 2012, Γεωμετρική επεξεργασία εικόνων SAR
- Λασπιάς Ευστάθιος, Αθήνα 2012, Επιβλεπόμενη και μη-επιβλεπόμενη ταξινόμηση πολυφασματικών εικόνων τηλεπισκόπησης και θεματικές εφαρμογές τους στον ελλαδικό χώρο
- Μπουρεξής Φώτιος, Αθήνα 2012, Φωτογραμμετρική επεξεργασία και αξιολόγηση Αποτελεσμάτων Απεικονίσεων Terra Sar-X
- Κιόκες Χ. Γεώργιος, Αθήνα 2004, Μελέτη ανάπτυξης ραντάρ συνθετικής απεικόνισης μικρών διαστάσεων
- Συκάς Δ., Αθήνα 2010, Γεωμετρικές Διορθώσεις SAR και Υπερφασματικών Δορυφορικών Τηλεπισκοπικών Απεικονίσεων
- Ioannidis C, Bourexis F., Tsiggenopoulos G., 2012, Photogrammetric Processing of a Terra Sar X Image: Evaluation of Products,
- Malamou A., Pandis C., Frangos P., Stefaneas P., Karakasiliotis A., Kodokostas D., 2013, Application of the Modified Fractal Signature Method for Terrain Classification from Synthetic Aperture Radar Images
- Dengxin Dai, Wen Yang, Member, IEEE, and Hong Sun, Member, IEEE, 2011, Multilevel Local Pattern Histogram for SAR Image Classification
- Dr. Paco Lopez Decker, Radar Remote Sensing Course 6-10/9/2010 Warsaw, Introduction to SAR I
- Dr. Paco Lopez Decker, Radar Remote Sensing Course 6-10/9/2010 Warsaw, Introduction to SAR II
- Floyd M. Hetherson, Anthony J. Lewis, Canada 1998, Principles and Applications of Imaging Radar, 3<sup>rd</sup> Edition, Volume 2
- InfoTerra, 2009, Terra Sar X Services - Image Product Guide
- Halounova Lena, Prague 2009, ESA Advanced Training Course on Land Remote Sensing

- Schmidt, N., Weber. M., Raggam. J., Gutjahr., J., Wimmer. A., 2007. Terra Sar-X Value Added Image Products, International Archives of Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences.
- Vassilaki, D., Ioannidis, C, 2010 Georeference of High Resolution TerraSAR Images with RPFs. 30th EARSeL Symposium: Remote Sensing for Science, Education and Culture, Paris 2010.
- Vassilaki, D., Ioannidis, C, Stamos, A., 2011. Georeference of TerraSAR-X Images using Science Orbit Data. 31st EARSeL Symposium, Prague, 2011.
- Guo. Z., Zhu. Z., 2008. A Study Of The Rpc Model Of Terrasar-X And Cosmo-SkyMed Sar Imagery. The International Archives Of The Photogrammetry, Remote Sensing And Spatial Information Sciences. Vol. Xxxvii. Part B1. Beijing, 2008
- MacDonald, Dettwiler and Associates Ltd, Canada 2009, RADARSAT-2 PRODUCT DESCRIPTION.
- CORINE land cover, 2000

## **ΛΟΙΠΕΣ ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΚΕΣ ΠΗΓΕΣ**

- [www.defence-point.gr](http://www.defence-point.gr)
- [www.google.com](http://www.google.com)
- [www.infoterra.de/terrasar-x/free-sample-data](http://www.infoterra.de/terrasar-x/free-sample-data)
- [www.digitalresearch.com](http://www.digitalresearch.com)
- [www.asc-csa.gc.ca](http://www.asc-csa.gc.ca)
- [www.astrium-geo.com](http://www.astrium-geo.com)
- [www.mdacorporation.com](http://www.mdacorporation.com)